

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted
disturbances, induced by radio-frequency fields**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations
conduites, induites par les champs radioélectriques**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.



IEC 61000-4-6

Edition 4.0 2013-10

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted
disturbances, induced by radio-frequency fields**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations
conduites, induites par les champs radioélectriques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XC

ICS 33.100.20

ISBN 978-2-8322-1176-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 General	10
5 Test levels.....	12
6 Test equipment and level adjustment procedures	13
6.1 Test generator	13
6.2 Coupling and decoupling devices	15
6.2.1 General	15
6.2.2 Coupling/decoupling networks (CDNs)	18
6.2.3 Clamp injection devices	20
6.2.4 Direct injection devices	22
6.2.5 Decoupling networks	22
6.3 Verification of the common mode impedance at the EUT port of coupling and decoupling devices.....	23
6.3.1 General	23
6.3.2 Insertion loss of the 150 Ω to 50 Ω adapters	23
6.4 Setting of the test generator.....	25
6.4.1 General	25
6.4.2 Setting of the output level at the EUT port of the coupling device.....	26
7 Test setup and injection methods	28
7.1 Test setup.....	28
7.2 EUT comprising a single unit.....	28
7.3 EUT comprising several units.....	29
7.4 Rules for selecting injection methods and test points	30
7.4.1 General	30
7.4.2 Injection method	30
7.4.3 Ports to be tested	31
7.5 CDN injection application	32
7.6 Clamp injection application when the common mode impedance requirements can be met.....	33
7.7 Clamp injection application when the common mode impedance requirements cannot be met.....	35
7.8 Direct injection application	35
8 Test procedure	36
9 Evaluation of the test results	37
10 Test report.....	37
Annex A (normative) EM and decoupling clamps.....	39
Annex B (informative) Selection criteria for the frequency range of application	49
Annex C (informative) Guide for selecting test levels	51
Annex D (informative) Information on coupling and decoupling networks	52
Annex E (informative) Information for the test generator specification	57
Annex F (informative) Test setup for large EUTs.....	58

Annex G (informative) Measurement uncertainty of the voltage test level	61
Annex H (informative) Measurement of AE impedance	72
Annex I (informative) Port to port injection	76
Annex J (informative) Amplifier compression and non-linearity	78
Bibliography	83
Figure 1 – Immunity test to RF conducted disturbances	12
Figure 2 – Open circuit waveforms at the EUT port of a coupling device for test level 1	13
Figure 3 – Test generator setup	15
Figure 4 – Principle of coupling and decoupling	18
Figure 5 – Principle of coupling and decoupling according to the clamp injection method	20
Figure 6 – Example of circuit for level setting setup in a 150 Ω test jig	21
Figure 7 – Example circuit for evaluating the performance of the current clamp	22
Figure 8 – Details of setups and components to verify the essential characteristics of coupling and decoupling devices and the 150 Ω to 50 Ω adapters	25
Figure 9 – Setup for level setting	27
Figure 10 – Example of test setup with a single unit EUT (top view)	29
Figure 11 – Example of a test setup with a multi-unit EUT (top view)	30
Figure 12 – Rules for selecting the injection method	31
Figure 13 – Immunity test to 2-port EUT (when only one CDN can be used)	33
Figure 14 – General principle of a test setup using clamp injection devices	34
Figure 15 – Example of the test unit locations on the ground plane when using injection clamps (top view)	35
Figure A.1 – Example: Construction details of the EM clamp	40
Figure A.2 – Example: Concept of the EM clamp	41
Figure A.3 – Dimension of a reference plane	42
Figure A.4 – Test jig	42
Figure A.5 – Test jig with inserted clamp	42
Figure A.6 – Impedance / decoupling factor measurement setup	43
Figure A.7 – Typical examples for clamp impedance, 3 typical clamps	44
Figure A.8 – Typical examples for decoupling factors, 3 typical clamps	45
Figure A.9 – Normalization setup for coupling factor measurement	45
Figure A.10 – S_{21} coupling factor measurement setup	46
Figure A.11 – Typical examples for coupling factor, 3 typical clamps	46
Figure A.12 – Decoupling clamp characterization measurement setup	47
Figure A.13 – Typical examples for the decoupling clamp impedance	47
Figure A.14 – Typical examples for decoupling factors	48
Figure B.1 – Start frequency as function of cable length and equipment size	50
Figure D.1 – Example of a simplified diagram for the circuit of CDN-S1 used with screened cables (see 6.2.2.5)	53
Figure D.2 – Example of simplified diagram for the circuit of CDN-M1/-M2/-M3 used with unscreened supply (mains) lines (see 6.2.2.2)	53
Figure D.3 – Example of a simplified diagram for the circuit of CDN-AF2 used with unscreened unbalanced lines (see 6.2.2.4)	54

Figure D.4 – Example of a simplified diagram for the circuit of a CDN-T2, used with an unscreened balanced pair (see 6.2.2.3)	54
Figure D.5 – Example of a simplified diagram of the circuit of a CDN-T4 used with unscreened balanced pairs (see 6.2.2.3)	55
Figure D.6 – Example of a simplified diagram of the circuit of a CDN AF8 used with unscreened unbalanced lines (see 6.2.2.4)	55
Figure D.7 – Example of a simplified diagram of the circuit of a CDN-T8 used with unscreened balanced pairs (see 6.2.2.3)	56
Figure F.1 – Example of large EUT test setup with elevated horizontal reference ground plane.....	59
Figure F.2 – Example of large EUT test setup with vertical reference ground plane	60
Figure G.1 – Example of influences upon voltage test level using CDN	62
Figure G.2 – Example of influences upon voltage test level using EM clamp	62
Figure G.3 – Example of influences upon voltage test level using current clamp	63
Figure G.4 – Example of influences upon voltage test level using direct injection.....	63
Figure G.5 – Circuit for level setting setup	64
Figure H.1 – Impedance measurement using a voltmeter	73
Figure H.2 – Impedance measurement using a current probe.....	74
Figure I.1 – Example of setup, port-port injection	77
Figure J.1 – Amplifier linearity measurement setup	80
Figure J.2 – Linearity characteristic	81
Figure J.3 – Measurement setup for modulation depth	81
Figure J.4 – Spectrum of AM modulated signal	82
Table 1 – Test levels.....	13
Table 2 – Characteristics of the test generator	14
Table 3 – Main parameter of the combination of the coupling and decoupling device	15
Table 4 – Usage of CDNs	18
Table B.1 – Main parameter of the combination of the coupling and decoupling device when the frequency range of test is extended above 80 MHz	49
Table E.1 – Required power amplifier output power to obtain a test level of 10 V.....	57
Table G.1 – CDN level setting process.....	65
Table G.2 – CDN test process	65
Table G.3 – EM clamp level setting process.....	67
Table G.4 – EM clamp test process.....	67
Table G.5 – Current clamp level setting process	68
Table G.6 – Current clamp test process	69
Table G.7 – Direct injection level setting process.....	70
Table G.8 – Direct injection test process.....	70
Table H.1 – Impedance requirements for the AE	72
Table H.2 – Derived voltage division ratios for AE impedance measurements	73
Table H.3 – Derived voltage ratios for AE impedance measurements.....	74

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-6: Testing and measurement techniques –
Immunity to conducted disturbances,
induced by radio-frequency fields**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61000-4-6 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-6 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2008 and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) use of the CDNs;
- b) calibration of the clamps;
- c) reorganization of Clause 7 on test setup and injection methods;

- d) Annex A which is now dedicated to EM and decoupling clamps;
- e) Annex G which now addresses the measurement uncertainty of the voltage test level;
- f) informative Annexes H, I and J which are new.

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

FDIS	Report on voting
77B/691/FDIS	77B/704/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.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 61000 series, published under the general title *Electromagnetic compatibility (EMC)*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

IEC 61000 is published in separate parts 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 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into several parts, published either as international standards or as technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Others will be published with the part number followed by a dash and a second number identifying the subdivision (example: IEC 61000-6-1).

This part is an international standard which gives immunity requirements and test procedures related to conducted disturbances induced by radio-frequency fields.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields

1 Scope

This part of IEC 61000 relates to the conducted immunity requirements of electrical and electronic equipment to electromagnetic disturbances coming from intended radio-frequency (RF) transmitters in the frequency range 150 kHz up to 80 MHz. Equipment not having at least one conducting wire and/or cable (such as mains supply, signal line or earth connection) which can couple the equipment to the disturbing RF fields is excluded from the scope of this publication.

NOTE 1 Test methods are defined in this part of IEC 61000 to assess the effect that conducted disturbing signals, induced by electromagnetic radiation, have on the equipment concerned. The simulation and measurement of these conducted disturbances are not adequately exact for the quantitative determination of effects. The test methods defined are structured for the primary objective of establishing adequate repeatability of results at various facilities for quantitative analysis of effects.

The object of this standard is to establish a common reference for evaluating the functional immunity of electrical and electronic equipment when subjected to conducted disturbances induced by RF fields. The test method documented in this part of IEC 61000 describes a consistent method to assess the immunity of an equipment or system against a defined phenomenon.

NOTE 2 As described in IEC Guide 107, this standard is a basic EMC publication for use by product committees of the IEC. As also stated in Guide 107, the IEC product committees are responsible for determining whether this immunity test standard should be applied or not, and if applied, they are responsible for determining the appropriate test levels and performance criteria.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)* (available at <http://www.electropedia.org>)

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-161 as well as the following apply.

3.1

artificial hand

electrical network simulating the impedance of the human body under average operational conditions between a hand-held electrical appliance and earth

Note 1 to entry: The construction should be in accordance with CISPR 16-1-2.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-04-27]

3.2

auxiliary equipment**AE**

equipment necessary to provide the equipment under test (EUT) with the signals required for normal operation and equipment to verify the performance of the EUT

3.3

clamp injection

clamp injection is obtained by means of a clamp-on “current” injecting device on the cable

3.4

clamp injection device

clamp-on “current” injecting device on a cable being either a current clamp or an electromagnetic clamp

3.4.1

current clamp

transformer, the secondary winding of which consists of the cable into which the injection is made

3.4.2

electromagnetic clamp**EM clamp**

injection device with combined capacitive and inductive coupling

3.5

common mode impedance

ratio of the common mode voltage and the common mode current at a certain port

Note 1 to entry: This common mode impedance can be determined by applying a unity common mode voltage between the terminal(s) or screen of that port and a reference plane (point). The resulting common mode current is then measured as the vectorial sum of all currents flowing through these terminal(s) or screen (see also Figures 8a) and 8b)).

3.6

coupling factor

ratio given by the open-circuit voltage (e.m.f.) obtained at the EUT port of the coupling (and decoupling) device divided by the open-circuit voltage obtained at the output of the test generator

3.7

coupling network

electrical circuit for transferring energy from one circuit to another with a defined impedance

Note 1 to entry: Coupling and decoupling devices can be integrated into one box (coupling and decoupling network (CDN)) or they can be in separate networks.

3.8

coupling/decoupling network**CDN**

electrical circuit incorporating the functions of both the coupling and decoupling networks

3.9

decoupling network**decoupling device**

electrical circuit for preventing test signals applied to the EUT from affecting other devices, equipment or systems that are not under test

3.10

test generator

generator (RF generator, modulation source, attenuators, broadband power amplifier and filters) capable of generating the required test signal

Note 1 to entry: See Figure 3.

3.11

electromotive force

e.m.f.

voltage at the terminals of the ideal voltage source in the representation of an active element

3.12

measurement result

U_{mr}

voltage reading of the measurement equipment

3.13

voltage standing wave ratio

VSWR

ratio of a maximum to an adjacent minimum voltage magnitude along the line

4 General

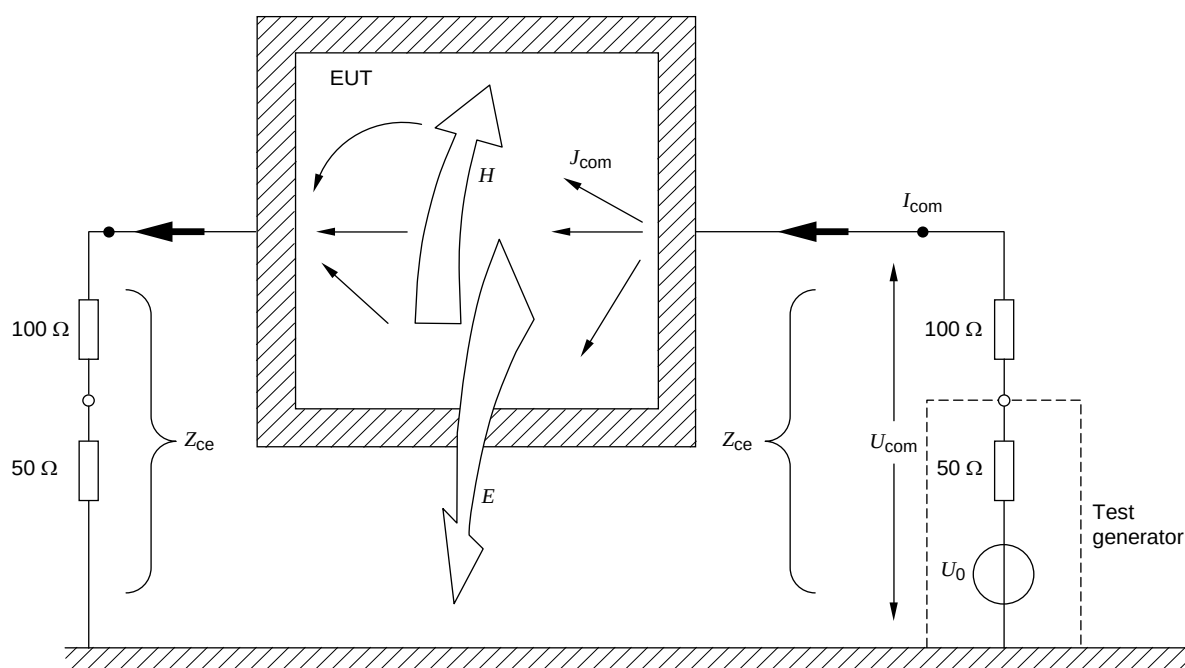
The source of disturbance covered by this part of IEC 61000 is basically an electromagnetic field, coming from intended RF transmitters, that may act on the whole length of cables connected to installed equipment. The dimensions of the disturbed equipment, mostly a sub-part of a larger system, are assumed to be small compared with the wavelengths of the interfering signals. The leads entering and exiting the EUT (e.g. mains, communication lines, interface cables) behave as passive receiving antenna networks and signal conduction paths for both intentional and unintentional signals.

Between those cable networks, the susceptible equipment is exposed to currents flowing "through" the equipment. Cable systems connected to an equipment are assumed to be in resonant mode ($\lambda/4$, $\lambda/2$ open or folded dipoles) and as such are represented by coupling and decoupling devices having a common mode impedance of $150\ \Omega$ with respect to a reference ground plane. Where possible the EUT is tested by connecting it between two $150\ \Omega$ common mode impedance connections: one providing an RF source and the other providing a return path for the current.

This test method subjects the EUT to a source of disturbance comprising electric and magnetic fields, simulating those coming from intentional RF transmitters. These disturbing fields (E and H) are approximated by the electric and magnetic near-fields resulting from the voltages and currents caused by the test setup as shown in Figure 1a).

The use of coupling and decoupling devices to apply the disturbing signal to one cable at a time, while keeping all other cables nonexcited (see Figure 1b)), can only approximate the real situation where disturbing sources act on all cables simultaneously, with a range of different amplitudes and phases.

Coupling and decoupling devices are defined by their characteristics given in 6.2.1. Any coupling and decoupling device fulfilling these characteristics can be used. The CDNs in Annex D are only examples of commercially available networks.



Z_{ce} Common mode impedance of the CDN system, $Z_{ce^e} = 150 \, \Omega$

U_0 Test generator source voltage (e.m.f.)

U_{com} Common mode voltage between EUT and reference plane

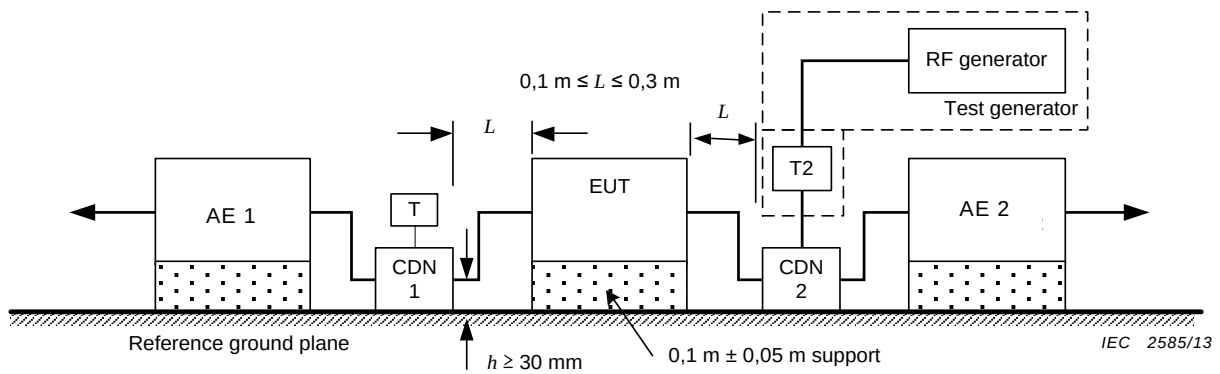
I_{com} Common mode current through the EUT

J_{com} Current density on conducting surface or current on other conductors of the EUT

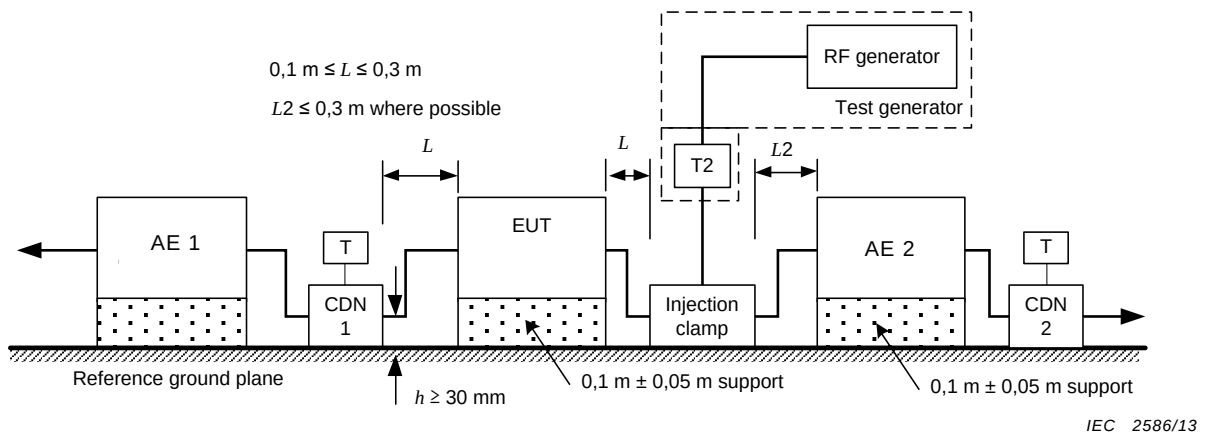
E, H Electric and magnetic fields

NOTE The $100 \, \Omega$ resistors are included in the CDNs. The left input is loaded by a (passive) $50 \, \Omega$ load and the right input is loaded by the source impedance of the test generator.

**a) Diagram showing EM fields near the EUT
due to common mode currents on its cables**



Schematic setup for immunity test used for CDN



Schematic setup for immunity test used for injection clamp

T	Termination 50 Ω
T2	Power attenuator (6 dB)
CDN	Coupling and decoupling network
Injection clamp:	Current clamp or EM clamp

b) Schematic setup for immunity test to RF conducted disturbances

Figure 1 – Immunity test to RF conducted disturbances

5 Test levels

According to this standard, tests are required for induced disturbances caused by electromagnetic fields coming from intentional RF transmitters in the frequency range 150 kHz to 80 MHz.

The open circuit test levels (e.m.f.) of the unmodulated disturbing signal, expressed in r.m.s., are given in Table 1.

Table 1 – Test levels

Frequency range 150 kHz to 80 MHz		
Level	Voltage level (e.m.f.)	
	U_0 V	U_0 dB(μV)
1	1	120
2	3	129,5
3	10	140
X ^a	Special	
^a "X" can be any level, above, below or in between the others. The level has to be specified in the dedicated equipment specification.		

The test levels are set at the EUT port of the coupling devices, see 6.4. For testing of the equipment, this signal is 80 % amplitude modulated with a 1 kHz sine wave to simulate actual threats. The effective amplitude modulation is shown in Figure 2. Guidance for selecting test levels is given in Annex C.

NOTE 1 IEC 61000-4-3 also defines test methods for establishing the immunity of electrical and electronic equipment against radiated electromagnetic energy. It covers frequencies above 80 MHz. Product committees can decide to choose a lower or higher transition frequency than 80 MHz (see Annex B).

NOTE 2 Product committees can select alternative modulation schemes.

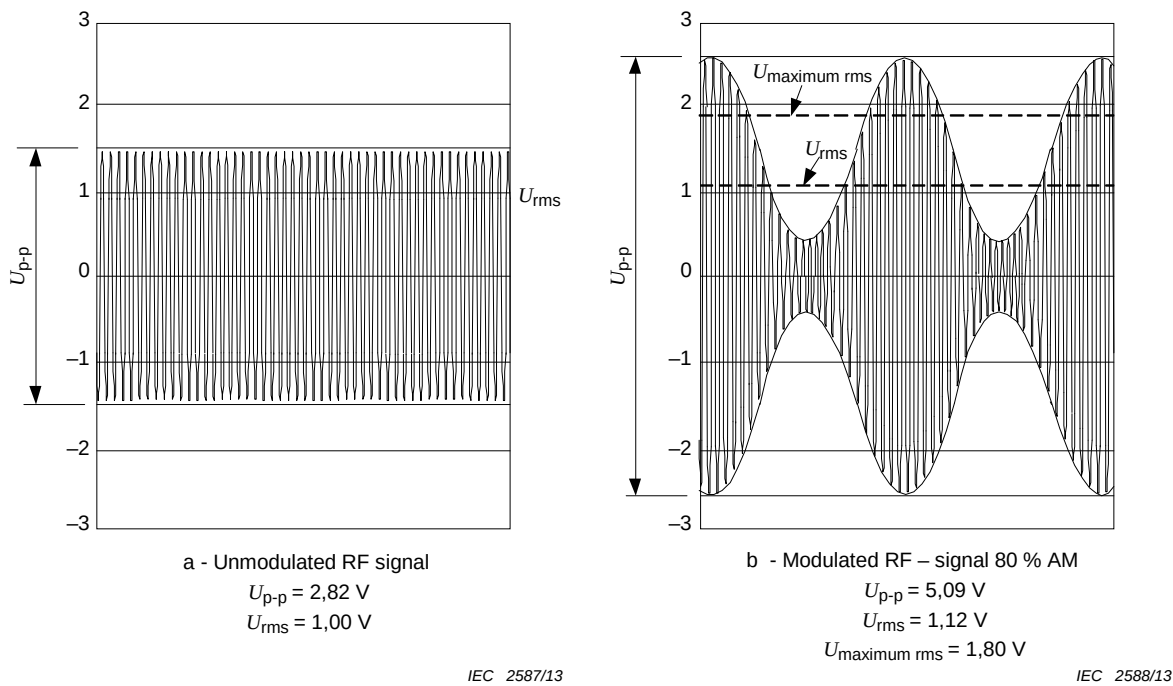


Figure 2 – Open circuit waveforms at the EUT port of a coupling device for test level 1

6 Test equipment and level adjustment procedures

6.1 Test generator

The test generator includes all equipment and components for supplying the input port of each coupling device with the disturbing signal at the required signal level at the appropriate injection point. A typical arrangement comprises the following items which may be separate or integrated into one or more test instruments (see 3.10 and Figure 3):

- RF generator(s), G1, capable of covering the frequency band of interest and of being amplitude modulated by a 1 kHz sine wave with a modulation depth of 80 %. They shall have manual control (e.g. frequency, amplitude, modulation index) or in the case of RF synthesizers, they shall be programmable with frequency-dependent step sizes and dwell times;
- attenuator T1, (typically 0 dB ... 40 dB) of adequate frequency rating to control the disturbing test source output level. T1 may be included in the RF generator and is optional;
- RF switch S1, by which the disturbing test signal can be switched on and off when measuring the immunity of the EUT. S1 may be included in the RF generator and is optional;
- broadband power amplifier(s), PA, may be necessary to amplify the signal if the output power of the RF generator is insufficient;
- low-pass filters (LPF) and/or high-pass filters (HPF) may be necessary to avoid interference caused by (higher order or sub-) harmonics with some types of EUT, for example RF receivers. When required they shall be inserted in between the broadband power amplifier, PA, and the attenuator T2;
- attenuator T2, (fixed ≥ 6 dB), with sufficient power ratings. T2 is provided to reduce VSWR to the power amplifier caused by the mismatch of the coupling device.

NOTE T2 can be included in a CDN and can be left out if the output impedance of the broadband power amplifier remains within the specification under any load condition.

Characteristics of the test generator are given in Table 2.

Table 2 – Characteristics of the test generator

Output impedance	50 Ω , VSWR<1,5
Harmonics and distortion	within 150 kHz and 80 MHz, any spurious signal shall be at least 15 dB below the carrier level, measured at the EUT port of the coupling device. The -15 dBc can also be measured directly at the output of the amplifier.
Amplitude modulation	internal or external, $m = \left(\begin{matrix} +5 \\ 80 \\ -20 \end{matrix} \right) \% ,$ with $m = 100 \times \frac{U_{pp,max} - U_{pp,min}}{U_{pp,max} + U_{pp,min}}$ 1 kHz $\pm$ 0,1 kHz sine wave
Output level	sufficiently high to cover test level (see also Annex E)
NOTE 1 For current clamps, the -15 dBc can be measured at either side of the test jig. NOTE 2 The harmonics and distortion are measured in continuous wave (CW) at 1,8 times the test level without modulation.	

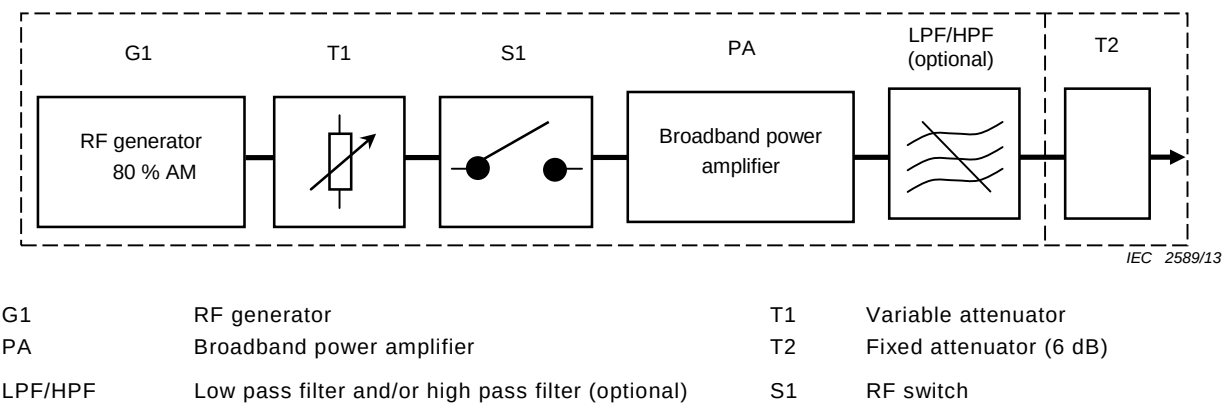


Figure 3 – Test generator setup

6.2 Coupling and decoupling devices

6.2.1 General

Coupling and decoupling devices shall be used for appropriate coupling of the disturbing signal (over the entire frequency range, with a defined common mode impedance at the EUT port) to the various cables connected to the EUT and for preventing applied test signals from affecting other devices, equipment and systems that are not under test.

The coupling and decoupling devices can be combined into one box (a CDN or an EM clamp) or can consist of several parts.

The preferred coupling and decoupling devices are the CDNs, for reasons of test reproducibility and protection of the AE. The main coupling and decoupling device parameter, the common mode impedance seen at the EUT port, is specified in Table 3. If CDNs are not applicable or available on the market, other injection methods can be used. Rules for selecting the appropriate injection method are given in 7.4.1. Other injection methods, due to their electrical properties, are unlikely to meet the parameters of Table 3.

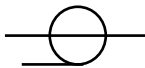
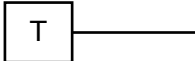
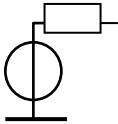
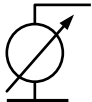
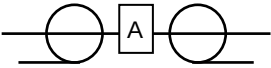
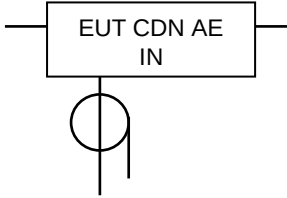
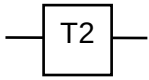
NOTE 1 A CDN may not be applicable if the internal signal attenuation has an unacceptable influence on the intended signal.

Table 3 – Main parameter of the combination of the coupling and decoupling device

	Frequency band	
Parameter	0,15 MHz to 24 MHz	24 MHz to 80 MHz
$ Z_{ce} $	$150\ \Omega \pm 20\ \Omega$	$150\ \Omega \begin{smallmatrix} +60\Omega \\ -45\Omega \end{smallmatrix}$

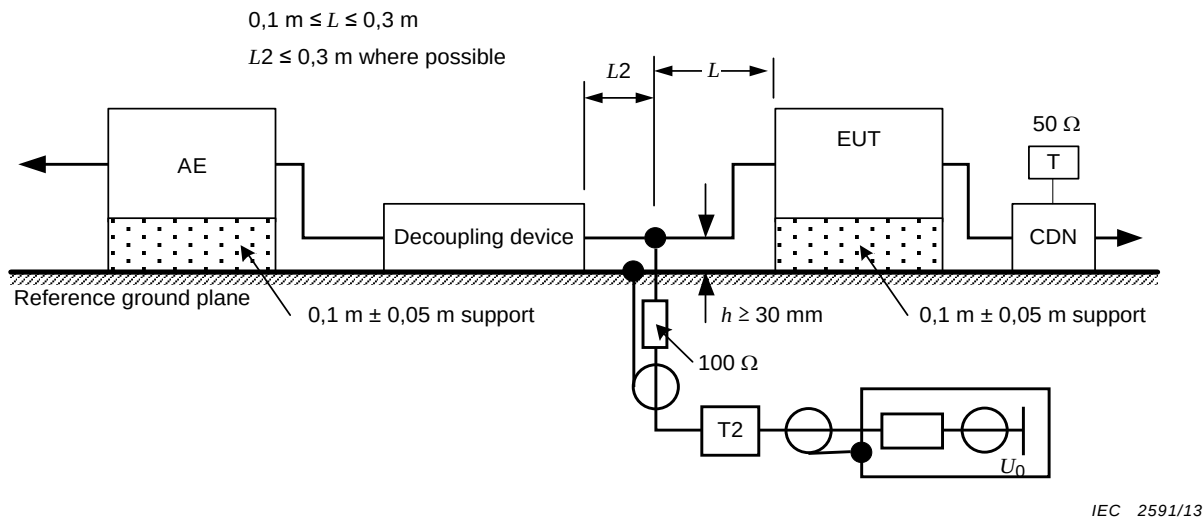
NOTE 2 Neither the argument of Z_{ce} nor the decoupling factor between the EUT port and the AE port are specified separately. These factors are embodied in the requirement that the tolerance of $|Z_{ce}|$ shall be met with the AE port open or short-circuited to the reference ground plane.

NOTE 3 Details for clamps are given in Annex A.

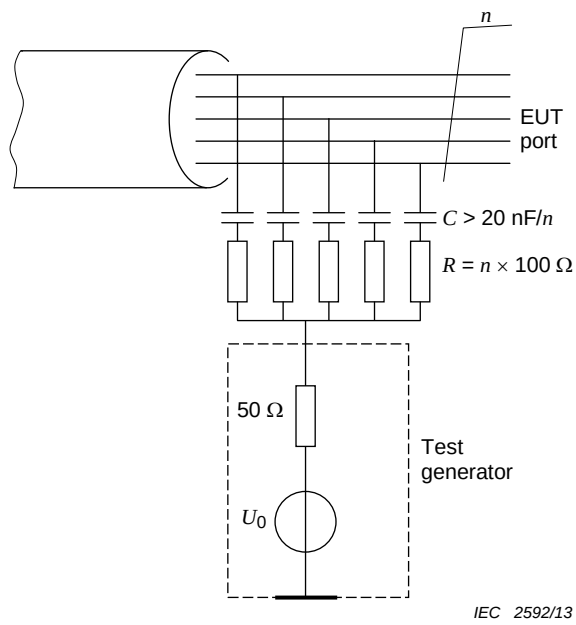
	50 Ω coaxial line
	Power, signal or ground cable
	50 Ω coaxial load
	150 Ω to 50 Ω adapter; a box with 100 Ω series resistor between IN and OUT port
	50 Ω signal source
	50 Ω measuring equipment, e.g. selective voltmeter
	10 dB, 50 Ω attenuator
	Coupling/decoupling network (CDN) with EUT, IN and AE ports
	Power attenuator (6 dB)

IEC 2590/13

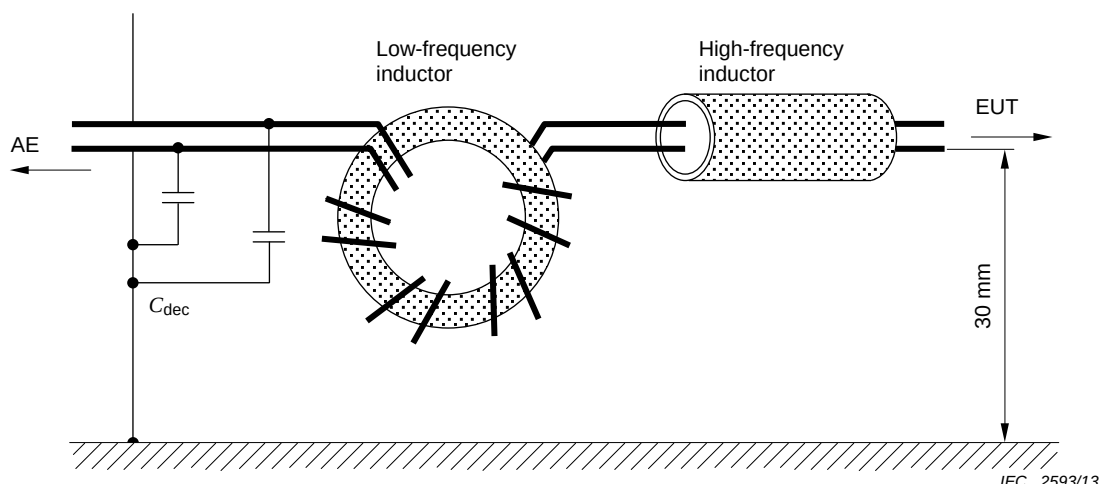
a) List of symbols used for the indicated setup principles



b) Principle of direct injection to screened cables



c) Principle of coupling to unscreened cables according to the CDN method



Example: Typically $C_{dec} = 47 \text{ nF}$ (only on unscreened cables), $L_{(150 \text{ kHz})} \geq 280 \text{ }\mu\text{H}$
 Low frequency inductor: 17 turns on a ferrite toroid material: NiZn, $\mu_R = 1\,200$
 High frequency inductor: 2 to 4 ferrite toroids (forming a tube), material: NiZn, $\mu_R = 700$

d) Principle of decoupling

Figure 4 – Principle of coupling and decoupling

6.2.2 Coupling/decoupling networks (CDNs)

6.2.2.1 General

These networks comprise the coupling and decoupling circuits in one box. Typical concepts of the CDNs are given in Figures 4c) and 4d). Table 4 summarizes the usage of the different types of CDNs as outlined in Annex D. The CDNs selected shall not unduly affect the functional signals (see advice given in Figure 12). Constraints on such effects may be specified in the product standards.

Table 4 – Usage of CDNs

Line type	Examples	CDN type
Power supply (a.c. and d.c.) and earth connection	AC mains, d.c. in industrial installations, earth connection	CDN-Mx (see Figure D.2)
Screened cables	Coaxial cables, cables used for LAN and USB connections, cables for audio systems	CDN-Sx (see Figure D.1)
Unscreened balanced lines	ISDN lines, telephone lines	CDN-Tx (see Figures D.4, D.5, D.7 and Annex H)
Unscreened unbalanced lines	Any line not belonging to other groups	CDN-AFx or CDN-Mx (see Figures D.3 and D.6)

6.2.2.2 CDNs for power supply lines

CDNs are recommended for all power supply connections. However, for high power (current $\geq 16 \text{ A}$) and/or complex supply systems (multi-phase or various parallel supply voltages) other injection methods may be selected.

The disturbing signal shall be coupled to the supply lines, using type CDN-M1 (single wire), CDN-M2 (two wires) or CDN-M3 (three wires), or equivalent networks (see Annex D). Similar networks can be defined for a 3-phase mains system. The coupling circuit is given in Figure 4c).

The performance of the CDN shall not be unduly degraded by saturation of the magnetic material due to current drawn by the EUT. Wherever possible, the network construction should ensure that the magnetising effect of the forward current is cancelled by that due to the return current.

If in actual installations the supply wires are individually routed, separate CDN-M1 CDNs shall be used. All input ports shall be treated separately.

If the EUT is provided with functional earth terminals (e.g. for RF purposes or high leakage currents), they shall be connected to the reference ground plane:

- through the CDN-M1 when the characteristics or specification of the EUT permit. In this case, the (power) supply shall be provided through an appropriate CDN-Mx type network;
- when the characteristics or specification of the EUT do not permit the presence of a CDN-M1 network in series with the earth terminal for RF or other reasons, the earth terminal shall be directly connected to the reference ground plane. In this case the CDN-M3 network shall be replaced by a CDN-M2 network to prevent an RF short-circuit by the protective earth conductor. When the equipment was already supplied via CDN-M1 or CDN-M2 networks, these shall remain in operation;
- for a 3-phase supply, a similar adjustment needs to be done regarding the use of an appropriate CDN-Mx type network.

Warning: The capacitors used within the CDNs bridge live parts. As a result, high leakage currents may occur and safety connections from the CDN to the reference ground plane are mandatory (in some cases, these connections may be provided by the construction of the CDN).

6.2.2.3 CDNs for unscreened balanced lines

For coupling and decoupling disturbing signals to an unscreened cable with balanced lines, a CDN-T2, CDN-T4 or CDN-T8 shall be used as a CDN. Figures D.4, D.5 and D.7 in Annex D show these possibilities:

- CDN-T2 for a cable with 1 symmetrical pair (2 wires);
- CDN-T4 for a cable with 2 symmetrical pairs (4 wires);
- CDN-T8 for a cable with 4 symmetrical pairs (8 wires).

Other CDN-Tx networks may be used if they are suitable for the intended frequency range and satisfy the requirements of 6.2.1. For example, the differential to common mode conversion loss of the CDNs should have a larger value than the specified conversion ratio of the cable to be installed or equipment connected to the installed cable. If different conversion ratios are specified for cable and equipment then the smaller value applies. Often, the clamp injection needs to be applied to multi-pair balanced cables because suitable CDNs might not be available.

6.2.2.4 CDNs for unscreened unbalanced lines

For coupling and decoupling disturbing signals to an unscreened cable with unbalanced lines, CDNs as described in Figure D.3 for a single pair and Figure D.6 for four pairs may be used.

If no CDN for the unscreened unbalanced line is applicable, follow the decision chart in Figure 12.

6.2.2.5 CDNs for screened cables

For coupling and decoupling disturbing signals to a screened cable, a Sx-type CDN is used. Figure D.1 is the example for a coaxial cable (S1).

To be able to treat a cable as a screened cable using CDNs for coupling of the disturbing signal, the screen shall be connected at both ends of the cable. If this condition is not met, then the cable should be treated as an unscreened cable.

6.2.3 Clamp injection devices

6.2.3.1 General

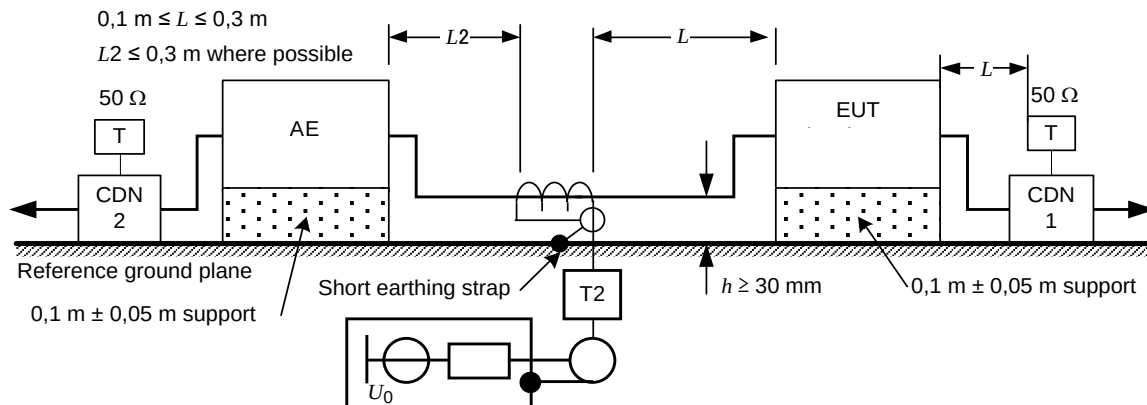
With clamp injection devices, the coupling and decoupling functions are separated. Coupling is provided by the clamp-on device while the common mode impedance and the decoupling functions are established at the AE. As such, the AE becomes part of the coupling and decoupling devices (see Figure 5). It should be noted that with clamp injection devices the AE is subject to the same injected current as the EUT and therefore needs to be immune to the test level used.

NOTE 1 When clamp injection methods are used, without complying with the common mode impedance requirements for the AE, the requirements of Z_{ce} may not be met. However, the injection clamps can provide acceptable test results when the guidance of 7.4.1 is followed.

NOTE 2 The EM clamp provides some decoupling above 10 MHz, see Annex A.

Instructions for proper application are given in 7.6.

When an EM clamp or a current clamp is used without fulfilling the constraints given in 7.6, the procedure defined in 7.7 shall be followed. The induced voltage is set in the same way as described in 6.4.1. In addition, the resulting current shall be monitored and limited to I_{max} . In this procedure, a lower common mode impedance may be used, but the common mode current is limited to the value which would flow from a 150 Ω source.



IEC 2594/13

The CDN connected to the AE, e.g. CDN-M1 connected to the dedicated earth terminal or CDN-M3, shall be terminated with 50 Ω at the input port (see 7.7).

Figure 5 – Principle of coupling and decoupling according to the clamp injection method

6.2.3.2 Current clamp

This device establishes an inductive coupling to the cable connected to the EUT. For example, with a 5:1 turn ratio, the transformed common mode series impedance can be neglected with respect to the 150 Ω established by the AE. In this case, the test generator's output impedance (50 Ω) is transformed into 2 Ω . Other turn ratios may be used.

The required performance of the current clamp is such that the increase of the transmission loss of the test jig, produced by the insertion of the current clamp, shall not exceed 1,6 dB. A circuit of the transmission loss verification setup is given in Figure 7.

NOTE 1 The verification of such performance can be done in two steps. During the first step, the current clamp is omitted and the voltage is recorded. During the second step, the current clamp is inserted and terminated at its input port by a $50\ \Omega$ load, and the voltage is measured. The difference between these two measurements is not to exceed 1,6 dB as defined above.

The signal level applied to the current injection clamp is set prior to the test. The test level setting procedure is given in 6.4.1 and Figure 6.

When using a current clamp, care should be taken to prevent the harmonics generated by the power amplifier from appearing at higher levels than the fundamental signal levels at the EUT port of the coupling device.

NOTE 2 It is commonly necessary to position the cable through the centre of the clamp to minimize capacitive coupling.

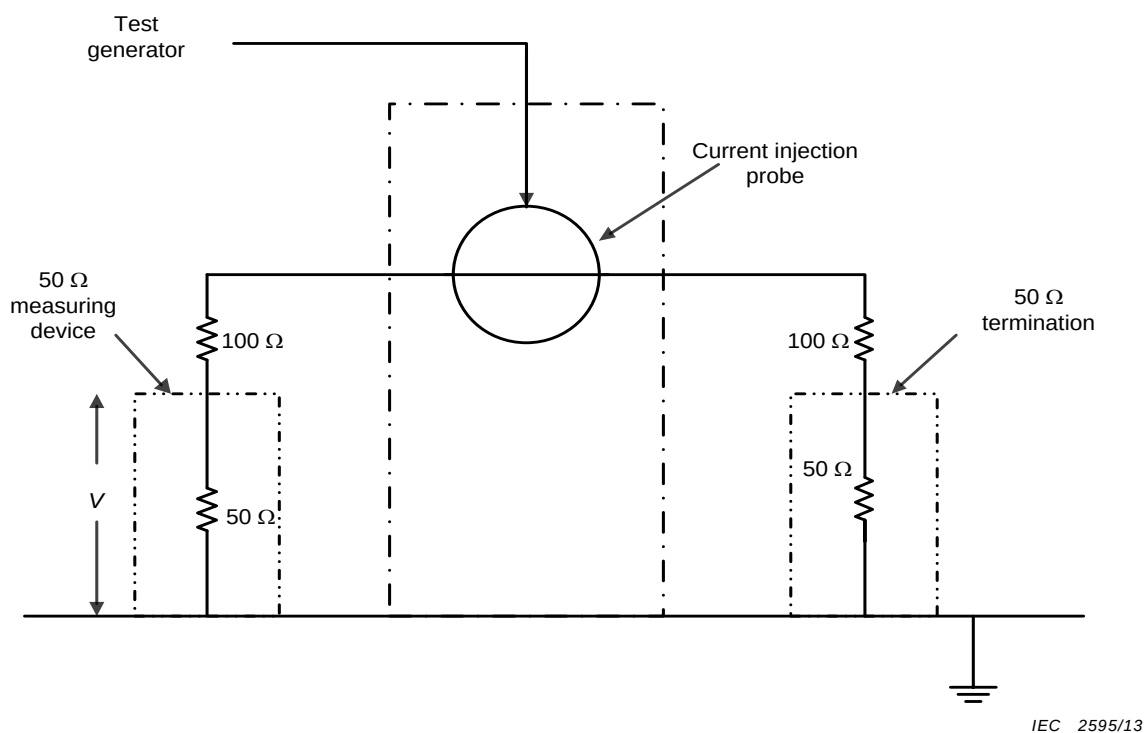
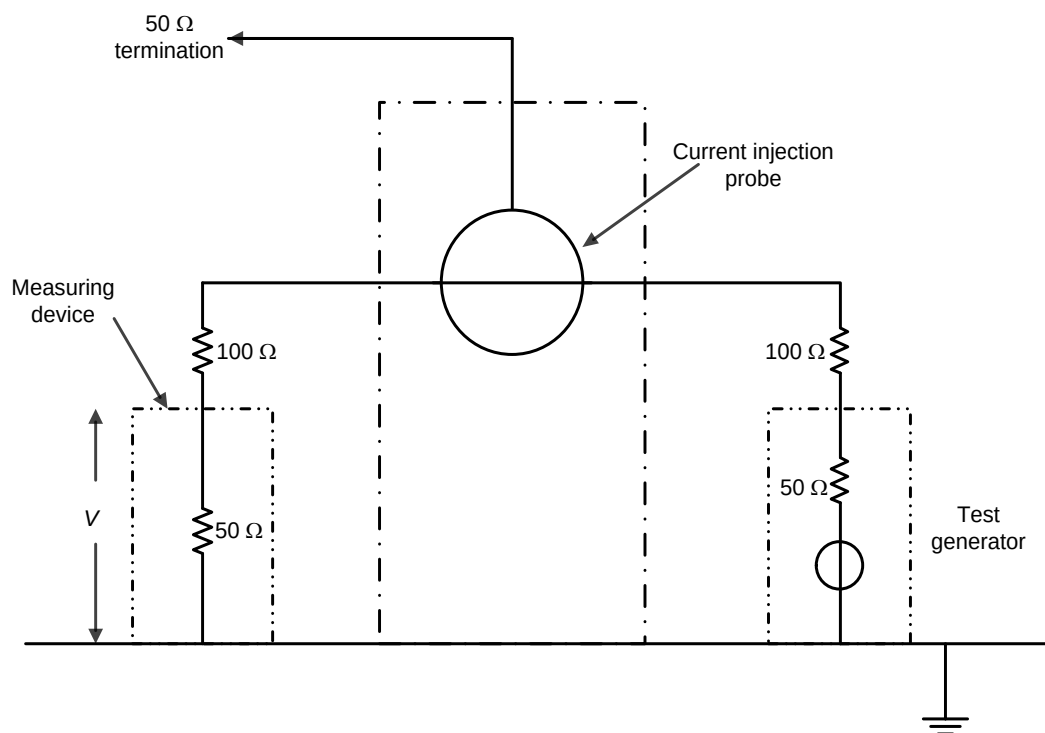


Figure 6 – Example of circuit for level setting setup in a $150\ \Omega$ test jig



IEC 2596/13

Figure 7 – Example circuit for evaluating the performance of the current clamp

6.2.3.3 EM clamp

The EM clamp establishes both capacitive and inductive coupling to the cable connected to the EUT. The construction and performance of the EM clamp are described in Annex A.

6.2.4 Direct injection devices

When using direct injection, the disturbing signal, coming from the test generator, is injected on to screened and coaxial cables via a 100 Ω resistor (even if the shield is ungrounded or grounded at one end only). In between the AE and the injection point, a decoupling device (see 6.2.5) shall be inserted as close as possible to the injection point (see Figure 4b)). To increase decoupling and to stabilize the circuit, a ground connection shall be made from the screen of the direct injection device's input port to the reference ground plane.

When making direct connection to foil screens, a proper caution should be exercised to ensure a good connection producing reliable test results.

6.2.5 Decoupling networks

Normally, the decoupling network comprises several inductors to create a high impedance over the frequency range. This is determined by the ferrite material used, and an inductance of at least 280 μH is required at 150 kHz. The reactance shall remain high, $\geq 260 \Omega$ up to 24 MHz and $\geq 150 \Omega$ above 24 MHz. The inductance can be achieved either by having a number of windings on ferrite toroids (see Figure 4d)) or by using a number of ferrite toroids over the cable (usually as a clamp-on tube).

NOTE The specification for clamps is given in Annex A.

The CDNs as specified in Annex D can be used as decoupling networks with the RF input port left unloaded, unless stated otherwise elsewhere in this standard. When CDNs are used in this way, they shall meet the requirements of 6.2.5.

The decoupling networks shall be used on all cables not selected for the test, but connected to the EUT and/or AEs. For exceptions, see 7.3.

6.3 Verification of the common mode impedance at the EUT port of coupling and decoupling devices

6.3.1 General

Coupling and decoupling devices are characterized by the common mode impedance seen at the EUT port, $|Z_{ce}|$. Its correct value ensures the reproducibility of the test results. The common mode impedance of coupling and decoupling devices is calibrated using the setup shown in Figure 8.

The coupling and decoupling devices and the impedance reference plane (Figure 8a)) shall be placed on a reference ground plane. The size of the reference ground plane shall exceed the projected geometry of the setup on all sides by at least 0,2 m.

The impedance reference point shall be connected to the EUT port of the CDN as shown in Figure 8a). The magnitude of the common mode impedance seen at the connector on the impedance plane shall be measured.

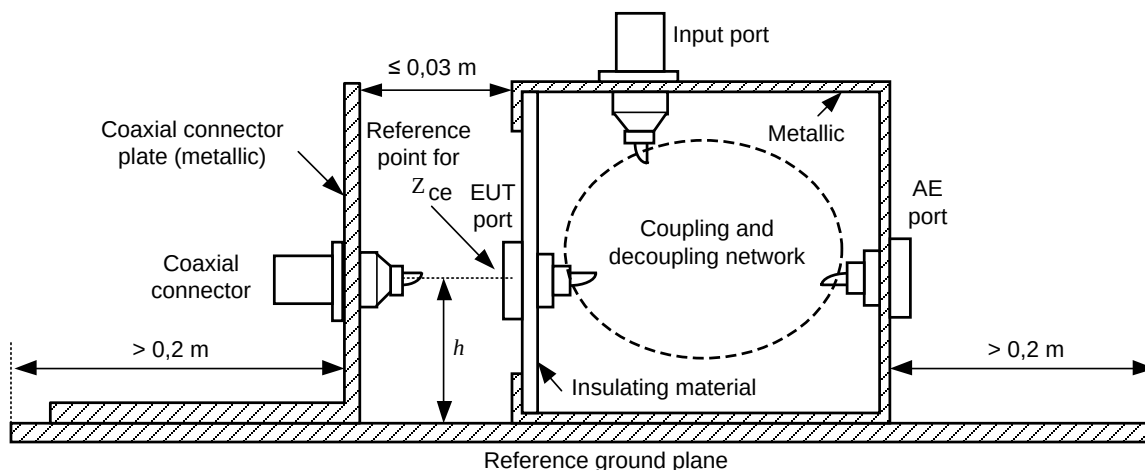
The CDNs shall meet the impedance requirements of Table 3 while the input port is terminated with a 50 Ω load and the AE port is sequentially loaded in common mode with a short-circuit and an open circuit condition as shown in Figure 8b). This requirement ensures sufficient attenuation and makes the setup of the AE, e.g. open or short-circuited inputs, insignificant.

If clamp injection or direct injection is used, it is unrealistic to verify the common mode impedance for each AE setup connected to the EUT. For clamp Injection it is generally sufficient to follow the procedure as given in 7.6. In all other cases the procedure defined in 7.7 shall be used. For direct injection it is generally sufficient to follow the procedure as given in 7.8.

6.3.2 Insertion loss of the 150 Ω to 50 Ω adapters

When the test generator is set up prior to testing, the test level shall be verified in a 150 Ω common mode impedance environment. This is achieved by connecting the appropriate common mode point to a 50 Ω measurement device via a 150 Ω to 50 Ω adapter as shown in Figure 8d). The construction of the adapter is shown in Figure 8e).

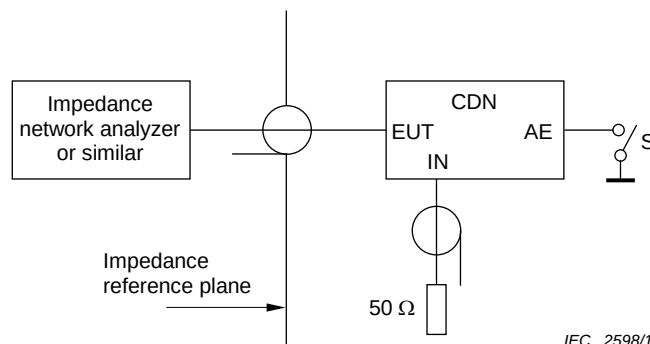
The adapters shall be placed on a reference ground plane, the size of which exceeds the projected geometry of this setup on all sides by at least 0,2 m. The insertion loss is measured according to the principle of Figure 8c). Its value shall be in the range of $(9,5 \pm 0,5)$ dB (theoretical value 9,5 dB caused by the additional series impedance when measured in a 50 Ω system). Attenuators with suitable VSWR (suggested: $VSWR \leq 1,2$) at the inputs of receivers and outputs of generators are recommended.



IEC 2597/13

- Reference ground plane: shall exceed the projection of the coupling and decoupling devices and other components by at least 200 mm.
- The coaxial connector shall be connected horizontally to the EUT port.
- The height h of the EUT port depends on the individual CDN, which may vary from 30 mm to 100 mm; particular large current CDNs have an EUT port located higher above the reference ground plane.
- Connector plate (with the coaxial connector): 100 mm × 100 mm for $h = 30$ mm and 150 mm × 150 mm for other values of h .
- Both connector plates shall be made out of copper, brass or aluminium and shall have a good RF contact.

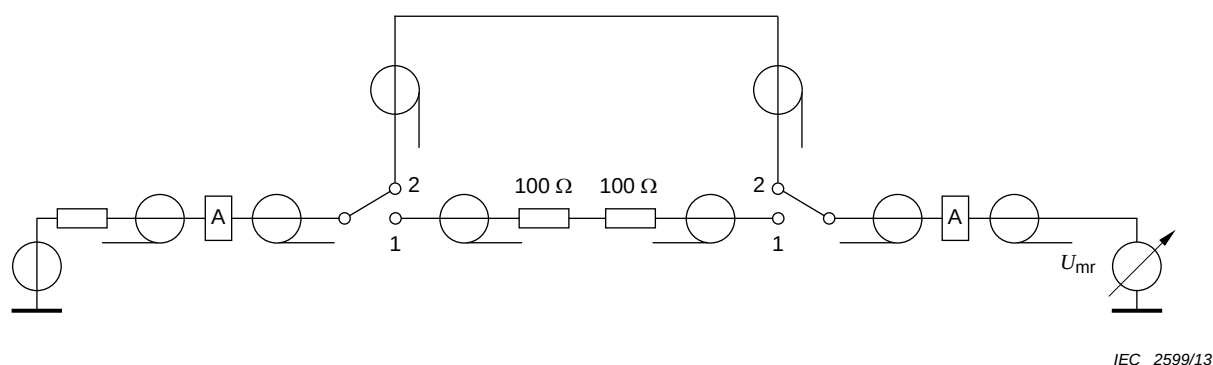
a) Example of the setup geometry to verify the impedance characteristics of the coupling and decoupling devices



IEC 2598/13

The impedance requirement shall be met with the open and closed switch S (see 6.3).

b) Setup principle to verify Z_{ce} of the coupling and decoupling device



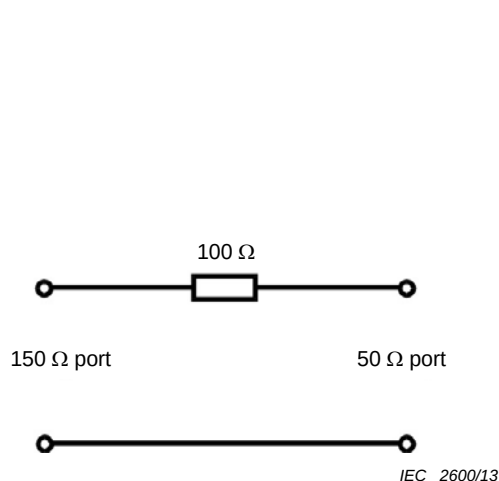
Insertion loss = U_{mr} (switches position 2) – U_{mr} (switches position 1)

dB

dB(μV)

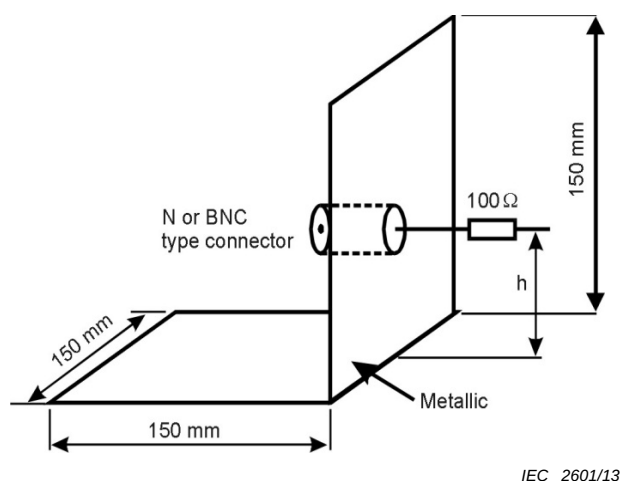
dB(μV)

c) Setup principle for measuring the insertion loss of two 150 Ω to 50 Ω adapters



NOTE Low inductance resistor:
Power rating $\geq 2,5$ W

d) Circuit of the 150 Ω to 50 Ω adapter



NOTE Identical to Figure 8a) (connector plate),
but with 100 Ω low inductance resistor added.

e) Example: construction diagram of the 150 Ω to 50 Ω adapter (150 mm × 150 mm example)

Figure 8 – Details of setups and components to verify the essential characteristics of coupling and decoupling devices and the 150 Ω to 50 Ω adapters

6.4 Setting of the test generator

6.4.1 General

For the correct setting of the unmodulated test level the procedure in 6.4.2 shall be applied. It is assumed that the test generator, the coupling and decoupling devices and the 150 Ω to 50 Ω adapter comply with the requirements of 6.1, 6.2.1 and 6.3.1.

Two procedures can be used for the level setting:

- the output power of the test generator can be determined by measurement of the amplifier output power (forward power, as measured using a directional coupler);
- as long as the stability of the test equipment (especially the amplifier) can be guaranteed, the RF generator output can also be set by reproducing the level setting data.

6.4.2 Setting of the output level at the EUT port of the coupling device

The test generator shall be connected to the RF input port of the coupling device. The EUT port of the coupling device shall be connected in common mode through the 150 Ω to 50 Ω adapter to a measuring equipment having a 50 Ω input impedance. The AE port of the coupling device shall be loaded in common mode with a 150 Ω to 50 Ω adapter, terminated with 50 Ω. The setup is given in Figure 9c) for all coupling and decoupling devices.

NOTE 1 With direct injection, the 150 Ω load at the AE port is not required as the screen is connected to the reference ground plane at the AE port side.

NOTE 2 With clamp injection, current clamps are generally bi-directional and hence do not have an EUT port and AE port. These devices are calibrated by using a test jig as shown in Figure 6.

Warning: During the setting of the test generator, all connections to the EUT and AE ports of the coupling and decoupling devices other than those required (see Figure 9), shall be disconnected either to avoid short-circuit conditions or to avoid destruction of the measurement equipment.

Using the above mentioned setup and the following measurement procedure, the test generator shall be adjusted to yield the following reading on the measuring equipment.

Procedure to be followed for each coupling device:

- a) apply a forward power (without modulation) to the coupling device so that the voltage obtained equals U_{mr} at the output port of the 150 Ω to 50 Ω adapter;
record the level of the RF generator P_{gen} , and/or the forward power at the output of the power amplifier P_{for} and the voltage U_{mr} at the output port of the 150 Ω to 50 Ω adapter;
- b) increase the frequency by a maximum of 1 % of the present frequency;
- c) repeat steps a) and b) until the next frequency in the sequence would exceed the highest frequency (for example 80 MHz) in the range of the test;
- d) using the recorded level of the RF generator P_{gen} , forward power P_{for} and voltage U_{mr} obtained in a), calculate the forward power and/or RF generator power necessary to create the required voltage at the EUT port of the coupling device;
- e) to ensure that the amplifier is not saturated the test generator shall be adjusted to produce the desired test level U_{mr} using the data obtained from step d). The steps 1) to 4) need only be done for the highest test level to be used:
 - 1) increase the level of the RF generator by 5,1 dB;
 - 2) record the new output power delivered to the coupling device $P_{for,inc}$ or the voltage at the output port of the 150 Ω to 50 Ω adapter $U_{mr,inc}$;
 - 3) calculate the difference $P_{for,inc}-P_{for}$ or $U_{mr,inc}-U_{mr}$ (log. scale);
 - 4) if the difference is between 3,1 dB and 7,1 dB then the amplifier is in tolerance and the test system is sufficient for testing at the selected test level. If the difference is less than 3,1 dB or more than 7,1 dB then the amplifier is non linear and is not suitable for testing.

Annex J provides information on test generator compression and amplifier non linearity.

In the setting process step a) the voltage U_{mr} shall be:

$$U_{mr} = U_0 / 6 \begin{pmatrix} +19\% \\ -16\% \end{pmatrix}, \text{ in linear quantities, or}$$

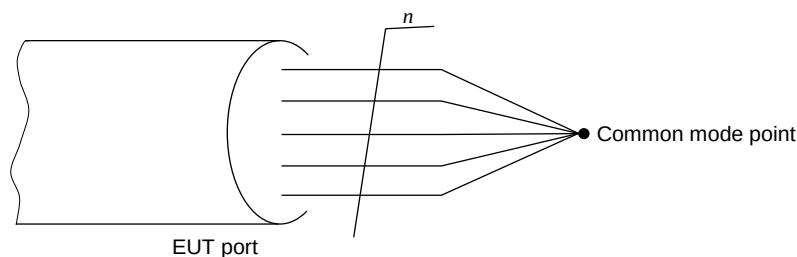
$$U_{mr} = U_0 - 15,6 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}, \text{ in logarithmic quantities.}$$

NOTE 3 U_0 is the test voltage specified in Table 1 and U_{mr} is the measured voltage as defined in 3.12 and Figure 9. To minimize testing errors, the output level of the test generator is set by setting U_{mr} with 150 Ω loads (for instance with the 150 Ω to 50 Ω adapter and 50 Ω termination) and not by setting U_0 .

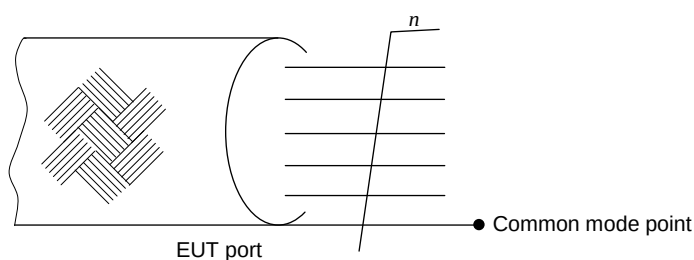
NOTE 4 The factor 6 (15,6 dB) arises from the e.m.f. value specified for the test level. The matched load level is half the e.m.f. level and the further 3:1 voltage division is caused by the 150 Ω to 50 Ω adapter terminated by the 50 Ω measuring equipment.

NOTE 5 In case of test instrumentation without amplifier output power control, the procedure is repeated for each coupling device and each target test level. For test systems with amplifier output power control or by following the procedure for amplifier linearity given in Annex K, the procedure of 6.4.2 is done for each coupling device at the highest target test level only.

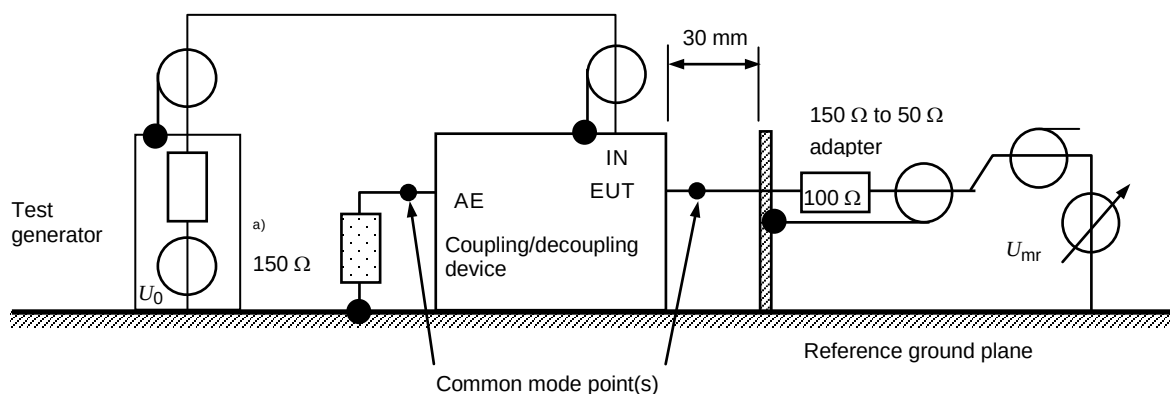
The control parameters of the test generator setting (software parameters, attenuator setting, etc.) shall be recorded and used for testing.



a) Definition of a common mode point with unscreened cables



b) Definition of a common mode point with screened cables



Examples of coupling and decoupling devices:

- CDNs;
- direct injection network (with decoupling);
- clamp injection device (EM clamp).

a) The 150 Ω loading, e.g. a 150 Ω to 50 Ω adapter terminated with a 50 Ω load at the AE port shall only be applied to unscreened cables (screened cables have their screens connected to the reference ground plane at the AE side).

c) Setup for level setting at the EUT port of coupling/decoupling devices

Figure 9 – Setup for level setting

7 Test setup and injection methods

7.1 Test setup

The equipment to be tested is placed on an insulating support of $0,1\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ height above a reference ground plane. A non conductive roller/caster in the range of $0,1\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ above the reference ground plane can be used as an alternative to an insulating support. All cables exiting the EUT shall be supported at a height of at least 30 mm above the reference ground plane.

If the equipment is designed to be mounted in a panel, rack or cabinet, then it shall be tested in this configuration. When a means is required to support the test sample, such support shall be constructed of a non metallic, non conducting material. Grounding of the equipment shall be consistent with the manufacturer's installation instructions.

Where coupling and/or decoupling devices are required, they shall be located between 0,1 m and 0,3 m from the EUT (this distance is denoted L in this standard). This distance is to be measured horizontally from the projection of the EUT on to the reference ground plane to the coupling and/or decoupling device. See Figures 5, 10 and 11. Subclauses 7.2 to 7.8 provide more detailed information.

NOTE Distance L is not required to be the same on all sides of the EUT, but is between 0,1 m and 0,3 m.

7.2 EUT comprising a single unit

The EUT shall be placed on an insulating support 0,1 m above the reference ground plane. For table-top equipment, the reference ground plane may be placed on a table (see Figure 10).

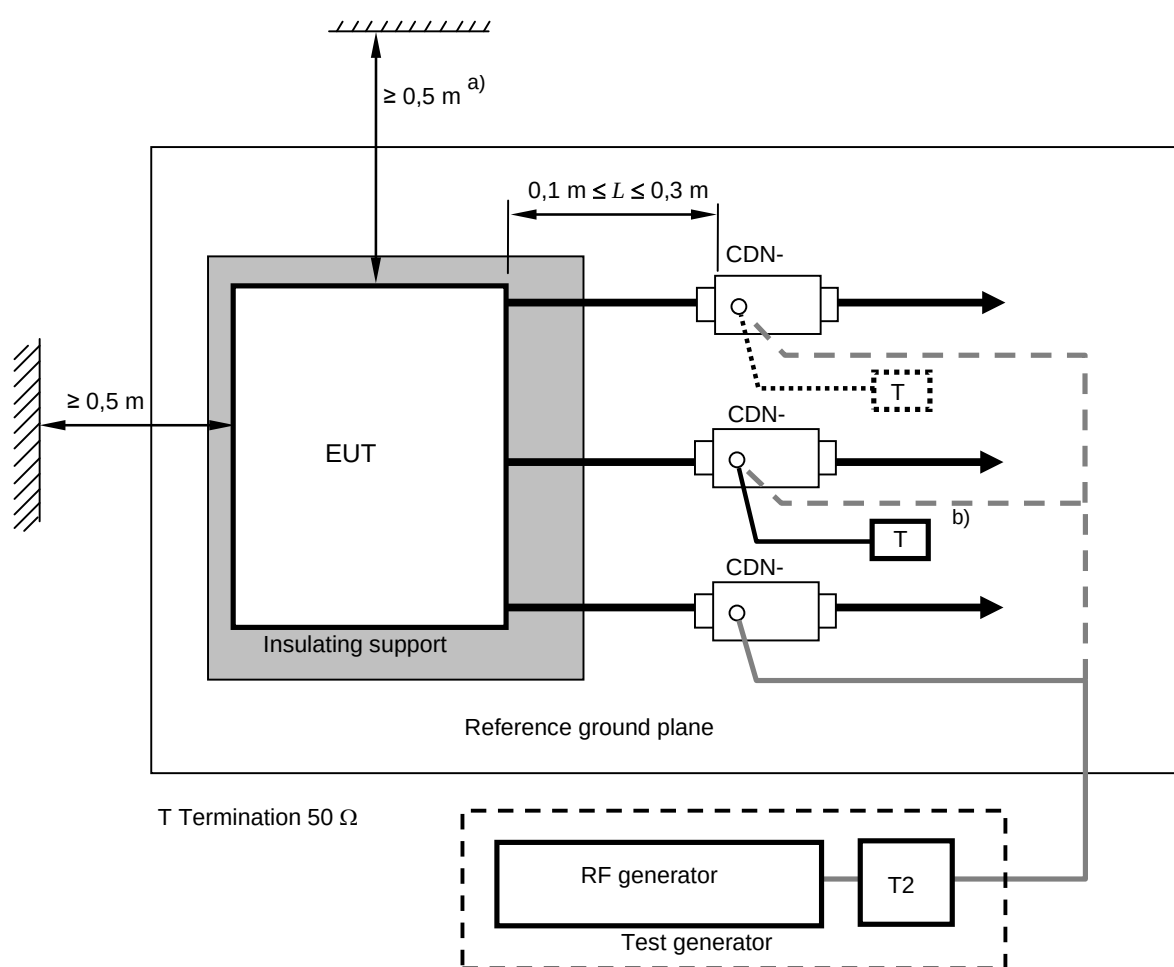
On all cables to be tested, coupling and decoupling devices shall be inserted (see 7.4.3). The coupling and decoupling devices shall be placed on the reference ground plane, making direct contact with it at a distance of 0,1 m to 0,3 m from the EUT. The cables between the coupling and decoupling devices and the EUT shall be as short as possible and shall not be bundled or wrapped. Their height above the reference ground plane shall be at least 30 mm.

The interface cable between the EUT and the AE should be the shortest available.

If the EUT is provided with other earth terminals, when allowed, they shall be connected to the reference ground plane through CDN-M1, see 6.2.2.2 (i.e. the AE port of the CDN-M1 is then connected to the reference ground plane).

If the EUT is provided with a keyboard or hand-held accessory, then the artificial hand shall be placed on this keyboard or wrapped around the accessory and connected to the reference ground plane.

AE required for the defined operation of the EUT according to the specifications of the product committee, e.g. communication equipment, modem, printer, sensor, etc., as well as AE necessary for ensuring any data transfer and assessment of the functions, shall be connected to the EUT through coupling and/or decoupling devices. As far as possible, the number of cables to be tested may be limited; however, all types of physical ports should be submitted to injection.



IEC 2605/13

- a) The EUT clearance from any metallic objects other than test equipment shall be at least 0,5 m.
- b) Only one of the CDNs not used for injection shall be terminated with 50 Ω, providing only a return path. All other CDNs shall be configured as decoupling networks.

Figure 10 – Example of test setup with a single unit EUT (top view)

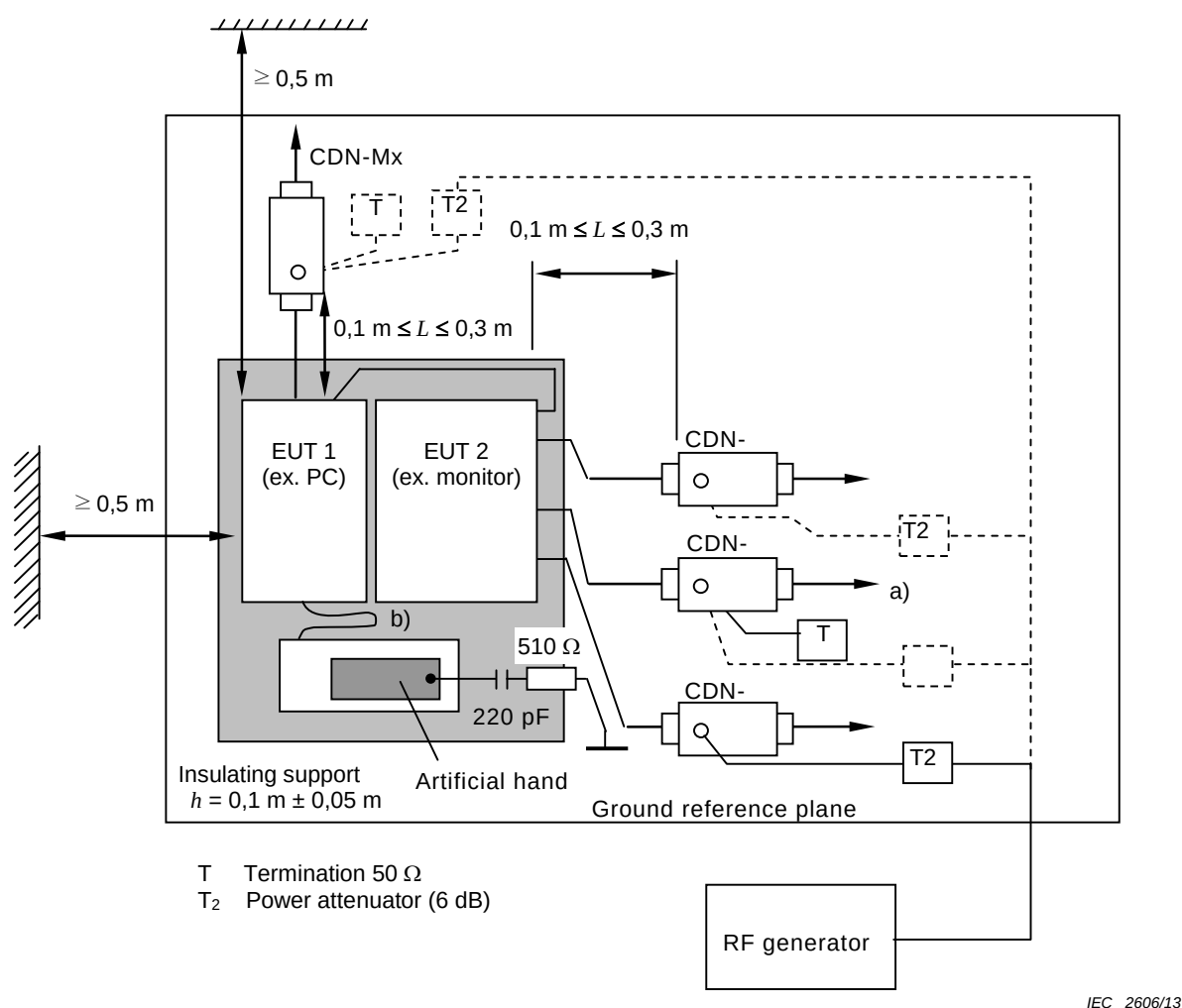
7.3 EUT comprising several units

Equipment comprising several units, which are interconnected, shall be tested using one of the following methods.

- **Preferred method:** Each sub-unit shall be treated and tested separately as an EUT (see 7.2), considering all others as AE. Coupling and decoupling devices (or CDNs) shall be placed on the cables (according to 7.4.1) of the sub-units considered as the EUT. All sub-units shall be tested in turn.
- **Alternative method:** Sub-units that are always connected together by short cables, i.e. ≤ 1 m, and that are part of the equipment to be tested, can be considered as one EUT. No conducted immunity test shall be performed on their interconnecting cables, these cables being regarded as internal cables of the system. See Figure 11.

The units being part of such an EUT shall be placed as close as possible to each other without making contact, all on the insulating support. The interconnecting cables of these units shall also be placed on the insulating support. All other cables shall be tested according to the rules of 7.4 to 7.8.

The EUT clearance from any metallic obstacles other than the test equipment shall be at least 0,5 m.



- a) Only one of the CDNs not used for injection shall be terminated with 50 Ω, providing only one return path. All other CDNs shall be configured as decoupling networks.
- b) Interconnecting cables (≤ 1 m) belonging to the EUT shall remain on the insulating support.

Figure 11 – Example of a test setup with a multi-unit EUT (top view)

7.4 Rules for selecting injection methods and test points

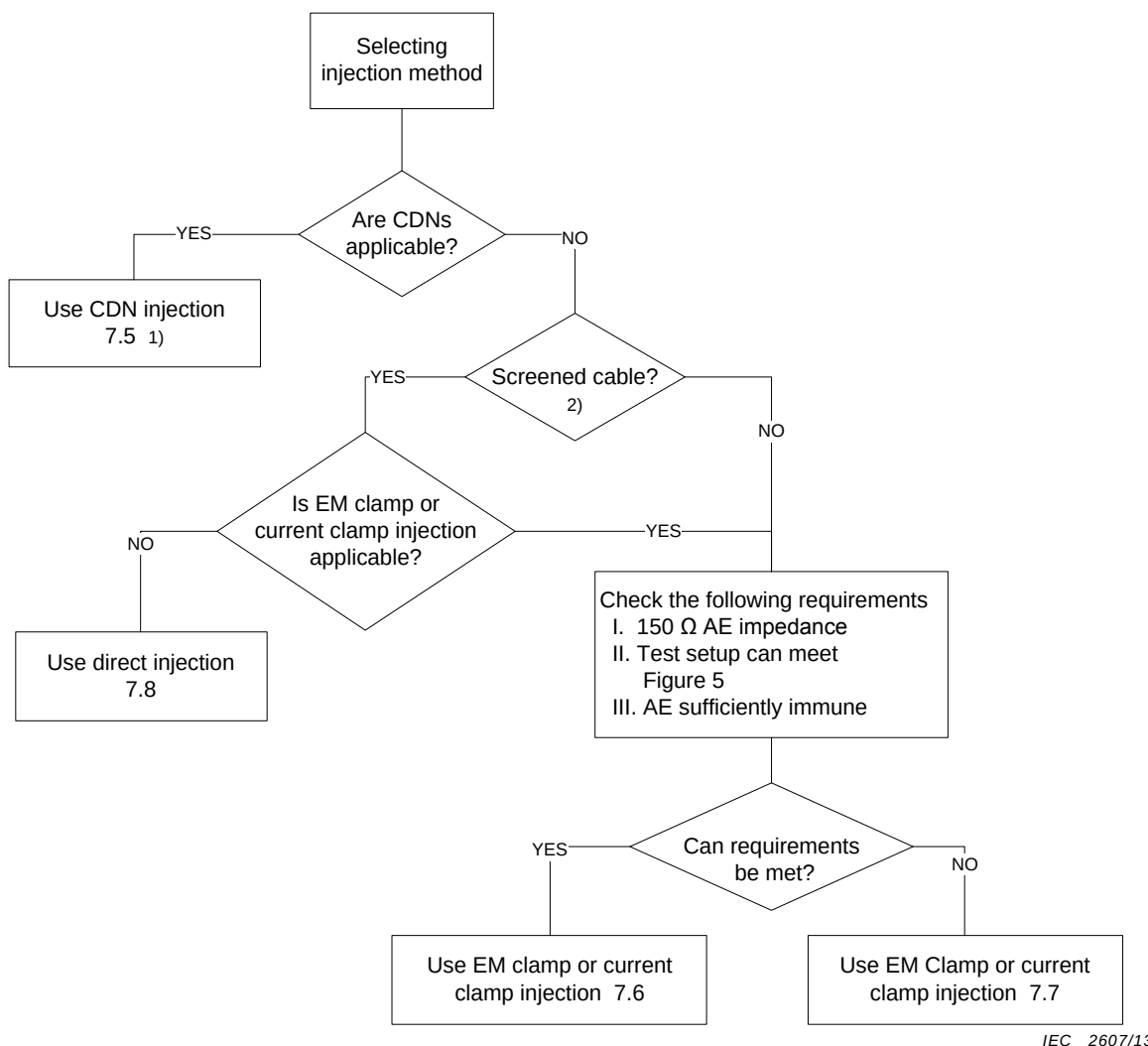
7.4.1 General

To select the type and number of cables to be provided with coupling and decoupling devices, the physical configuration of typical installation conditions shall be considered, e.g. the likely length of the longest cables.

For all tests, the total cable length between the EUT and AE (including the internal cabling of any CDN being used) shall not exceed the maximum length specified by the manufacturer of the EUT.

7.4.2 Injection method

Figure 12 gives rules for selecting the injection method.



IEC 2607/13

1) See Table 4.

2) See 6.2.4.

Figure 12 – Rules for selecting the injection method

Where not specified herein, the EUT including selected cables for testing shall be configured, installed, arranged and operated in a manner consistent with typical applications. CDNs not listed in this standard, but meeting the requirements of this standard, may also be used.

When several cables coming from the EUT are in close proximity over a length of more than 10 m or are routed from the EUT to other equipment in a cable tray or conduit, they should be treated as one cable.

If a product committee decides that a certain kind of coupling and decoupling device is more appropriate for cables connected to a particular family of products, then that choice (justified on a technical basis) takes precedence. These devices shall be described in the product standard. Examples of CDNs are described in Annex D.

7.4.3 Ports to be tested

In any one test, only two 150 Ω networks are required. The network used for injection of the test signal can be moved between different ports as they are tested. When a CDN is removed from a port, it may be replaced by a decoupling network.

If the EUT has multiple identical ports (same input or output electronic circuits, loads, connected equipment, etc.), at least one of these ports shall be selected for testing to ensure that all different types of ports are covered.

7.5 CDN injection application

When using the CDN injection, the following measures need to be taken.

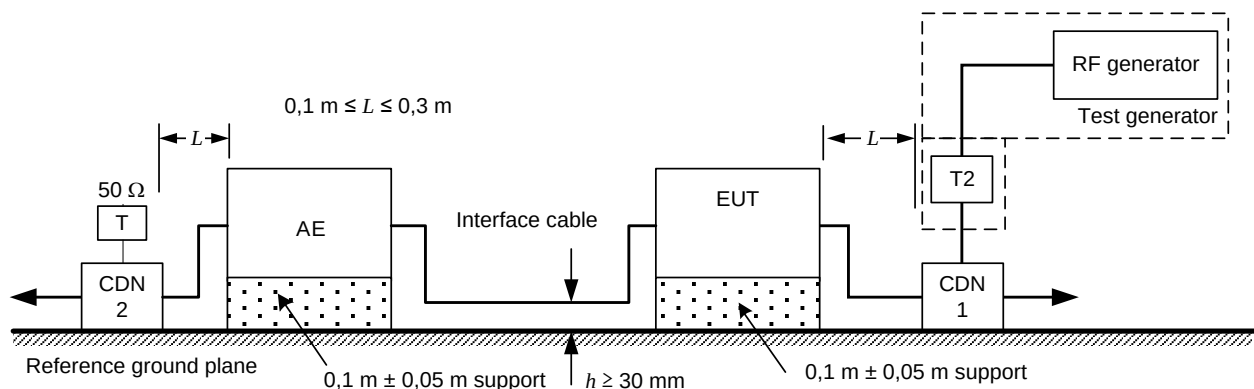
- a) If the AE is directly connected to the EUT (e.g. no decoupling on the connection between them as shown in Figure 13a)) then it is to be placed on an insulating support $0,1\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ above the reference ground plane and grounded via a terminated CDN.

If the EUT has multiple AEs directly connected to it, only one AE shall be terminated in this manner. Other directly connected AEs shall have all other connections decoupled. This ensures that there is only one loop terminated with $150\ \Omega$ at each end.

- b) If the AE is connected to the EUT via a CDN then its arrangement is not generally critical and it can be connected to the reference ground plane in accordance with the manufacturer's installation requirements.
- c) One CDN shall be connected to the port intended to be tested and one CDN with $50\ \Omega$ termination shall be connected to another port. Decoupling networks shall be installed on all other ports to which cables are attached. In this manner there is only one loop terminated with $150\ \Omega$ at each end.
- d) The CDN to be terminated shall be chosen according to the following priority:
 - 1) CDN-M1 used for connection of the earth terminal;
 - 2) CDN-M3, CDN-M4, or CDN-M5 used for mains (class I equipment);
 - 3) CDN-S_n ($n = 1, 2, 3, \dots$): if the EUT has several CDN-S_n ports, the port which is closest to the port selected for injection (shortest geometrical distance) shall be used;
 - 4) CDN-M2 used for mains (class II equipment);
 - 5) Other CDN connected to the port which is the closest to the port selected for injection (shortest geometrical distance).

NOTE Annex I gives guidance for an alternative CDN injection process for specific products.

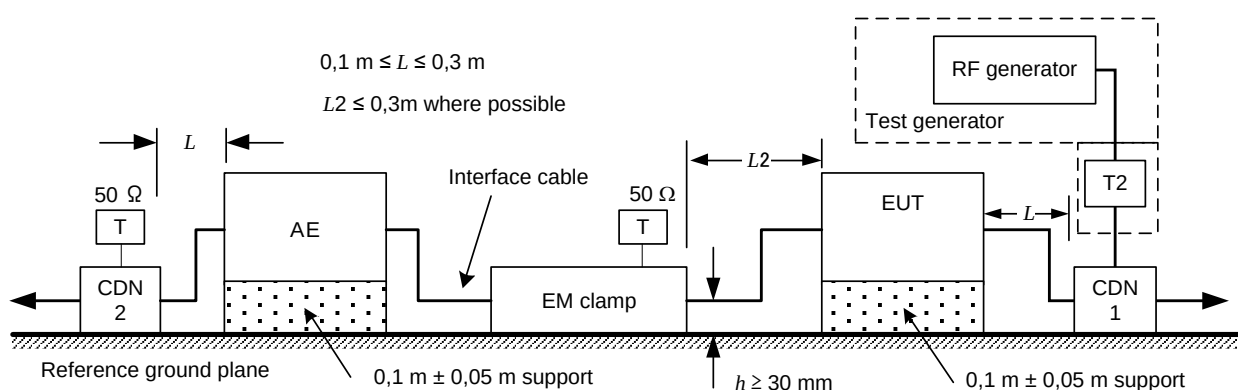
- e) If the EUT has only one port, that port is connected to the CDN used for injection.
- f) If the EUT has two ports and only one CDN can be connected to the EUT, the other port shall be connected to an AE that has one of its other ports connected to a CDN terminated with $50\ \Omega$ in accordance with the above mentioned priority. All other connections of the AE shall be decoupled (see Figure 13a)). If an AE connected to the EUT shows an error during the test, a decoupling device (preferably a terminated EM clamp) should be connected between EUT and AE (see Figure 13b)).
- g) If the EUT has more than two ports and only one CDN can be connected to the EUT it shall be tested as described for two ports but all other EUT ports shall be decoupled. If an AE connected to the EUT shows an error during the test, a decoupling device (preferably a terminated EM clamp) should be connected between EUT and AE, as mentioned above.



IEC 2607/13

The interface cable is set at 1 m if possible.

a) Schematic setup for a 2-port EUT connected to only 1 CDN



IEC 2608/13

b) Example: schematic setup when AE shows errors during the test

T: Termination 50 Ω

T2: Power attenuator (6 dB)

CDN: Coupling and decoupling network

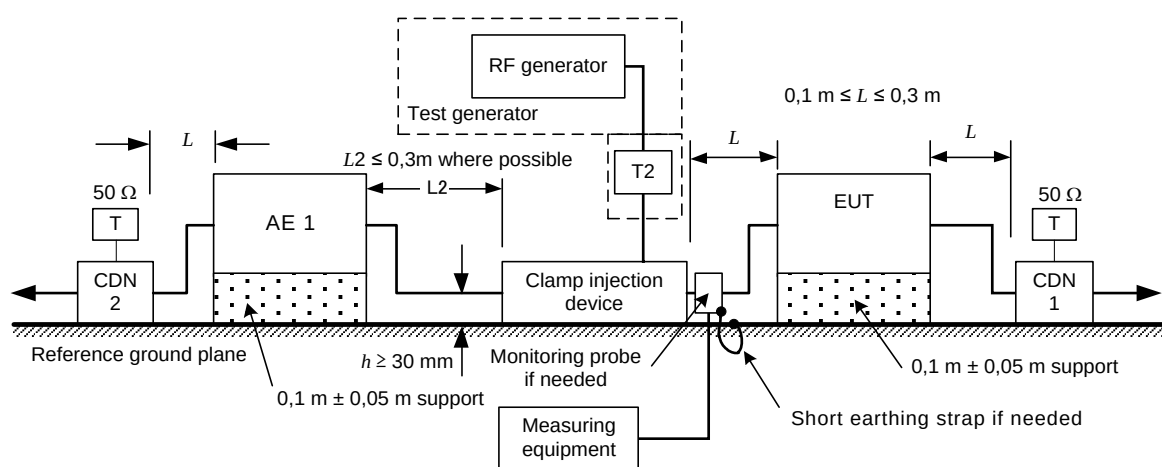
Figure 13 – Immunity test to 2-port EUT (when only one CDN can be used)

7.6 Clamp injection application when the common mode impedance requirements can be met

When using clamp injection, the AE setup shall present the common mode impedance as required in 6.2.1 as closely as possible (see Annex H). Each AE used with clamp injection shall represent the functional installation conditions as closely as possible. To approximate the required common mode impedance the following measures need to be taken.

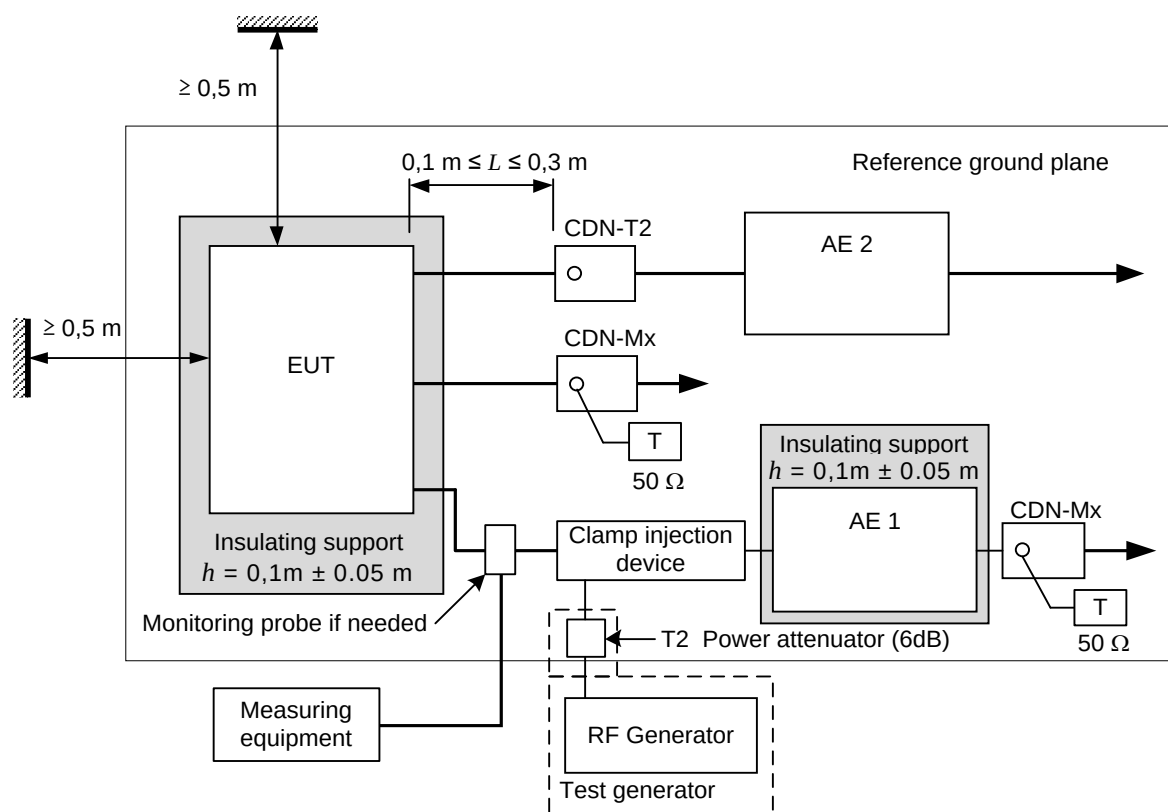
- Each AE, used with clamp injection, shall be placed on an insulating support 0,1 m above the reference ground plane.
- The clamp shall be placed on the cable to be tested. The clamp shall be supplied with the test generator level previously established during the level setting procedure.
- During a test, a ground connection shall be made from the screen of the input port of the current injection clamp or from the earth bar of the EM clamp, to the reference ground plane (see Figures 14 and 15).
- A decoupling network shall be installed on each cable between the EUT and AE except the cable under test.
- All cables connected to each AE, other than those being connected to the EUT, shall be provided with decoupling networks, see 6.2.5 and Figure 5.

- In all other cases the procedure given in 7.7 should be followed.



IEC 2609/13

Figure 14 – General principle of a test setup using clamp injection devices



IEC 2610/13

NOTE Regarding the use of monitoring probes, see 7.7.

Figure 15 – Example of the test unit locations on the ground plane when using injection clamps (top view)

7.7 Clamp injection application when the common mode impedance requirements cannot be met

When using clamp injection, and the common mode impedance requirements cannot be met at the AE side, it is necessary that the common mode impedance of the AE be less than or equal to the common mode impedance of the EUT port being tested. If not, measures shall be taken (e.g. by using a CDN-M1 or 150 Ω resistor from the AE to ground) at the AE port to satisfy this condition and to prevent resonances. In this procedure, only the relevant differences with those measures mentioned in 7.6 are given.

- Each AE and EUT used with clamp injection shall represent the functional installation conditions as closely as possible, e.g. the EUT shall either be connected to the reference ground plane or placed on an insulating support (see Figures 14 and 15).
- By means of a current monitoring probe (having low insertion loss), inserted in between the injection clamp and the EUT, the current resulting from the induced voltage (set according to 6.4.1) shall be monitored. If the current exceeds the nominal circuit value $I_{\max}$ given below, the test generator level shall be reduced until the measured current is equal to the $I_{\max}$ value:

$$I_{\max} = U_0 / 150 \, \Omega$$

The modified test voltage level applied shall be recorded in the test report.

To ensure reproducibility, the test setup shall be fully described in the test report.

7.8 Direct injection application

When using direct injection to screened cables, the following measures need to be taken.

- The EUT shall be placed on an insulating support of 0,1 m height above the reference ground plane.
- On the cable being tested, a decoupling network shall be located between the injection point and the AE, as close as possible to the injection point. A second port shall be loaded with 150 Ω (CDN with 50 Ω termination). This port shall be chosen according to the priority in 7.5. On all other cables attached to the EUT decoupling networks shall be installed. (When left open, a CDN is considered a decoupling network.)
- The injection point shall be located between 0,1 m and 0,3 m from the geometric projection of the EUT on to the reference ground plane.
- The test signal shall be injected directly on to the shield of the cable through a 100 Ω resistor (see 6.2.4).

When making direct connection to foil screens, a proper caution should be exercised to ensure a good connection producing reliable test results.

8 Test procedure

The EUT shall be tested within its intended operating and climatic conditions.

Local interference regulations shall be adhered to with respect to the radiation from the test setup. If the radiated energy exceeds the permitted level, a shielded enclosure shall be used.

NOTE 1 Generally, this test can be performed without using a shielded enclosure. This is because the disturbance levels applied and the geometry of the setups are not likely to radiate a high amount of energy, especially at the lower frequencies.

The test shall be performed with the test generator connected to each of the coupling devices (CDN, EM clamp, current clamp) in turn. All other cables not under test shall either be disconnected (when functionally allowed) or provided with decoupling networks or unterminated CDNs only.

A low-pass filter (LPF) and/or a high-pass filter (HPF), (e. g. 100 kHz cut-off frequency) may be required at the output of the test generator to prevent (higher order or sub-) harmonics from disturbing the EUT. The band stop characteristics of the LPF shall be sufficient to suppress the harmonics so that they do not affect the results. These filters shall be inserted after the test generator before setting the test level (see 6.1 and 6.4.1).

The frequency range is swept from 150 kHz to 80 MHz, using the signal levels established during the setting process, and with the disturbance signal 80 % amplitude modulated with a 1 kHz sine wave, pausing to adjust the RF signal level or to change coupling devices as necessary. Where the frequency is swept incrementally, the step size shall not exceed 1 % of the preceding frequency value. The dwell time of the amplitude modulated carrier at each frequency shall not be less than the time necessary for the EUT to be exercised and to respond, but shall in no case be less than 0,5 s. The sensitive frequencies (e.g. clock frequencies or frequencies identified by the manufacturer or obtained as outcome of the test) shall be analyzed in addition to the stepped frequencies.

NOTE 2 Since the EUT can be disturbed by transients occurring during frequency stepping, provisions need to be made to avoid such disturbance. For example, before the frequency change, the strength of the signal can be decreased a few dB below the test level.

Attempts should be made to fully exercise the EUT during testing, and to fully interrogate all exercise modes selected for susceptibility.

The use of a special exercising program is recommended.

Testing shall be performed according to a test plan.

It may be necessary to carry out some investigatory testing in order to establish some aspects of the test plan.

9 Evaluation of the test results

The test results shall be classified in terms of the loss of function or degradation of performance of the EUT, relative to a performance level defined by its manufacturer or the requestor of the test or by agreement between the manufacturer and the purchaser of the product. The recommended classification is as follows:

- a) normal performance within limits specified by the manufacturer, requestor or purchaser;
- b) temporary loss of function or degradation of performance which ceases after the disturbance ceases, and from which the EUT recovers its normal performance, without operator intervention;
- c) temporary loss of function or degradation of performance, the correction of which requires operator intervention;
- d) loss of function or degradation of performance which is not recoverable, owing to damage to hardware or software, or loss of data.

The manufacturer's specification may define effects on the EUT which may be considered insignificant, and therefore acceptable.

This classification may be used as a guide in formulating performance criteria, by committees responsible for generic, product and product-family standards, or as a framework for the agreement on performance criteria between the manufacturer and the purchaser, for example where no suitable generic, product or product-family standard exists.

10 Test report

The test report shall contain all the information necessary to reproduce the test. In particular, the following shall be recorded:

- identification of the EUT and any associated equipment, e.g. brand name, product type, serial number;
- the size of the EUT;
- representative operating conditions of the EUT;
- whether the EUT is tested as a single or multiple unit;
- the types of interconnecting cables, including their length, and the interface port of the EUT to which they were connected;
- any specific conditions for use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions, which are required to achieve compliance;
- the recovery time of the EUT if necessary;
- the type of test facility used and the position of the EUT, AE(s) and coupling and decoupling devices;
- identification of the test equipment, e.g. brand name, product type, serial number;
- the coupling and decoupling devices used on each cable;
- for each injection port, indicate which decoupling devices were terminated in 50 Ω ;
- a description of the EUT exercising method;
- any specific conditions necessary to enable the test to be performed;
- the frequency range of application of the test;
- the rate of sweep frequency, dwell time and frequency steps;
- the applied test level;

- the performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;
- the performance criteria that have been applied;
- any effects on the EUT observed during or after application of the test disturbance and the duration for which these effects persist;
- the rationale for the pass/fail decision (based on the performance criterion specified in the generic, product or product-family standard, or agreed between the manufacturer and the purchaser).

Annex A (normative)

EM and decoupling clamps

A.1 EM clamps

A.1.1 General

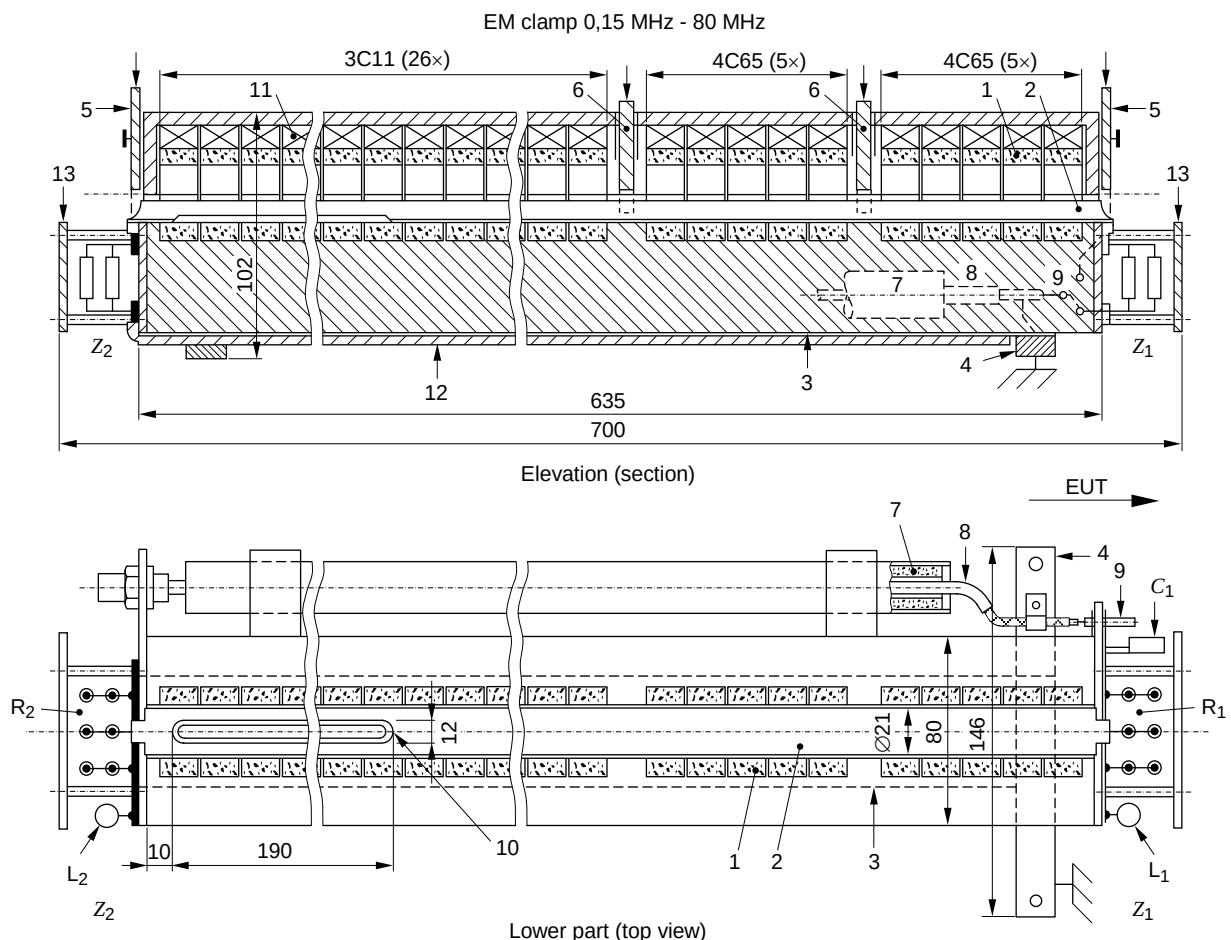
Annex A deals with the requirements of EM clamps. The EM clamp (in contrast to the conventional current injection clamp) has directivity above several tens of MHz.

A.1.2 Typical specification of EM clamps

EM clamps are used for injection into cables. The requirements are:

- operating frequency range: 0,15 MHz to 80 MHz;
- length: 650 mm $\pm$ 50 mm;
- height of clamp opening center above ground plane: 50 mm to 70 mm;
- clamp opening diameter: 20 mm $\pm$ 2 mm;
- clamp reference point (distance from outer dimension to first core): < 30 mm;
- the construction and concept of the EM clamp are given in Figures A.1 and A.2;
- typical characteristics of impedance can be found in Figure A.7;
- typical characteristics of decoupling factor can be found in Figure A.8;
- typical characteristics of coupling factor can be found in Figure A.11.

NOTE Other physical dimensions of the clamp can be used (e.g. to test larger diameter cables) providing the clamp itself meets the requirements defined in A.2.



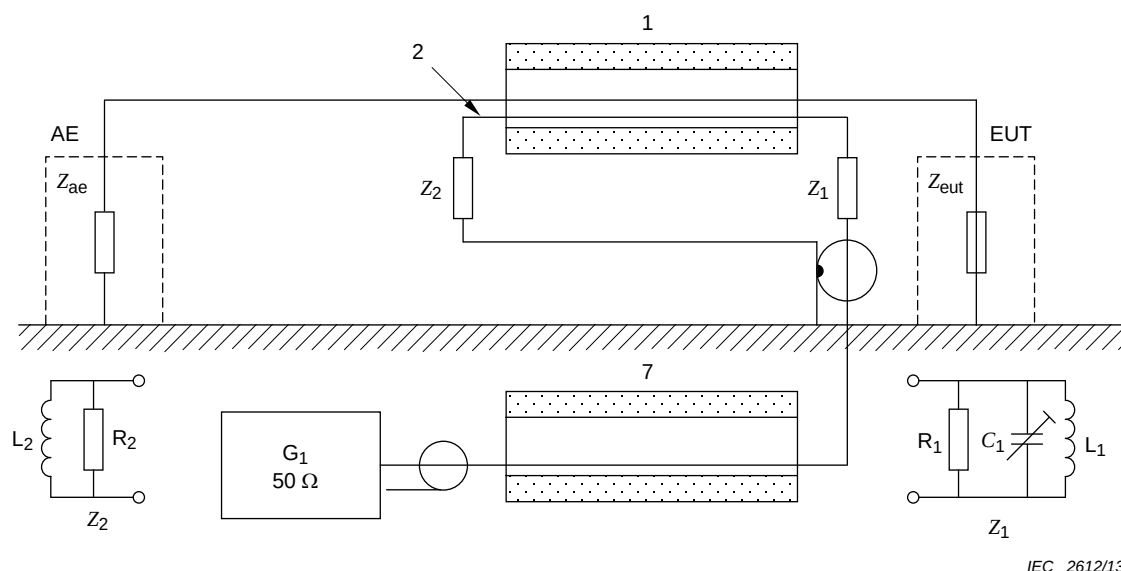
IEC 2611/13

Dimensions in millimetres

Components

- 1 Ferrite ring cores $\varnothing 36 \text{ mm} \times \varnothing 23 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$
10 rings, type 4C65, NiZn, $\mu \approx 100$
26 rings, type 3C11, MnZn, $\mu \approx 4\,300$
- 2 Semi-cylinder of copper foil glued to the groove
- 3 Lower conductor plate
- 4 Earth bar
- 5/6 Devices for pressing the cable under test into the groove
Parts from insulating material with pressure springs (not shown)
- 7 Ferrite tube, 4C65
- 8 Coaxial cable, 50 Ω with BNC connector
- 9 Switch for the disconnection of Z_1
- 10 Slot for part no. 2
- 11 Elastic fixing of ferrite (upper semi-ring)
- 12 Lower insulating plate
- 13 Protection plate for Z_1 , Z_2
- EUT Equipment under test
- Z_1 Series impedance: C_1 : 20 pF – 100 pF, L_1 : 0,15 μH , R_1 : 50 Ω / 12 W
- Z_2 Series impedance: L_2 : 0,8 μH , R_2 : 50 Ω / 12 W

Figure A.1 – Example: Construction details of the EM clamp



Components

- 1 Ferrite tube (clump) length 0,6 m, $\varnothing$ 20 mm, consisting of 10 rings, 4C65 ($\mu \approx 100$) at the EUT side and 26 rings 3C11 ($\mu \approx 4\,300$) at the AE side
- 2 Semi cylinder of copper foil
- 7 Ferrite tube ($\mu \approx 100$) included in the EM clamp construction
- Z_1, Z_2 Built-in to optimize the frequency response and directivity
- G_1 Test generator

Principle of the EM clamp:

- magnetic coupling by the ferrite tube (item 1);
- electric coupling by close proximity between EUT cable and copper foil (item 2).

Figure A.2 – Example: Concept of the EM clamp

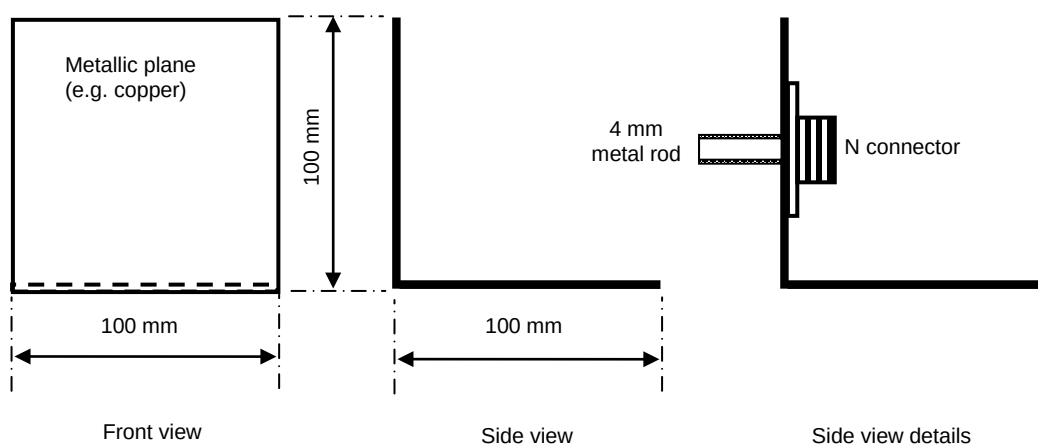
A.2 EM clamp characterization

A.2.1 Specification of the clamp test jig

A test jig used for measuring the S-parameters of clamps shall have a cylindrical metal rod above a metal plate (reference ground plane) as shown in Figures A.4 and A.5. The test jig consists of three sections: one section forming a transmission line in the jig between the two reference planes and two reference planes with lossless $50\,\Omega$ adapters, see Figures A.3 to A.5. For the characterization of the EM clamp, a single metal rod is used. The length of the metal rod ($L_A + L_B + L_{\text{reference}}$) is set to allow the dimensions of Figure A.5 to be satisfied.

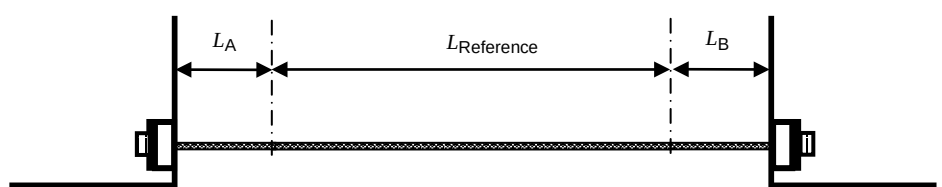
The diameter d of the cylindrical rod shall be 4 mm. The height h above the ground plane is defined by the dimensions of the clamp. Typical values are 50 mm up to 70 mm. The measurement shall be performed at the height defined by the construction of the clamp using the centre position of the clamp opening.

The distance between the clamp reference point (1st core) and the vertical flange of the jig L_A and L_B shall be $30\,\text{mm} \pm 5\,\text{mm}$ (see Figure A.5). The size of the reference ground plane shall exceed the projected geometry of the setup on all sides by at least 0,2 m.



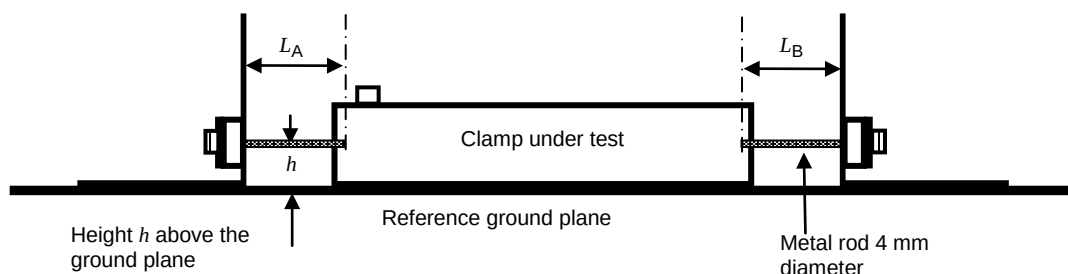
IEC 2613/13

Figure A.3 – Dimension of a reference plane



IEC 2614/13

Figure A.4 – Test jig



IEC 2615/13

Figure A.5 – Test jig with inserted clamp

A.2.2 Clamp characterization

A.2.2.1 Impedance

A.2.2.1.1 Measurement setup

The test jig as defined in A.2.1 shall be used for the impedance measurement. The clamp (i.e. injection port) shall be terminated with a $50\ \Omega$ load and placed into the test jig, see Figure A.6. For impedance measurement the EM clamp is treated as a 2-port device which can be characterized by its S-parameters S_{11} , S_{12} , S_{21} and S_{22} measured in a $50\ \Omega$ system using a network analyzer. Prior to the measurement the network analyzer shall be normalized at the cable ends (to be connected to the jig) using a standard Through-Open-Short-Matched (TOSM) method with an appropriate calibration kit. The length between the cable end and the clamp reference point shall be respected by a port offset of the vector network analyzer (VNA) or by other means.

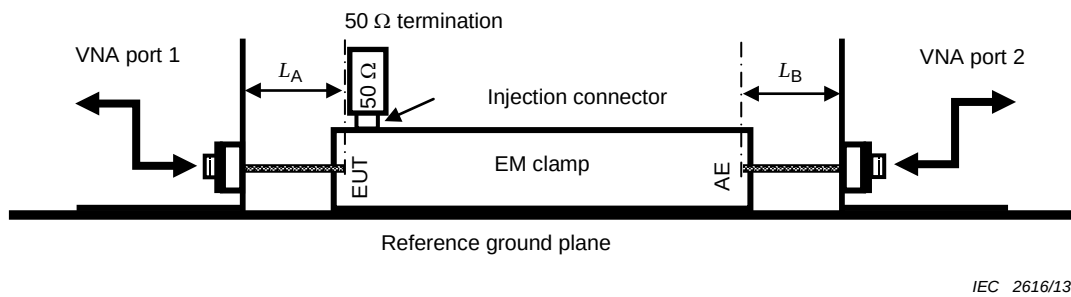


Figure A.6 – Impedance / decoupling factor measurement setup

A.2.2.1.2 Transformation

The S-parameters obtained from the network analyzer measurement as described in A.2.2.1.1 are measured in a 50 Ω system. However, the characteristic impedance Z'_{ref} of the test jig is typically different from 50 Ω. It is determined by the height of the clamp opening above the ground plane. Using ABCD transformation, a set of transformed parameters independent from Z_{ref} can be obtained using the following equations:

NOTE All calculations are performed with complex numbers.

$$Z_{\text{ref}} = 50 \, \Omega \quad (\text{A.1})$$

$$A = \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \quad (\text{A.2})$$

$$B = \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}} Z_{\text{ref}} \quad (\text{A.3})$$

$$C = \frac{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}} / Z_{\text{ref}} \quad (\text{A.4})$$

$$D = \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \quad (\text{A.5})$$

Based on the ABCD parameters a set of S-parameters based on the characteristic impedance Z'_{ref} of the test jig can be calculated.

$$Z'_{\text{ref}} = 60 \, \Omega \cosh^{-1} \left(\frac{2h}{d} \right), \quad (\text{A.6})$$

where

d : is the jig conductor diameter (defined to be 4 mm)

h : is the height of the centre of the jig conductor above the ground plane

$$B' = B / Z'_{\text{ref}} \quad (\text{A.7})$$

$$C' = C \cdot Z_{\text{ref}}' \quad (\text{A.8})$$

$$S_{11}' = \frac{A + B' - C' - D}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.9})$$

$$S_{12}' = \frac{2(AD - BC)}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.10})$$

$$S_{21}' = \frac{2}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.11})$$

$$S_{22}' = \frac{-A + B' - C' + D}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.12})$$

A.2.2.1.3 Impedance calculation

The input impedance is given by

$$Z_{\text{in}} = Z_{\text{ref}}' \frac{1 + S_{11}'}{1 - S_{11}'} \quad (\text{A.13})$$

Figure A.7 gives typical examples of the impedance curve for three different EM clamps.

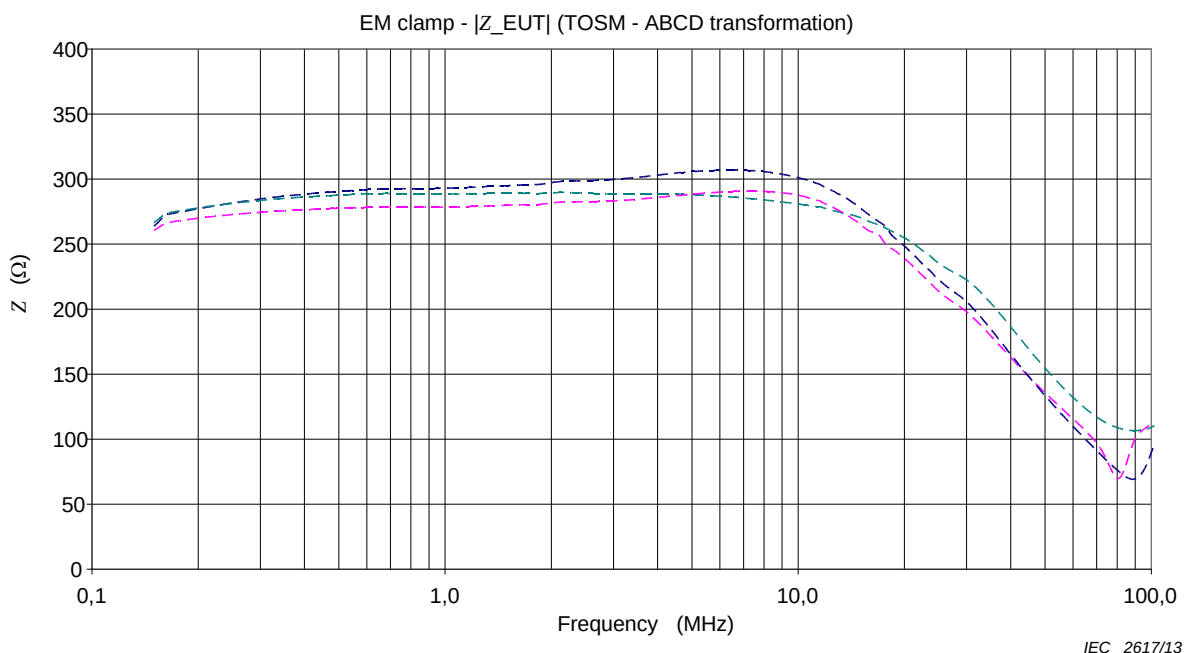


Figure A.7 – Typical examples for clamp impedance, 3 typical clamps

NOTE The impedance measured according to this procedure is valid for the case where the far end of the device is terminated by Z_{ref} . This value may be different when using the clamp in immunity test setups due to the real AE impedance.

A.2.2.2 Decoupling factor between EUT and AE

The measurement setup and the transformation shall be applied as described in A.2.2.1.1 and A.2.2.1.2. The decoupling factor is calculated by

$$a[\text{dB}] = 20 \log_{10} \left(\text{ABS}(S'_{21}) \right) \quad (\text{A.14})$$

Figure A.8 gives typical examples of the decoupling factor curve for three different EM clamps.

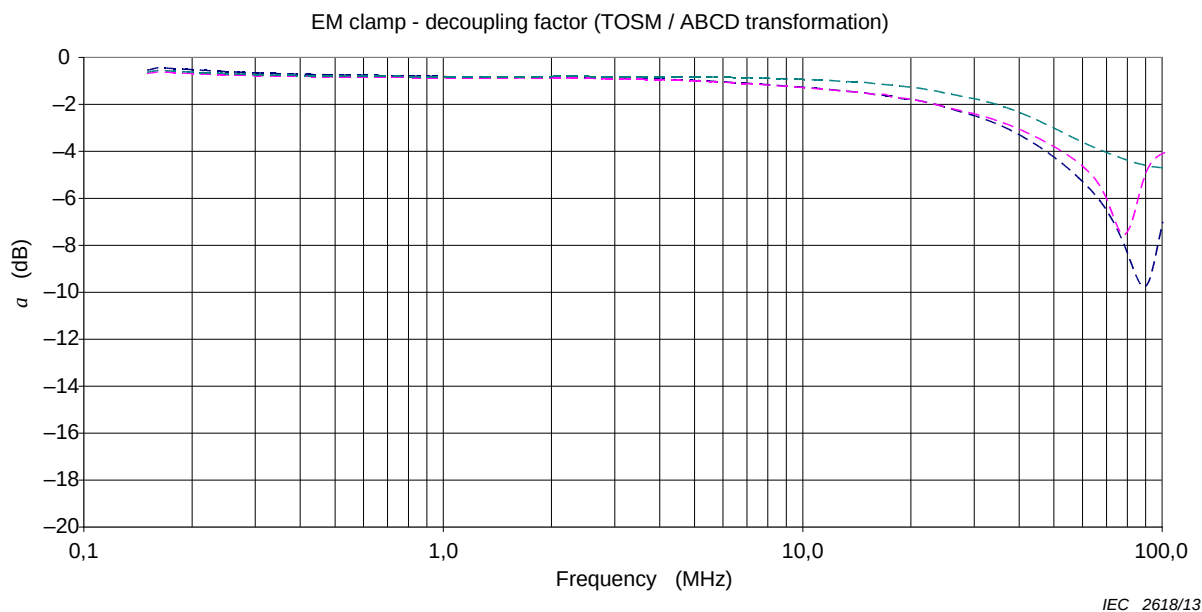


Figure A.8 – Typical examples for decoupling factors, 3 typical clamps

A.2.2.3 Coupling factor

The coupling factor shall be measured in a 150 Ω system according to the setup shown in Figure A.10. The test jig as described in A.2.1 shall be used with the following modifications: The height of the cylindrical rod shall be adjusted to be in the bottom position of the clamp opening. Furthermore 150 Ω to 50 Ω adapters shall be inserted in the reference planes. Prior to the measurement the setup shall be normalized by connecting the reference planes of the jig back to back, see Figure A.9. The use of two 10 dB attenuators as shown in Figures A.9 and A.10 is recommended.

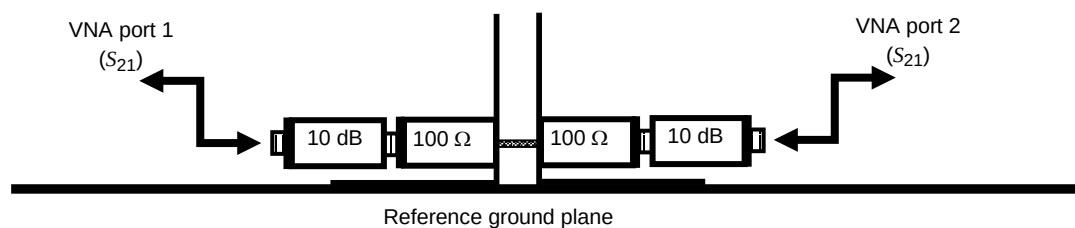
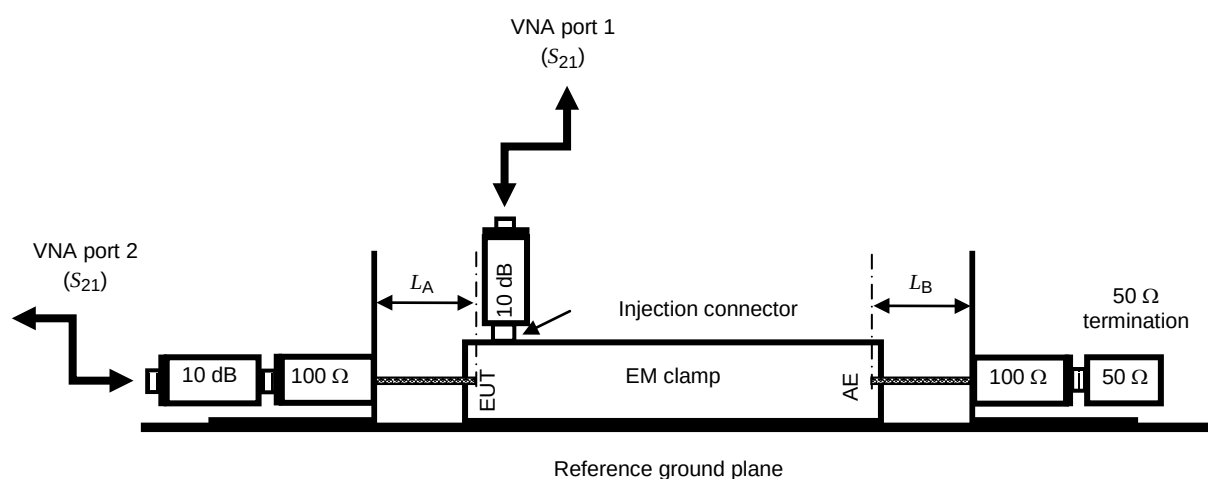


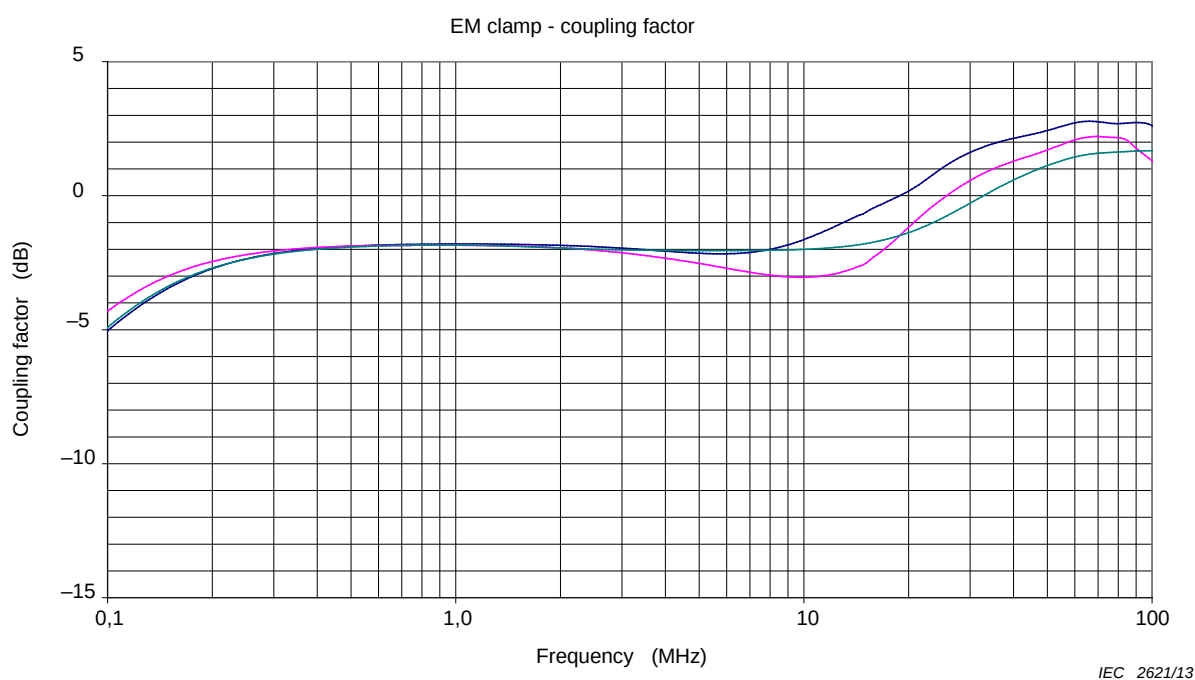
Figure A.9 – Normalization setup for coupling factor measurement



IEC 2620/13

Figure A.10 – S_{21} coupling factor measurement setup

Figure A.11 gives typical examples of the coupling factor curve for three different EM clamps.



IEC 2621/13

Figure A.11 – Typical examples for coupling factor, 3 typical clamps

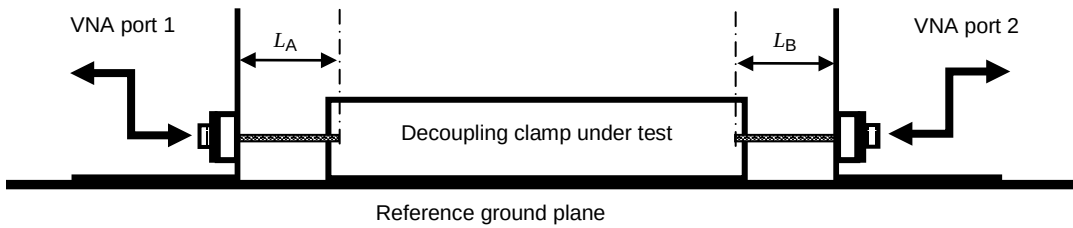
A.3 Decoupling clamp characterization

A.3.1 Impedance

A.3.1.1 Measurement setup

The test jig as defined in A.2.1 shall be used for the impedance measurement. The decoupling clamp shall be placed into the test jig, see Figure A.12. For impedance measurement the decoupling clamp is treated as a 2-port device which can be characterized by its S-parameters S_{11} , S_{12} , S_{21} and S_{22} measured in a 50 Ω system using a network analyzer. Prior to the measurement the network analyzer shall be normalized at the cable ends (to be connected to the jig) using a standard TOSM method with an appropriate

calibration kit. The length between the cable end and the decoupling clamp reference point shall be respected by a port offset of the network analyzer or by other means.



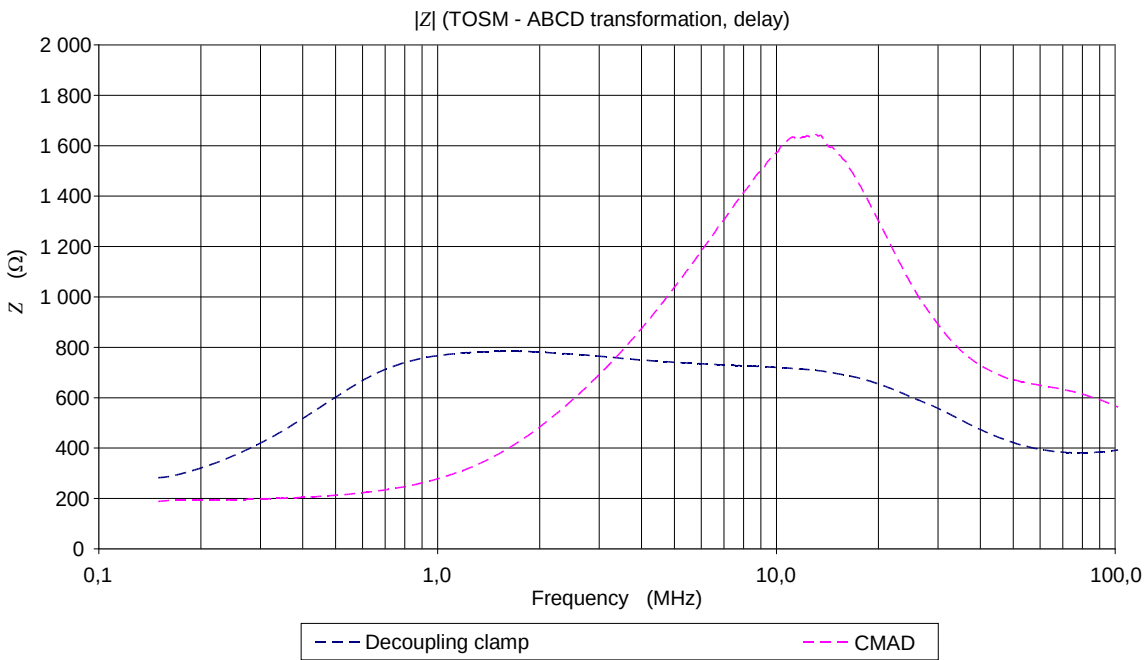
IEC 2622/13

Figure A.12 – Decoupling clamp characterization measurement setup

A.3.1.2 Impedance calculation

The transformation as described in A.2.2.1.2 shall be applied. The input impedance is given by

$$Z_{in} = Z_{ref}' \frac{1 + S_{11}'}{1 - S_{11}'} \tag{A.15}$$



IEC 2623/13

Figure A.13 – Typical examples for the decoupling clamp impedance

NOTE The impedance measured according to this procedure is valid for the case where the far end of the device is terminated by Z_{ref} . This value may be different when using the clamp in immunity test setups due to the real AE impedance.

A.3.2 Decoupling factor

The measurement setup and the transformation shall be applied as described in A.3.1.1 and A.2.2.1.2. The decoupling factor is calculated by

$$a[\text{dB}] = 20 \log_{10} \left(\text{ABS} \left(s'_{21} \right) \right) \tag{A.16}$$

NOTE The common mode absorption device (CMAD) (CISPR 16-1-4) is designed for good decoupling between 30 MHz and 200 MHz and might therefore be less suitable for the lower frequency range indicated in this part of IEC 61000.

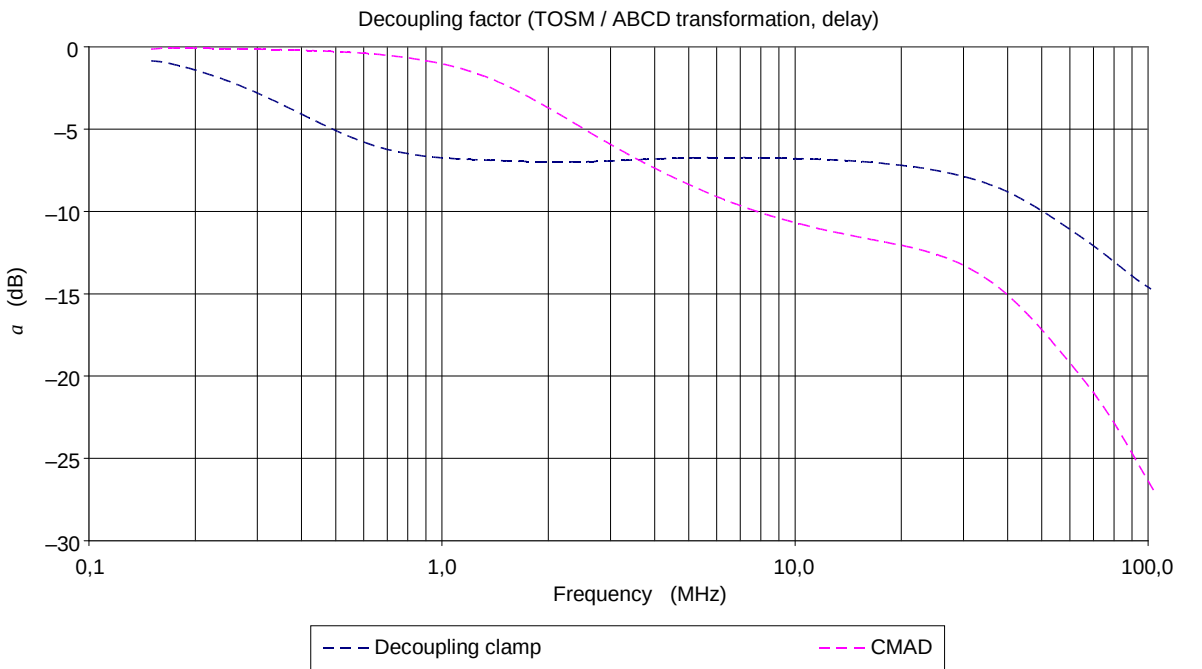


Figure A.14 – Typical examples for decoupling factors

Annex B (informative)

Selection criteria for the frequency range of application

Although the requirements in this standard are specified for the frequency range 150 kHz up to 80 MHz, the applicable frequency range depends on the normal installation and operation conditions of the equipment to be tested. For example, a small battery-powered equipment with total dimensions less than 0,4 m and without any metallic cable(s) connected thereto, does not need to be tested below 80 MHz because it is unlikely that the induced RF energy resulting from the disturbing EM field will upset the device.

In general, the stop frequency will be 80 MHz. In some cases, where small sized equipment is considered (dimension $< \lambda/4$), dedicated product standards may prescribe that the stop frequency is extended up to a maximum of 230 MHz. The coupling and decoupling devices in this case shall then meet the parameter of common mode impedance seen at the EUT port specified in Table B.1 below. When using this test method up to higher frequencies, results are influenced by the size of equipment, the type(s) of interconnecting cables used, and the availability of special CDNs, etc. Further guidance for proper application should be supplied in the dedicated product standards.

Table B.1 – Main parameter of the combination of the coupling and decoupling device when the frequency range of test is extended above 80 MHz

Parameter	Frequency band		
	0,15 MHz to 24 MHz	24 MHz to 80 MHz	80 MHz to 230 MHz
$ Z_{ce} $	$150 \Omega \pm 20 \Omega$	$150 \Omega \begin{smallmatrix} +60\Omega \\ -45\Omega \end{smallmatrix}$	$150 \Omega \pm 60 \Omega$
Neither the argument of Z_{ce} nor the decoupling factor between the EUT port and the AE port are specified separately. These factors are embodied in the requirement that the tolerance of Z_{ce} shall be met with the AE port open or short-circuited to the reference ground plane. When clamp injection methods are used, without complying with the common mode impedance requirements for the AE, the requirements of Z_{ce} may not be met. However, the injection clamps can provide acceptable test results when the guidance of 7.7 is followed.			

The start frequency depends on whether the equipment including its connected cables is capable of receiving a large amount of RF energy from the disturbing EM field.

Three different situations are considered.

- a) Battery-powered equipment (dimension $< \lambda/4$) which has no connection(s) to ground nor to any other equipment and which is not used during battery charging, does not need to be tested according to this standard. If the equipment will be operated during battery charging, case b) or c) applies.

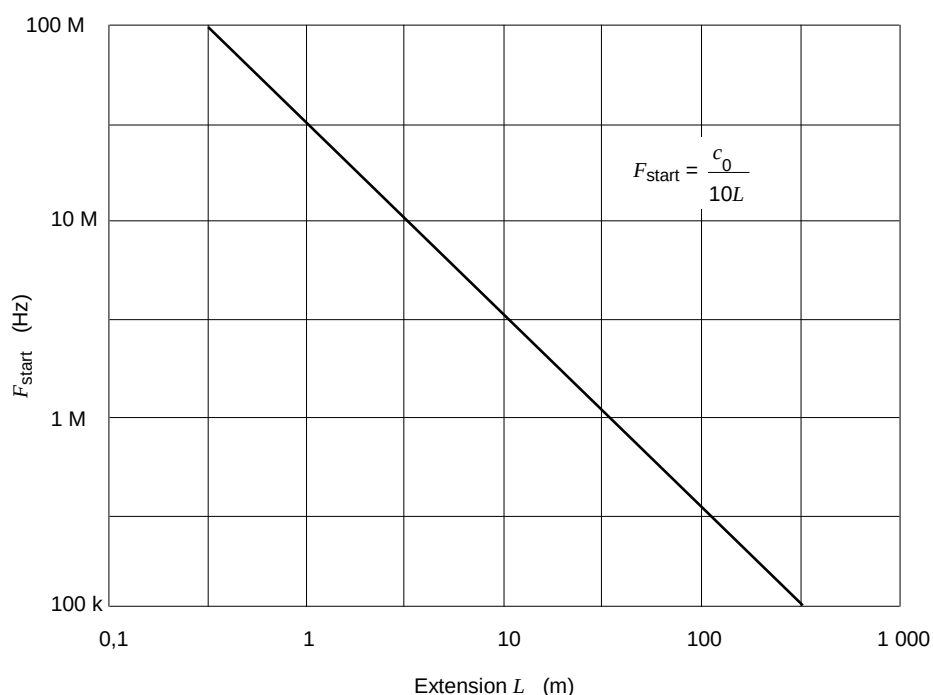
For battery-powered equipment (dimension $\geq \lambda/4$), its size, including the maximum length of the cables connected, determine the start frequency, as shown in Figure B.1.

- b) Equipment connected to a (power) mains network but not connected to any other equipment or cables.

The power supply is provided via a coupling and decoupling device and the equipment is loaded by an artificial hand. The start frequency is 150 kHz.

- c) Equipment connected to a (power) mains network which is also connected via control and I/O or telecommunication cables to other insulated or non-insulated equipment.

The start frequency is 150 kHz.



IEC 2625/13

$$c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

L = cable length + equipment size

Examples:

- For a cable connected to a keyboard (extended dimension $\geq \lambda/4$) powered from a battery-operated personal computer, with a coiled cable having a length of 4 m, the start frequency should be 6,67 MHz. The keyboard should be covered by the artificial hand. For a mouse having just 2 m of cable, the start frequency would be 15 MHz, etc.
- A pocket calculator with an a.c./d.c. adapter option, should be tested on the mains side of the adapter from 150 kHz upwards. The pocket calculator should be covered by the artificial hand.
- A hand-held battery-supplied multimeter which can have connections to ground should be tested on its cables from 150 kHz upwards. The multimeter should be covered by the artificial hand.
- A double insulated (mains) compact disc player which can be connected to an audio receiver, connected to insulated loudspeaker boxes, but also having an antenna input terminal which can be connected to ground should be tested on both mains supply and audio cable(s) from 150 kHz upwards.
- A burglar alarm having various insulated sensors distributed through a building, of which the maximum length of cable may extend 200 m (manufacturer's specification) should be tested on these cables from 150 kHz upwards.

Figure B.1 – Start frequency as function of cable length and equipment size

Annex C (informative)

Guide for selecting test levels

The test levels should be selected in accordance with the electromagnetic radiation environment to which the EUT and cables may be exposed when finally installed. The consequences of failure should be kept in mind in selecting the test level to be used. A higher level should be considered if the consequences of failure are large.

If the EUT is to be installed at a few sites only, then inspection of the local RF sources enables a calculation of field strengths likely to be encountered. If the powers of the sources are not known it may be possible to measure the actual field strength at the location(s) concerned.

For equipment intended for operation in a variety of locations, the following guidelines may be followed in selecting the test level to be used.

The following classes are related to the levels listed in Clause 5; they are considered as general guidelines for the selection of the appropriate levels:

- Class 1: Low-level electromagnetic radiation environment. Typical level where radio/television stations are located at a distance of more than 1 km and typical level for low-power transceivers.
- Class 2: Moderate electromagnetic radiation environment. Low-power portable transceivers (typically less than 1 W rating) are in use, but with restrictions on use in close proximity to the equipment. A typical commercial environment.
- Class 3: Severe electromagnetic radiation environment. Portable transceivers (2 W and more) are in use relatively close to the equipment but at a distance not less than 1 m. High-powered broadcast transmitters are in close proximity to the equipment and ISM equipment may be located close by. A typical industrial environment.
- Class X: X is an open level which may be negotiated and specified in the dedicated equipment specifications or equipment standards.

The test levels described are typical values which are rarely exceeded in the locations described. At some locations these values are exceeded, e.g. in the proximity of high-power transmitters or ISM equipment located in the same building. In such cases, it may be preferable to shield the room or building, and filter the signal and power wires to the equipment, rather than specifying all equipment to be immune to such levels.

Annex D (informative)

Information on coupling and decoupling networks

D.1 Basic features of the coupling and decoupling networks

The CDN should provide:

- coupling of the disturbing signal to the EUT;
- stable impedance, seen from the EUT, independent of the AE common mode impedance;
- decoupling of the AE from the disturbing signal to prevent interference of the AE;
- transparency to the wanted signal.

The required parameters for the CDNs in the frequency range 150 kHz to 80 MHz are given in 6.2.1 and examples are given in D.2.

In the Figures D.1 to D.7, the common mode impedance, Z_{ce} , is formed by the sum of the internal resistance of the test generator (50 Ω) and the parallel combination of the resistors from the conductors of the cable under test (100 Ω). With the use of a suitable inductor L ($|\omega L| \gg 150 \Omega$), the decoupling elements, C_2 , should not influence Z_{ce} .

The centre of the EUT port on the CDN should be located 30 mm above the reference ground plane. The cable between the CDN and the EUT can then represent a transmission line with a characteristic impedance of about 150 Ω if located at 30 mm above the reference ground plane.

The impedance of capacitors C_1 , providing d.c. and LF separation of the test generator and the individual wires of the CDN, should be much less than 150 Ω in the frequency range of interest.

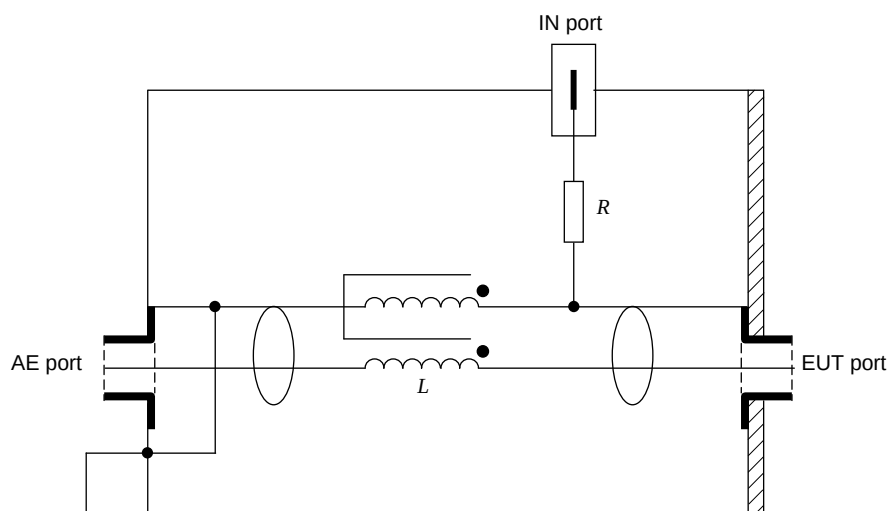
The AE is decoupled by a common mode inductor L , and by the capacitors C_2 for unscreened cables or by a common mode inductor L only. For screened cables, the capacitors C_2 are not needed as the screen will be connected to the reference ground plane at the AE side.

It is essential for unscreened cable that the value of C_2 is chosen such that the wanted signal is not unduly affected. It is not permissible for CDN parameters to be unduly affected by the wanted signal, e.g. in CDN-M1, saturation of the ferrite(s).

Warning: Since C_1 and C_2 bridge live parts in the mains CDNs, suitable Y capacitors shall be used. Due to the high leakage current, the CDN shall have an earth terminal which shall be connected to the reference ground plane under all test conditions, and the reference ground plane shall be appropriately connected to the protective earth.

D.2 Examples of coupling and decoupling networks

A number of possibilities are given in Figures D.1 to D.7 because it is impossible to cover all functional requirements with one CDN.

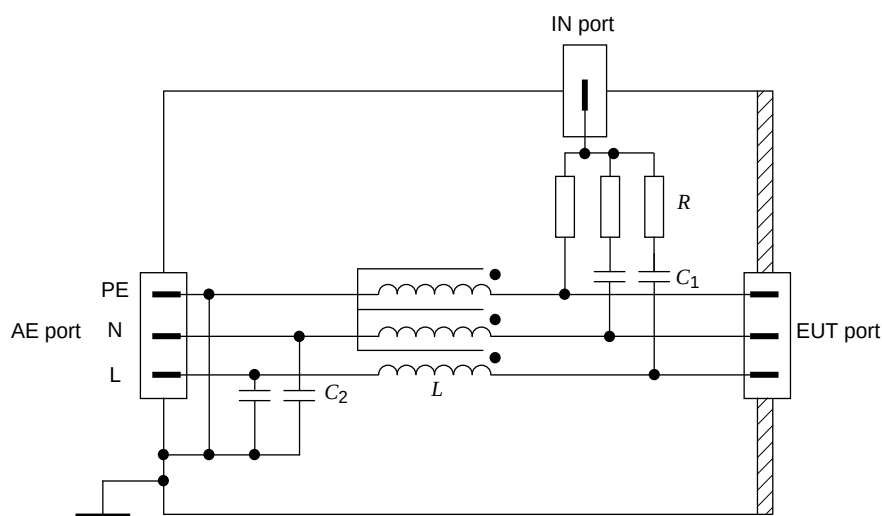


IEC 2626/13

$$R = 100 \, \Omega$$

$$L \geq 280 \, \mu\text{H at } 150 \, \text{kHz}$$

Figure D.1 – Example of a simplified diagram for the circuit of CDN-S1 used with screened cables (see 6.2.2.5)



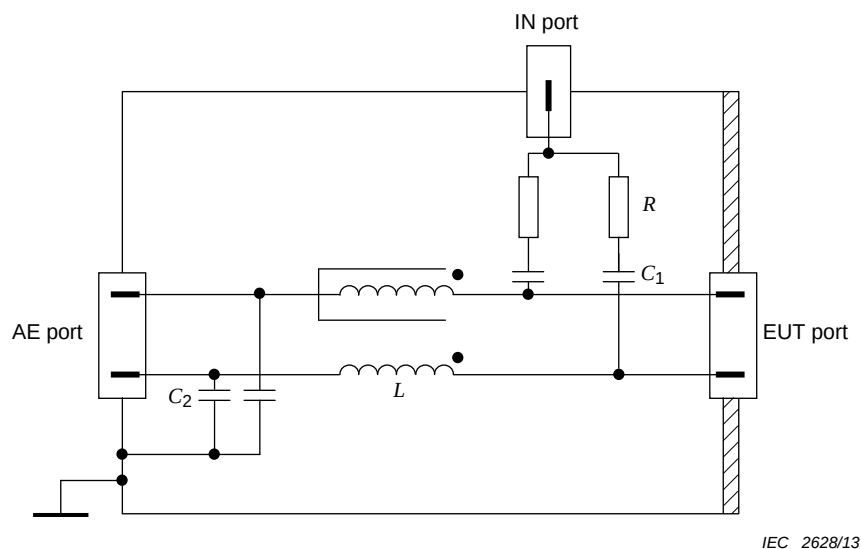
IEC 2627/13

CDN-M3, C_1 (typical) = 10 nF, C_2 (typical) = 47 nF, $R = 300 \, \Omega$, $L \geq 280 \, \mu\text{H at } 150 \, \text{kHz}$

CDN-M2, C_1 (typical) = 10 nF, C_2 (typical) = 47 nF, $R = 200 \, \Omega$, $L \geq 280 \, \mu\text{H at } 150 \, \text{kHz}$

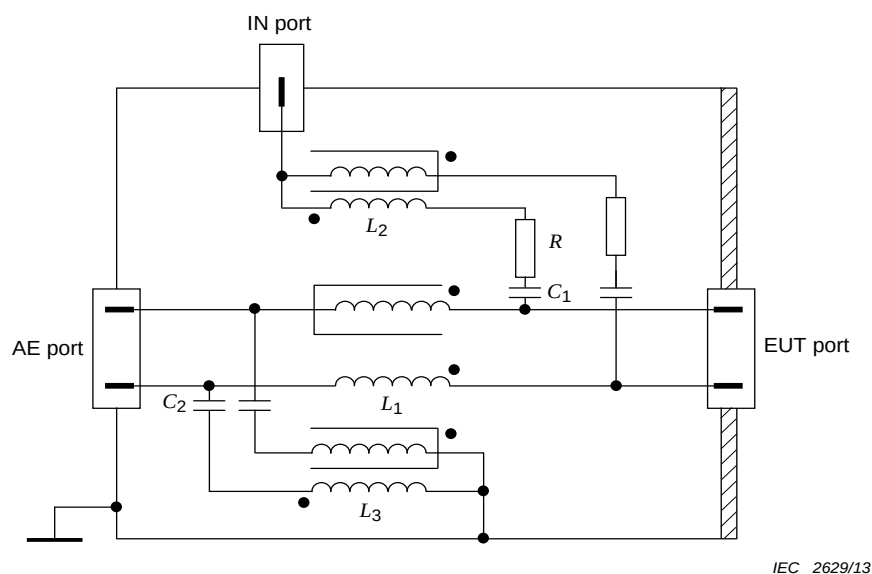
CDN-M1, C_1 (typical) = 22 nF, C_2 (typical) = 47 nF, $R = 100 \, \Omega$, $L \geq 280 \, \mu\text{H at } 150 \, \text{kHz}$

Figure D.2 – Example of simplified diagram for the circuit of CDN-M1/-M2/-M3 used with unscreened supply (mains) lines (see 6.2.2.2)



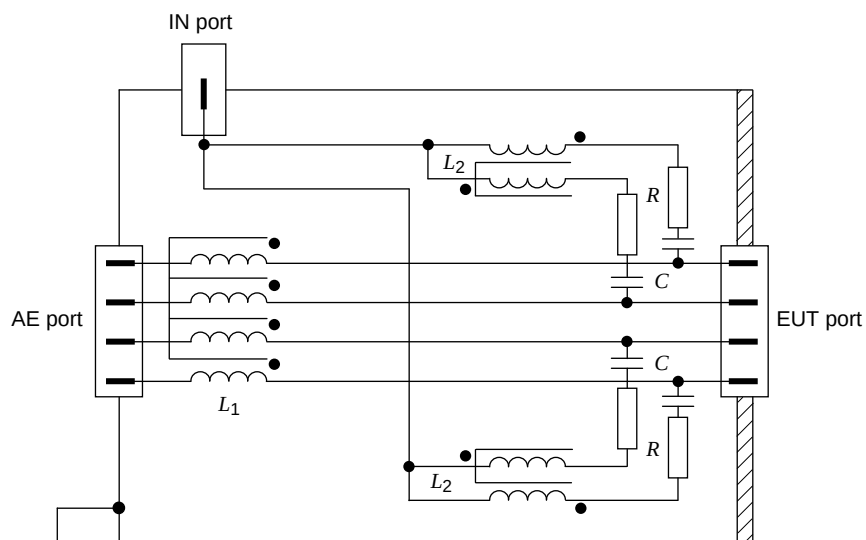
C_1 (typical) = 10 nF
 C_2 (typical) = 47 nF
 $R = 200 \, \Omega$
 $L \geq 280 \, \mu\text{H}$ at 150 kHz

Figure D.3 – Example of a simplified diagram for the circuit of CDN-AF2 used with unscreened unbalanced lines (see 6.2.2.4)



C_1 (typical) = 10 nF,
 C_2 (typical) = 47 nF, $R = 200 \, \Omega$
 $L_1 \geq 280 \, \mu\text{H}$ at 150 kHz
 $L_2 = L_3 = 6 \, \text{mH}$ (when C_2 and L_3 are not used, $L_1 \geq 30 \, \text{mH}$)

Figure D.4 – Example of a simplified diagram for the circuit of a CDN-T2, used with an unscreened balanced pair (see 6.2.2.3)



IEC 2630/13

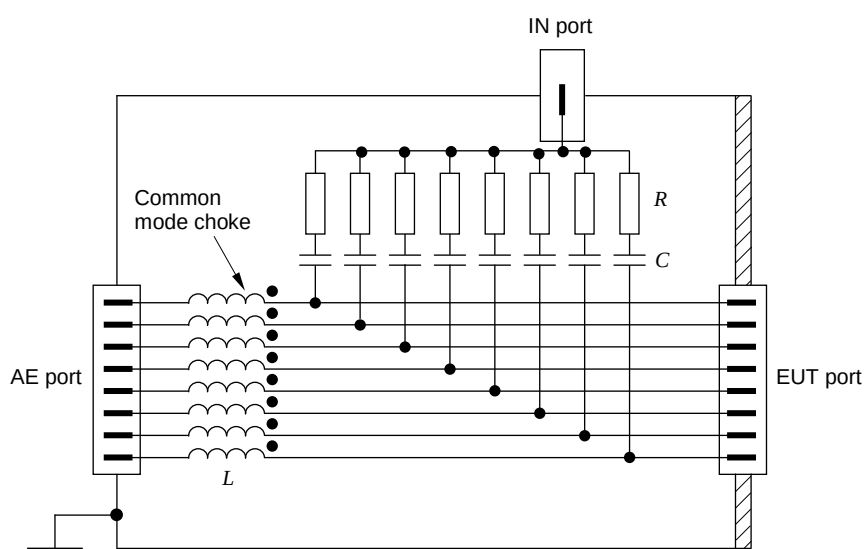
C (typical) = 5,6 nF

$R = 400 \Omega$

$L_1 \gg 280 \mu\text{H}$ at 150 kHz

$L_2 = 6 \text{ mH}$

Figure D.5 – Example of a simplified diagram of the circuit of a CDN-T4 used with unscreened balanced pairs (see 6.2.2.3)



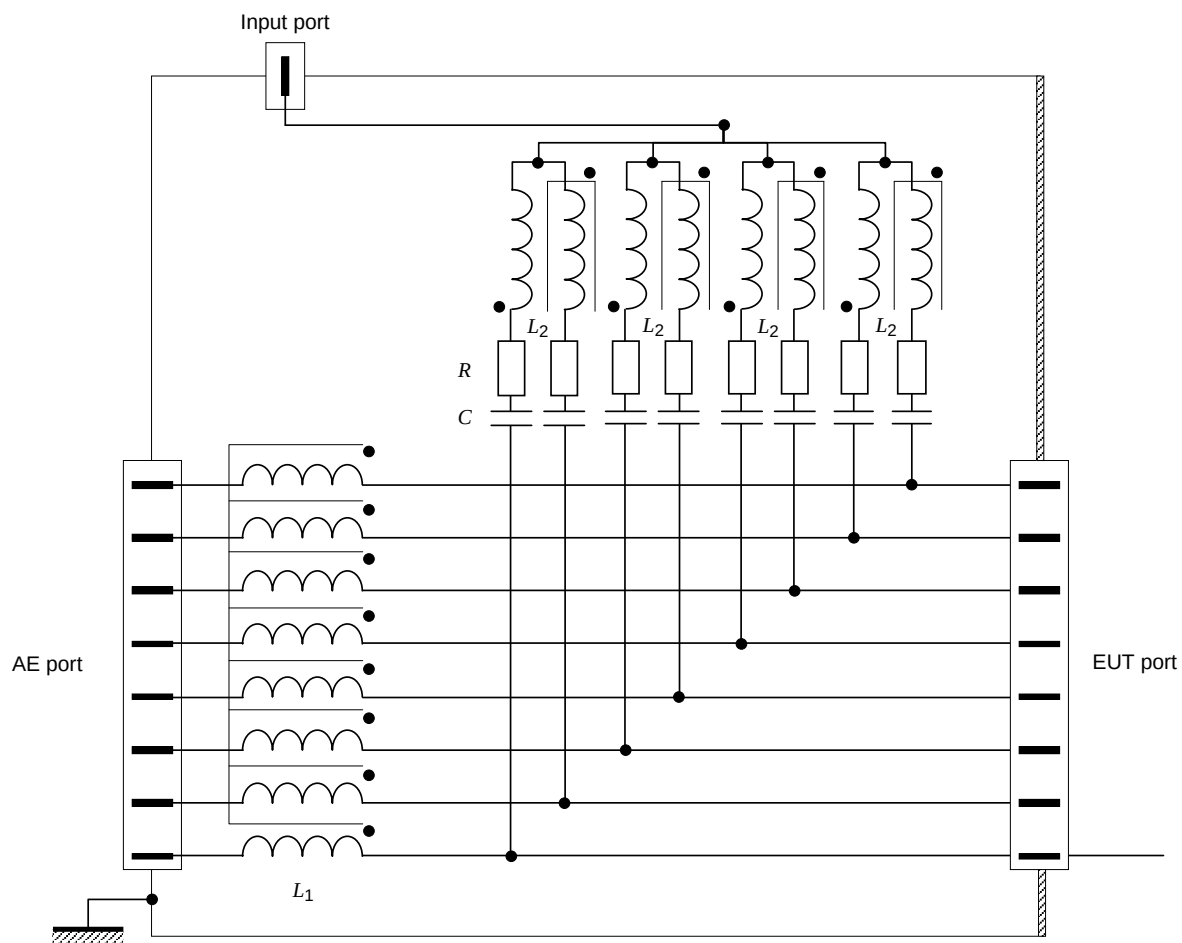
IEC 2631/13

C (typical) = 2,2 nF

$R = 800 \Omega$

$L \gg 280 \mu\text{H}$ at 150 kHz

Figure D.6 – Example of a simplified diagram of the circuit of a CDN AF8 used with unscreened unbalanced lines (see 6.2.2.4)



IEC 2632/13

C (typical) = 2,2 nF

$R = 800 \Omega$

$L_1 \gg 280 \mu\text{H}$ at 150 kHz

$L_2 \gg 6 \text{ mH}$ at 150 kHz

Figure D.7 – Example of a simplified diagram of the circuit of a CDN-T8 used with unscreened balanced pairs (see 6.2.2.3)

Annex E (informative)

Information for the test generator specification

The available output power of the power amplifier, PA (Figure 3), is determined by taking into account the attenuator T2 (6 dB), the amplitude modulation depth (80 %) (see Figure 2), and the minimum coupling factor of the CDN or clamp used.

Table E.1 – Required power amplifier output power to obtain a test level of 10 V

Injection device	Minimum coupling factor $\pm 1,5$ dB dB	Required power at output of PA W
CDN	0	7
Current clamp winding (ratio 5:1)	–14	176
EM clamp	–6	28
NOTE The coupling factor is defined in 3.6. It can be measured by using the output level setting circuit (see Figure 9c)). The coupling factor is the ratio between the output voltage U_{mr} , obtained when using a coupling and decoupling device in series with a 150 Ω to 50 Ω adapter and the output voltage when using two 150 Ω to 50 Ω adapters in series.		

Annex F (informative)

Test setup for large EUTs

F.1 General

The test setup as described in the main body of this standard (see Clause 7) is not fully sufficient to cover the needs of some large EUTs with cables entering or exiting the EUT at heights greater than 1 m. As the upper frequency of the test signal is 80 MHz, EUT size may be considerable compared to the wavelength, and resonance effects may be present with cables that are connected to such EUTs.

In this case, Annex F provides an alternative test method applicable to large EUTs that places the coupling device near to the cable entry, resulting in a small loop area with reduced resonance effects.

Examples of large EUTs to which Annex F may apply include, but are not limited to, the following:

- rack-mounted telecommunication switching systems;
- electrical machinery;
- rack-mounted switch and control gear.

F.2 Test setup for large EUTs

Examples of the test setup for large EUTs are given in Figures F.1 and F.2.

The elevated reference ground plane shown in Figure F.1 is the reference ground plane for this test setup. The purpose of the elevated reference ground plane is to reduce the length of cable between the EUT and CDN, thereby controlling or reducing the effects of resonances in the cables.

The size of the elevated reference ground plane shall be large enough to extend a minimum of 0,2 m beyond all CDNs used in the test. The length of cable under test between the EUT and CDN shall be a maximum of 0,3 m.

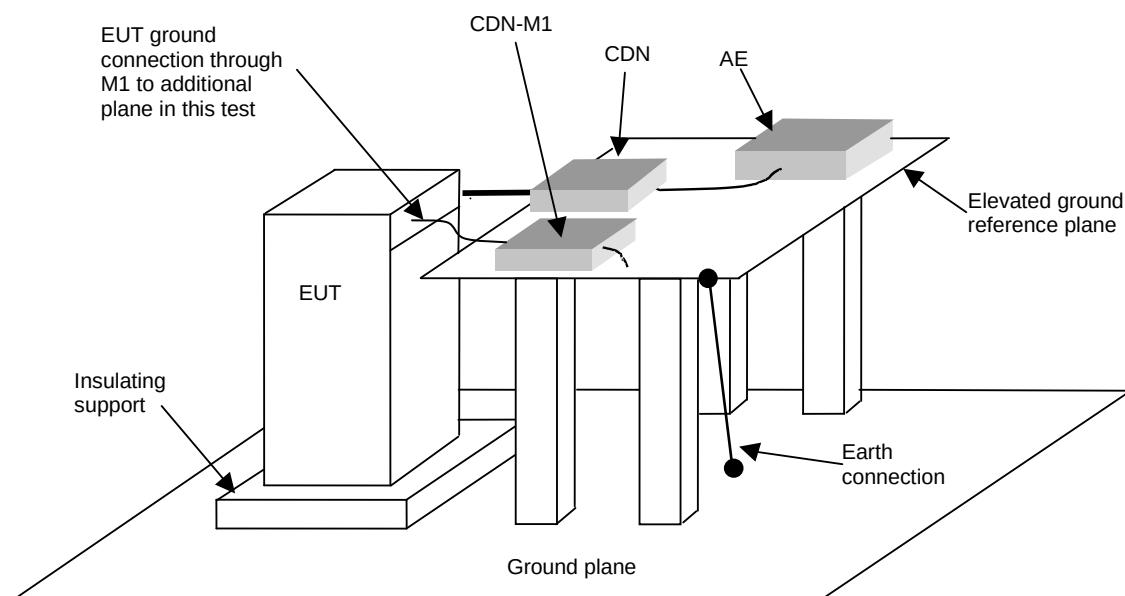
The elevated reference ground plane shall be placed at a height above the main ground plane so as to allow cables from the EUT to pass to the CDNs in a horizontal alignment.

The elevated reference ground plane shall be electrically connected to earth for safety reasons. This connection is not significant from an RF point of view in case that more than one CDN is used for the setup.

NOTE 1 The physical construction of the elevated reference ground plane and its support structure to ensure a mechanically safe condition are important.

The equipment to be tested should be placed on an insulating support of $0,1\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ height above the ground plane. In case the equipment is delivered on a transport pallet, and if due to its excessive weight or size it cannot be safely removed from its transport pallet, then the EUT may be left on its pallet for testing even if its height exceeds $0,1\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$. In case the equipment, because of size or weight, cannot be elevated $0,1\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$, thinner insulation may be used provided the EUT is electrically isolated from the ground plane. Any variation from the standard method of testing shall be recorded in the test report.

The AE may be located on the elevated reference ground plane but does not need to be located on it provided the AE is connected to the EUT via a CDN. When direct injection is used, the AE may be located off of the elevated reference ground plane provided proper decoupling is used. In the case where clamp injection is used instead of injection via a CDN, the AE shall be located on the elevated reference ground plane.



IEC 2633/13

Figure F.1 – Example of large EUT test setup with elevated horizontal reference ground plane

The vertical reference ground plane shown in Figure F.2 is the reference ground plane for this test setup. The purpose of the vertical reference ground plane is to reduce the length of cable between the EUT and CDN, thereby controlling or reducing the effects of resonances in the cables.

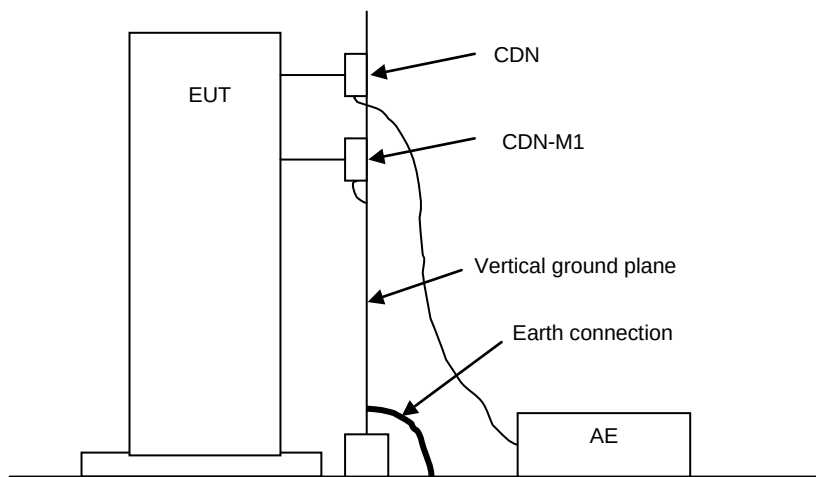
NOTE 2 The vertical reference ground plane may be more applicable than the horizontal elevated reference ground plane in cases where cables enter/exit the EUT at multiple heights or where only one CDN is applied.

The vertical reference ground plane shall be electrically connected to earth for safety reasons. This connection is not significant from an RF point of view.

The size of the vertical reference ground plane shall be large enough to extend a minimum of 0,2 m beyond all CDNs used in the test. In case of EUT having only one line, the vertical reference ground plane shall extend to the floor and bonded to the floor with low inductivity. The length of cable under test between the EUT and CDN shall be a maximum of 0,3 m. The distance between the EUT and the vertical reference ground plane shall be such that the 0,3 m cable length requirement can be satisfied. A wall of a shielded room can be used as the vertical reference ground plane.

The CDNs shall be mounted to the vertical reference ground plane at a height that allows cables from the EUT to pass to the CDNs in a horizontal alignment.

The statements given for the test setup using a horizontal elevated reference ground plane (i.e., insulating support and location of AE) apply for the test setup using a vertical reference ground plane accordingly.



IEC 2634/13

**Figure F.2 – Example of large EUT test setup
with vertical reference ground plane**

Annex G (informative)

Measurement uncertainty of the voltage test level

G.1 General

Annex G gives information related to measurement uncertainty (MU) of the voltage generated by the test instrumentation according to the particular needs of the test method contained in the main body of this standard. Further information about MU can be found in [1, 2, 3]¹.

Annex G focuses on the uncertainties for level setting as an example and shows how an uncertainty budget can be prepared based both upon the measurement instrumentation uncertainty and the voltage test level setting procedure described in 6.4. Other parameters of the disturbance quantity (e.g. modulation frequency, modulation depth, etc.) may be of equal importance and should also be considered by the test laboratory as appropriate. The methodology shown in Annex G is considered to be applicable to all parameters of the disturbance quantity.

The subject of Annex G is the evaluation of MU of the voltage level set in the case of 150 Ω EUT impedance as required by the test level setting procedure in 6.4. The analysis of non-reproducibility issues, related to tests made by different laboratories on the same EUT are out of the scope of Annex G.

G.2 General symbols

The general symbols that appear in Table G.1 and that are listed below are a subset of those defined in [1].

X_i	input quantity
x_i	estimate of X_i
$u(x_i)$	standard uncertainty of x_i
c_i	sensitivity coefficient
y	result of a measurement, (the estimate of the measurand), corrected for all recognized significant systematic effects
$u_c(y)$	(combined) standard uncertainty of y
$U(y)$	expanded uncertainty of y
k	coverage factor
δX_i	correction for the influence quantity X_i

G.3 Uncertainty budgets for test methods

G.3.1 Definition of the measurand

The measurand is the open circuit test level U_0 as defined in Clause 5.

NOTE U_0 is the voltage supplied through a coupling device to a 150 Ω load at a specific frequency comprised between 150 kHz and 80 MHz. For the purpose of measurement uncertainties it is expressed in dB(μ V).

¹ Numbers in square brackets refer to the reference documents at the end of Annex G.

G.3.2 MU contributors of the measurand

The following influence diagrams (Figures G.1 to G.4) give examples of influence quantities upon voltage test level. It should be understood that the diagrams are not exhaustive. The most important contributors from the influence diagrams have been selected for the uncertainty budget calculation examples shown in Tables G.1 to G.8. At least these contributors listed in Tables G.1 to G.8 shall be used for the calculation of MU in order to obtain comparable budgets for different test sites or laboratories. It is noted that a laboratory may include additional contributors (for example, type A) in the calculation of the MU, on the basis of its particular circumstances.

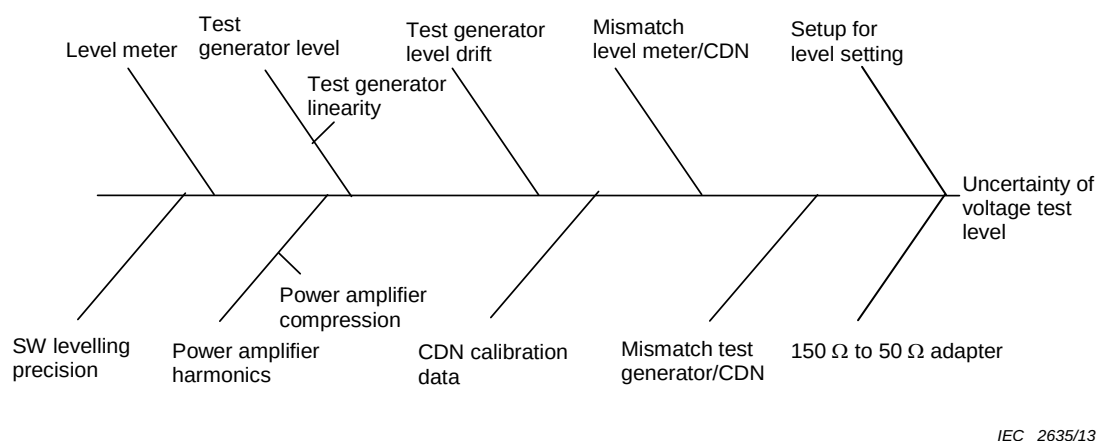


Figure G.1 – Example of influences upon voltage test level using CDN

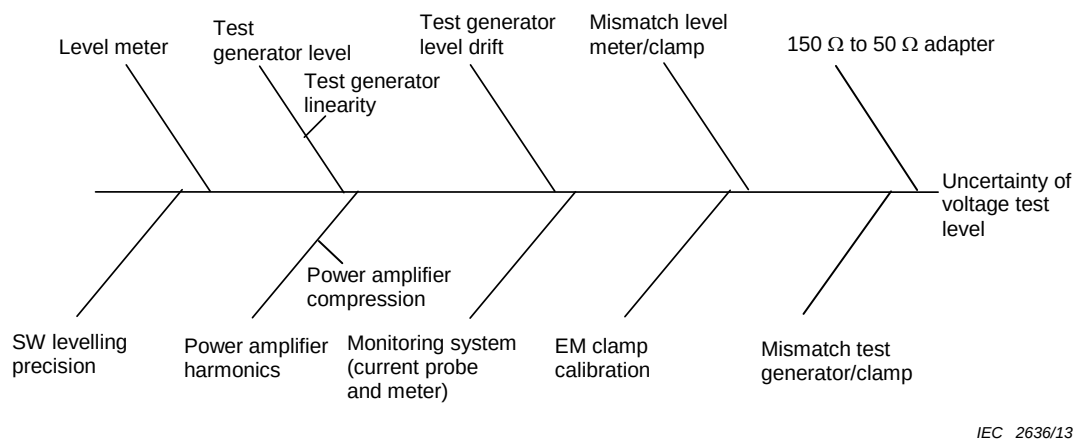


Figure G.2 – Example of influences upon voltage test level using EM clamp

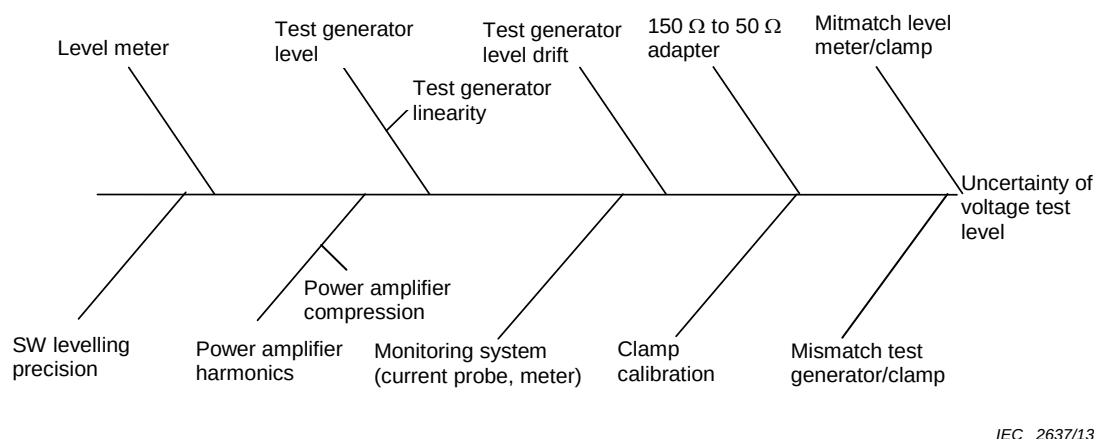


Figure G.3 – Example of influences upon voltage test level using current clamp

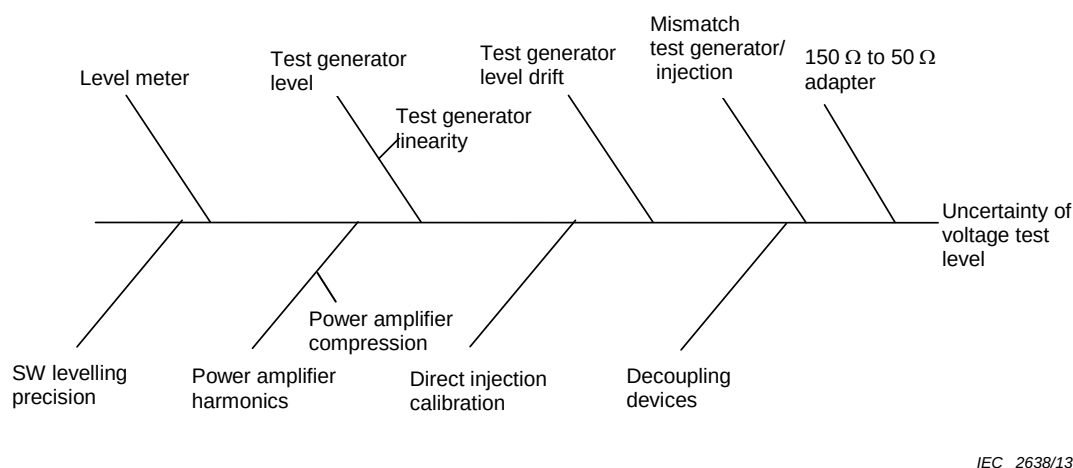


Figure G.4 – Example of influences upon voltage test level using direct injection

G.3.3 Input quantities and calculation examples for expanded uncertainty

The examples below assume the same instrumentation used in the test level setting procedure is used for generating the voltage test level (the measurement setup for the test level setting is that depicted in Figure 9c) and Figure G.5), except for the measuring instrument, which is absent during the test. However, the uncertainty contributions that would exist, if different instrumentation is used, are shown in Tables G.1 to G.8 but their values are set to zero (see notes below Tables G.1 to G.8).

Therefore, it has to be recognized that the contributions which apply for the level setting process and for the test may not be the same. This leads to (slightly) different uncertainty budgets for each process.

Tables G.1 to G.8 give examples of an uncertainty budget for voltage level setting. Each uncertainty budget consists of two parts, the uncertainty for level setting and the uncertainty for test. The level setting process determines the relation between U_x and U_{mr} . (See Figure G.1.) During the test process, U_x is reproduced.

Model function for CDN voltage level setting process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_{LMC} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_C + \delta RCAL + \delta SETUP + \delta SW_C + \delta ML$$

Explanation of contributions:

U_{LMc} Voltage indication U_{mr} from the power meter directly in or converted to dB(μV).

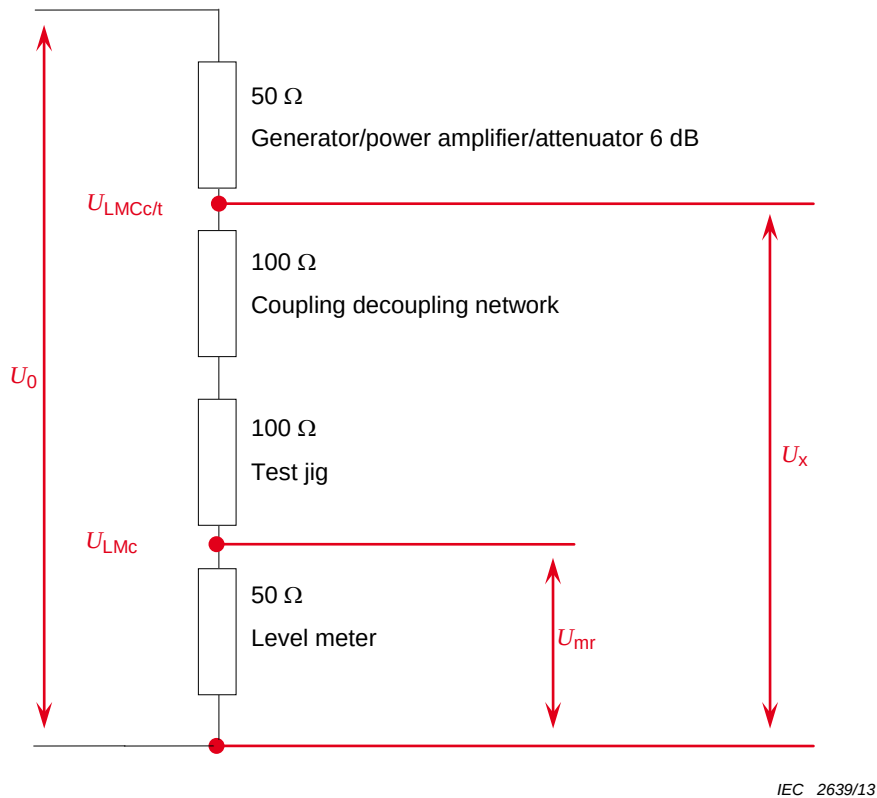
NOTE 1 The other symbols are included in the explanation of terms below.

Model function for CDN test process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t$$

$$U_x = U_{LMc} + 20 \log(5)$$

NOTE 2 The symbols are included in the explanation of terms below.



IEC 2639/13

Figure G.5 – Circuit for level setting setup

Table G.1 – CDN level setting process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	150 Ω - 50 Ω adapter, deviation	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	150 Ω - 50 Ω adapter, calibration	0,2	dB	normal $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
$\delta SETUP$	Setup for level setting	0,35	dB	normal $k=1$	1	0,35	dB	1	0,35	dB	0,12
δLM_c	Level meter	0,5	dB	rectangular	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta LMC_c (1,2)$	Level meter in control loop	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta TG_c (1,2)$	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_c (3)$	Mismatch test generator/CDN	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Mismatch level meter/CDN	0,5	dB	U-shaped	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
$\sum u_i(y)^2$											0,40
Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,63
Expanded uncertainty (CAL) $U = u(y) \times k, k = 2$											1,27

Table G.2 – CDN test process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
δCAL	Calibration	1,27	dB	normal $k=2$	2	0,63	dB	1	0,63	dB	0,40
$\delta LMC_t (1,2)$	Level meter in control loop	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta TG_t (1,2)$	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_t (3)$	Mismatch test generator/CDN	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\sum u_i(y)^2$											0,46
Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,68
Expanded uncertainty $U = u(y) \times k, k = 2$											1,36

NOTE 3 Either LMC or the test generator (TG) contributions enter into Tables G.1 and G.2 for level setting and/or test, depending on whether a control loop for the signal generator and amplifier output level is used or not. In this example, the test generator does not contribute to the uncertainty budget because it is part of the control loop. The contribution from the control loop is established by the level meter (see also Note 4). However, the test generator is included in Tables G.1 and G.2 to remind the test labs that they can consider this item depending on the labs' particular test setup. In this case a more detailed analysis of the TG contribution is needed, see explanation of terms.

NOTE 4 If the same equipment is used for level setting and testing, then only the contributions of repeatability and linearity enter into Table G.2 for the test process. The contribution for the level setting can be neglected.

NOTE 5 If the same circuit is used for level setting and testing, then these contributions do not enter into the Tables G.1 and G.2.

Explanation of terms:

RCAL – is the uncertainty of the 150 Ω to 50 Ω adapter. This contribution can normally be obtained from the calibration report. Alternatively, the insertion loss can be measured using a network analyzer (see Figure 8c)). The maximum deviation from the specified loss (9,5 dB) and its calibration uncertainty should be included in Tables G.1 and G.2. It is recommended that 0,5 dB be used if the calibration certificate states only the compliance to the tolerance.

NOTE 6 Deviations can be corrected in the software. In this case, the maximum deviation can be reduced to the interpolation uncertainty and calibration uncertainty.

NOTE 7 The impedance of the 150 Ω to 50 Ω adapter can also be measured directly, for example, using a network analyzer or taken from the calibration certificate. In this case, the deviation from 100 Ω and the calibration uncertainty can be inserted in the Tables G.1 and G.2. The sensitivity coefficient c_i for this contribution is changed accordingly.

SETUP – is a combination of uncertainties introduced by the setup for level setting, i.e., calibration fixture, the connection between the CDN and the CDN adapter and the reference ground plane impacts, for example, contact to the reference ground plane. This contribution can be derived from reproducibility tests with changing conditions or estimated on the basis of experience as shown in the example.

LM_c – is the uncertainty of the level meter, i.e., the voltmeter or power meter used for measurement of the level at the output of the CDN. It is taken from the manufacturer's specifications in the example but could be determined from other sources as well.

SW_c – is the uncertainty derived from the discrete level step size of the signal generator and software windows for level setting during the level setting process. The software window can usually be adjusted by the test lab.

LMC_c – is the uncertainty of the level meter, i.e., the voltmeter or power meter used for the control loop for the signal generator and amplifier output level. It can be taken from the manufacturer's specifications or determined from other sources.

TG_c – is the uncertainty of the test generator including frequency generator, power amplifier and attenuator. It can be taken from the manufacturer's specifications or determined from other sources.

NOTE 8 The uncertainty of the individual components of the test generator (for example, signal generator, power amplifier stability, power amplifier rapid gain variation, attenuator, etc.) can be assessed separately, especially where a control loop is not used in the test setup.

MT_c – is a combination of the mismatches between the amplifier, the attenuator and the CDN.

ML – is the mismatch between the CDN and the level meter.

CAL – is the expanded uncertainty of the test voltage level in the level setting process.

LMC_t – is the uncertainty of the level meter, for example, the voltmeter, used at the output of the power amplifier taken from the manufacturer's specification. Alternatively, a power meter can be used in order to obtain a lower uncertainty.

TG_t – is the uncertainty of the test generator including the frequency generator, the power amplifier and the attenuator. It can be taken from the manufacturer's specifications or determined from other sources.

NOTE 9 The uncertainty of the individual components of the test generator (for example, signal generator, power amplifier stability, power amplifier rapid gain variation, attenuator, etc.) can be assessed separately, especially where a control loop is not used in the test setup.

MT_t – is a combination of the mismatches between the amplifier, the attenuator and the CDN. This contribution can be neglected if the same setup, i.e., the attenuator and cables, is used for level setting and test.

SW_t – is the uncertainty derived from the discrete level step size of the signal generator and software windows for level setting during the test process. The software window can usually be adjusted by the test laboratory.

Model function for EM clamp voltage level setting process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_{LMc} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_c + \delta RCAL + \delta SETUP + \delta SW_c + \delta ML$$

Explanation of contributions

U_{LMc} voltage indication U_{mr} from the power meter directly in or converted to dB(μV)

NOTE 10 The other symbols are included in the explanation of terms below.

Model function for EM clamp test process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t + \delta AETERM$$

$$U_x = U_{LMC} + 20 \log (5)$$

NOTE 11 The symbols are included in the explanation of terms below.

Table G.3 – EM clamp level setting process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	150 Ω - 50 Ω adapter, deviation	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	150 Ω - 50 Ω adapter, calibration	0,2	dB	normal $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
$\delta SETUP$	Setup for level setting	0,35	dB	normal $k=1$	1	0,35	dB	1	0,35	dB	0,12
δLM_c	Level meter	0,5	dB	rectangular	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta LMC_c (8,9)$	Level meter in control loop	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta TG_c (8,9)$	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_c (10)$	Mismatch test generator/clamp	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Mismatch level meter/clamp	0,5	dB	U-shaped	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
$\sum u_i(y)^2$											0,40
Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,63
Expanded uncertainty (CAL) $U = u(y) \times k, k = 2$											1,27 dB

Table G.4 – EM clamp test process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
δCAL	Calibration	1,27	dB	normal $k=2$	2	0,63	dB	1	0,63	dB	0,40
$\delta LMC_t (8,9)$	Level meter in control loop	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta TG_t (8,9)$	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_t (10)$	Mismatch test generator/clamp	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta AETERM$	AE termination	2,5	dB	rectangular	1,73	1,45	dB	1	1,45	dB	2,09
$\sum u_i(y)^2$											2,55
Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											1,60
Expanded uncertainty $U = u(y) \times k, k = 2$											3,19 dB

NOTE 12 Either LMC or the test generator (TG) contributions enter into Tables G.3 and G.4 for level setting and/or test, depending on whether a control loop for the signal generator and amplifier output level is used or not. In this example, the test generator does not contribute to the uncertainty budget because it is part of the control loop. The contribution from the control loop is established by the level meter (see also Note 13). However, the test generator is included in Tables G.3 and G.4 to remind the test labs that they can consider this item depending on the labs' particular test setup. In this case a more detailed analysis of the TG contribution is needed. See explanation of terms.

NOTE 13 If the same equipment is used for level setting and testing, then only the contributions of repeatability and linearity enter into Table 4 for the test process. The contribution for the level setting can be neglected.

NOTE 14 If the same circuit is used for level adjustment and testing, then these contributions do not enter into Tables G.3 and G.4.

Explanation of terms:

Several items apply in principle as in the previous example (CDN method). These items are not explained here; the previous example should be consulted.

NOTE 15 Uncertainty related to 7.4.1, where a monitoring probe is used and current limitation is applied, is not considered in Annex G. In this case, the value of U_0 is no longer the same as that determined in the level setting procedure, but it is reduced to an unknown value. Therefore, no uncertainty can be assigned to U_0 in this case.

AETERM – is the effect of the AE impedance, which should be maintained at 150 Ω . Deviations from this value have significant influence especially in the lower frequency range (below 10 MHz), where the directivity of the EM clamp is weak. In this case, the contribution of **AETERM** to the uncertainty budget may be larger than the numerical value used in the examples here. A lower value may be used for frequencies above 10 MHz.

This contribution can be investigated experimentally using a network analyzer. The coupling factor of the clamp can be measured for a 150 Ω AE impedance and compared to different AE impedances.

Model function for current clamp voltage level setting process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_{LMC} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_c + \delta RCAL + \delta JIG + \delta SW_c + \delta ML$$

Explanation of contributions:

U_{LMC} voltage indication U_{mr} from the power meter directly in or converted to dB(μ V)

NOTE 16 The other symbols are included in the explanation of terms below.

Model function for current clamp test process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t + \delta AETERM$$

$$U_x = U_{LMC} + 20 \log (5)$$

NOTE 17 The symbols are included in the explanation of terms below.

Table G.5 – Current clamp level setting process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	150 Ω - 50 Ω adapter, deviation	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	150 Ω - 50 Ω adapter, calibration	0,2	dB	normal $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
δJIG	Test jig	0,5	dB	normal $k=1$	1	0,50	dB	1	0,50	dB	0,25
δLM_c	Level meter	0,5	dB	rectangular	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δLMC_c (12,13)	Level meter in control loop	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δTG_c (12,13)	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δMT_c (14)	Mismatch test generator/clamp	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Mismatch level meter/clamp	0,5	dB	U-shaped	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
$\sum u_i(y)^2$											0,53
Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,73
Expanded Uncertainty (CAL) $U=u(y) \times k, k=2$											1,46 dB

Table G.6 – Current clamp test process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
δCAL	Calibration	1,46	dB	normal $k=2$	2	0,73	dB	1	0,73	dB	0,53
δLMC_t (12,13)	Level meter in control loop	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δTG_t (12,13)	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δMT_t (14)	Mismatch Test generator/clamp	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta AETERM$	AE termination	2,5	dB	rectangular	1,73	1,45	dB	1	1,45	dB	2,09
$\Sigma u_i(y)^2$											2,68
Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\Sigma u_i(y)^2}$											1,64
Expanded uncertainty $U=u(y) \times k, k=2$											3,27 dB

NOTE 18 Either LMC or the test generator (TG) contributions enter into Tables G.5 and G.6 for level setting and/or test, depending on whether a control loop for the signal generator and amplifier output level is used or not. In this example, the test generator does not contribute to the uncertainty budget because it is part of the control loop. The contribution from the control loop is established by the level meter (see also Note 19). However, the test generator is included in Tables G.5 and G.6 to remind the test labs that they can consider this item depending on the labs' particular test setup. In this case, a more detailed analysis of the TG contribution is needed. See explanation of terms.

NOTE 19 If the same equipment is used for level setting and testing, then only the contributions of repeatability and linearity enter into Table G.6 for the test process. The contribution for the level setting can be neglected.

NOTE 20 If the same circuit is used for level setting and testing, then these contributions do not enter into Tables G.5 and G.6.

Explanation of terms:

Several items apply in principle as in the previous examples (for example, CDN method). These items are not explained here; one of the previous examples should be consulted.

NOTE 21 Uncertainty related to 7.4.1 where a monitoring probe is used and current limitation is applied is not considered in Annex G. In this case the value of U_0 is no longer the same as that determined in the level setting procedure, but it is reduced to an unknown value. Therefore, no uncertainty can be assigned to U_0 in this case.

JIG – is a combination of uncertainties due to the test jig. This contribution can be derived from reproducibility tests with changing conditions or estimated based on experience as done in the example.

Model function for direct injection voltage level setting process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_{LMC} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_C + \delta RCAL + \delta SETUP + \delta SW_C + \delta ML$$

Explanation of contributions:

U_{LMC} voltage indication U_{mr} from the power meter directly in or converted to dB(μ V)

NOTE 22 The other symbols are included in the explanation of terms below.

Model function for direct injection test process (all quantities in logarithmic units):

$$U_0 = U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t + \delta DD$$

$$U_x = U_{LMC} + 20 \log (5)$$

NOTE 23 The symbols are included in the explanation of terms below.

Table G.7 – Direct injection level setting process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	150 Ω - 50 Ω adapter, deviation	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	150 Ω - 50 Ω adapter, calibration	0,2	dB	normal $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
$\delta SETUP$	Set-up for level setting	0,5	dB	normal $k=1$	1	0,50	dB	1	0,50	dB	0,25
δLM_c	Level meter	0,5	dB	rectangular	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta LMC_c(16,17)$	Level meter in control loop	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta TG_c(16,17)$	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_c(18)$	Mismatch test generator/CDN	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Mismatch level meter/CDN	0,5	dB	U-shaped	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
											$\sum u_i(y)^2$
											0,53
											Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$
											0,73
											Expanded uncertainty (CAL) $U=u(y) \times k, k=2$
											1,46 dB

Table G.8 – Direct injection test process

Symbol	Uncertainty Source X_i	$U(x_i)$	Unit	Distribution	Divisor	$u(x_i)$	Unit	c_i	$u_i(y)$	Unit	$u_i(y)^2$
δCAL	Calibration	1,46	dB	normal $k=2$	2	0,73	dB	1	0,73	dB	0,53
$\delta LMC_t(16,17)$	Level meter in control loop	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta TG_t(16,17)$	Test generator	0	dB	rectangular	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_t(18)$	Mismatch test generator/clamp	0	dB	U-shaped	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	SW levelling precision	0,3	dB	rectangular	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δDD	Decoupling devices	2,3	dB	rectangular	1,73	1,33	dB	1	1,33	dB	1,77
											$\sum u_i(y)^2$
											2,36
											Combined uncertainty $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$
											1,54
											Expanded uncertainty $U=u(y) \times k, k=2$
											3,07 dB

NOTE 24 Either LMC or TG contributions enter into Tables G.7 and G.8 for level setting and/or test, depending on whether a control loop for the signal generator and amplifier output level is used or not. In this example, the test generator does not contribute to the uncertainty budget because it is part of the control loop. The contribution from the control loop is established by the level meter (see also Note 25). However, the test generator is included in Tables G.7 and G.8 to remind the test labs that they can consider this item depending on the labs' particular test setup. In this case a more detailed analysis of the TG contribution is needed. See explanation of terms.

NOTE 25 If the same equipment is used for level setting and testing, then only the contributions of repeatability and linearity enter into Table G.8 for the test process. The contribution for the level setting can be neglected.

NOTE 26 If the same circuit is used for level setting and testing, then these contributions do not enter into the Tables G.7 and G.8.

Explanation of terms:

Several items apply in principle as in the previous examples (for example, CDN method). These items are not explained here; one of the previous examples should be consulted.

DD – is a combined uncertainty of the decoupling devices and the AE termination. Good decoupling gives less effect due to the AE termination, poor decoupling gives a strong effect. This contribution can be calculated from the impedance of the decoupling element.

G.4 Expression of the calculated measurement uncertainty and its application

MU is calculated in logarithmic units to make it homogeneous with the uncertainty contributions to the test level uncertainty (e.g. voltmeter amplitude specification and adapter

insertion loss calibration) usually expressed in dB. Hence, the best estimate also shall be expressed in logarithmic units (e.g. dB(μV)).

The voltage test level shall be reported in terms of the best estimate of the voltage and its expanded uncertainty. The best estimate shall be the average of the voltage U_0 over the relevant frequency range.

An example of the presentation of measurement uncertainty is given in the example below:

In logarithmic units:

$$U_0 = 129,5 \text{ dB}(\mu\text{V}) \pm 1,36 \text{ dB (example for CDN injection)}$$

This corresponds in linear scale to:

$$U_0 = 3 \text{ V} + (17 \%) - (14,5 \%)$$

The calculated MU may be used for a variety of purposes, for example, as indicated by product standards or for laboratory accreditation. It is not intended that the result of this calculation be used for adjusting the test level that is applied to EUTs during the test process. It is also not intended to be used in the assessment of the voltage tolerance requirement, as defined in 6.4.

G.5 Bibliography

- [1] IEC/TR 61000-1-6:2012, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-6: General – Guide to the assessment of measurement uncertainty*
- [2] UKAS, M3003, Edition 2:2007, *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement*, www.ukas.com
- [3] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*

Annex H (informative)

Measurement of AE impedance

H.1 General

Annex H gives information on how to measure the common mode impedance of a general AE as used together with an EUT. The details regarding the setup for EUT testing are described in the main body of the standard. If a dedicated AE unit is always used together with the EUT, it is also used during the testing. In the latter case, the AE is viewed as being a part of the EUT, and it is exempt from the impedance requirements below.

Annex H shows examples on how the AE impedance is measured, and further provides guidance on how the AE common mode impedance can be approximated to the ideal impedance of 150 Ω .

H.2 Common mode impedance

H.2.1 Impedance requirements

In accordance with the test setups described in Clauses 6 and 7, the AE impedance should preferably meet the impedance requirements given in Table 3 (repeated in Table H.1 for convenience).

Table H.1 – Impedance requirements for the AE

Parameter	Frequency band	
	0,15 MHz to 24 MHz	24 MHz to 80 MHz
$ Z_{ce} $	150 $\Omega \pm 20 \Omega$	150 $\Omega \begin{smallmatrix} +60\Omega \\ -45\Omega \end{smallmatrix}$
NOTE When testing in accordance with 7.7 the AE impedance is likely to be lower than that specified in the table. Please see the text in 7.7 regarding current monitoring during clamp injection for additional information		

H.2.2 Measurement setup using an impedance analyzer

The AE impedance is measured using the setup shown in Figure 8b) of the present standard. All wires of the AE cable are connected together to provide a low impedance at high frequencies ($\ll 150 \Omega$ at $> 150 \text{ kHz}$), and are connected to the impedance network analyzer. Note that the AE shall be functional and connected to the mains supply and other AE (if any) during the measurement. The AE may not be able to perform normal operation on the cable, where the impedance analyzer is connected.

NOTE Care needs to be taken that the AE and the impedance analyzer are not damaged by potential high voltages/currents when wires of the AE cable are connected together. The connections can be made via capacitors of at least 20 nF.

H.2.3 Measurement using level calibration setup

The AE impedance can also be measured using the level setting setup shown in Figure 9c). In this case, the AE is connected in parallel with a suitable CDN and the 100 Ω calibration resistance in series with 50 Ω voltmeter impedance.

See H.2.2 regarding the practical setup and AE operation during the measurements.

The impedance of the AE is derived from the change of the voltage division ratio from the test level U_0 due to the loading from the AE. The voltage limits as read from the 50 Ω voltmeter are given in Table H.2. See Figure H.1.

Table H.2 – Derived voltage division ratios for AE impedance measurements

	Frequency band	
Parameter	0,15 MHz to 24 MHz	24 MHz to 80 MHz
$ Z_{ce} $	150 $\Omega \pm 20 \Omega$	150 $\Omega \begin{smallmatrix} +60\Omega \\ -45\Omega \end{smallmatrix}$
Ideal ($ Z_{ce} = 150 \Omega$)	$0,111 \times U_0$ (-19,1 dB)	$0,111 \times U_0$ (-19,1 dB)
Upper voltage limit	$0,116 \times U_0$ (-18,7 dB)	$0,123 \times U_0$ (-18,2 dB)
Lower voltage limit	$0,106 \times U_0$ (-19,5 dB)	$0,097 \times U_0$ (-20,2 dB)
NOTE The nominal values in Table H.2 do not consider measurement uncertainty and all impedances are assumed to be pure resistances. They are a guidance, not a requirement.		

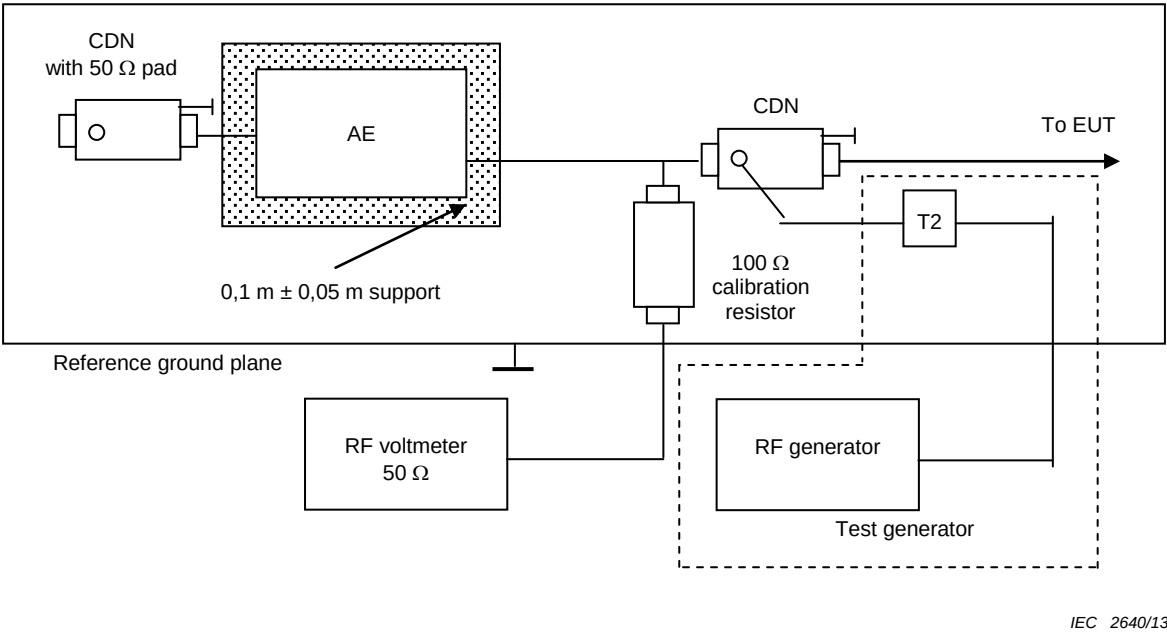


Figure H.1 – Impedance measurement using a voltmeter

H.2.4 Measurement using current probe setup

The AE impedance can also be measured using the current monitoring probe mentioned in 7.7. In this case, the AE is connected in parallel with a suitable CDN and the current flowing from the injection CDN is monitored and compared with the current expected from an ideal 150 Ω AE impedance.

The AE impedance is measured using the setup shown in Figure H.2. Note that the AE shall be functional and connected to the mains supply and other AE (if any) during the measurement. The AE may not be able to perform normal operation on the signal cable, as the CDN may affect the functional signal transmission between AE and EUT.

The impedance of the AE is derived from the change of the voltage division ratio from the test level U_0 due to the loading from the AE. The voltage limits as read from the 50 Ω voltmeter are given in Table H.3. Note that the figures are given for an ideal current probe having a

- or non screened cable, but with some wires connected or having high capacitive coupling to the chassis or to the PCB ground plane.

The following suggestions are made for establishing the 150 Ω impedance using an AE having a metal chassis:

- connect the chassis of the AE to the reference ground plane via 150 Ω ;
- use a low capacitance (< 100 pF) mains isolation transformer to supply the AE with power. The protective earth lead shall not be connected directly to the earth. For safety reasons a RF choke > 280 μ H may be used. The same procedure applies if a d.c. supply (with galvanic isolation) is required or a battery supply is used;
- use as few external cables as possible;
- bundle AE cables close to the AE, and place the AE on 300 mm insulation, to reduce the coupling to the reference ground plane;
- use fibre optic signal converters for connection to other AE.

The following suggestions are made for establishing the 150 Ω impedance using an AE where the chassis is constructed from non conducting material:

- connect the shield of a screened cable to the reference ground plane via 150 Ω , or connect the PCB ground plane to the reference ground plane via 150 Ω ;
- connect all wires of the AE cable together to a common point via capacitors, and connect that point to the reference ground plane via 150 Ω . Care should be taken that the AE is not damaged by potential high voltages/currents when wires of the AE cable are connected together. The connections can be made via capacitors of at least 20 nF.

If despite the above measures $Z_{AE} \leq 150 \Omega$ cannot be approached, then try to reduce Z_{AE} by applying additional terminated CDNs to the AE if possible. See also the note in Table H.1.

Annex I (informative)

Port to port injection

I.1 General

Experience shows that some specific EUTs may react in a more sensitive way to RF signals, when injection is done on one port and another identical port is terminated. Product committees may decide to use the method described in Annex I instead of the procedure of the main part of this standard.

Annex I gives information on the testing of ports, of which there are several identical ones on an EUT. Annex I introduces an injection method, where the RF signal is injected on one of these identical ports, and where the termination impedance is placed on another of these ports, instead of on the port chosen in accordance with 7.5.

The testing is performed in supplement to the test cases specified by 7.5, in order to evaluate the immunity of the EUT to RF signals induced on one port and flowing to another, identical port.

Examples of identical ports can be, but are not limited to: local area network (Ethernet etc), Pt100 temperature inputs, analog inputs/outputs, digital inputs/outputs, tachometer counter inputs.

I.2 Test setup for injection on identical ports

I.2.1 Selection of ports

Injection is performed between 2 identical port types. The 2 ports chosen for testing are two ports physically placed as close together as possible. Several groups of identical sets of ports may be present on the EUT, and in such case sets of each type of port are selected for testing.

NOTE A product committee can specify that testing is only required for specific cable or interface types, or that testing is required only for ports having cables exceeding a certain length. Annex I applies only to such ports that are chosen for testing.

I.2.2 Procedure for port to port injection

One port is chosen as the injection port. The other port is chosen as the termination port, where the 50 Ω termination is connected on the CDN. See Figure I.1.

In accordance with the main body of this standard, all other EUT ports are equipped with CDNs used as decoupling devices, where the 50 Ω termination is not connected, as specified in the main body of this standard.

If more types of ports are available on the test object, the testing is repeated on a set of these remaining port types also.

If the testing on the identical ports cannot be performed using CDNs, the general rules provided in Clause 7 are applied to the injection on the identical ports. Figure 12 provides guidance for the selection of injection method.

The testing on the ports and the treatment of the test results are performed just as described in the main body of this standard.

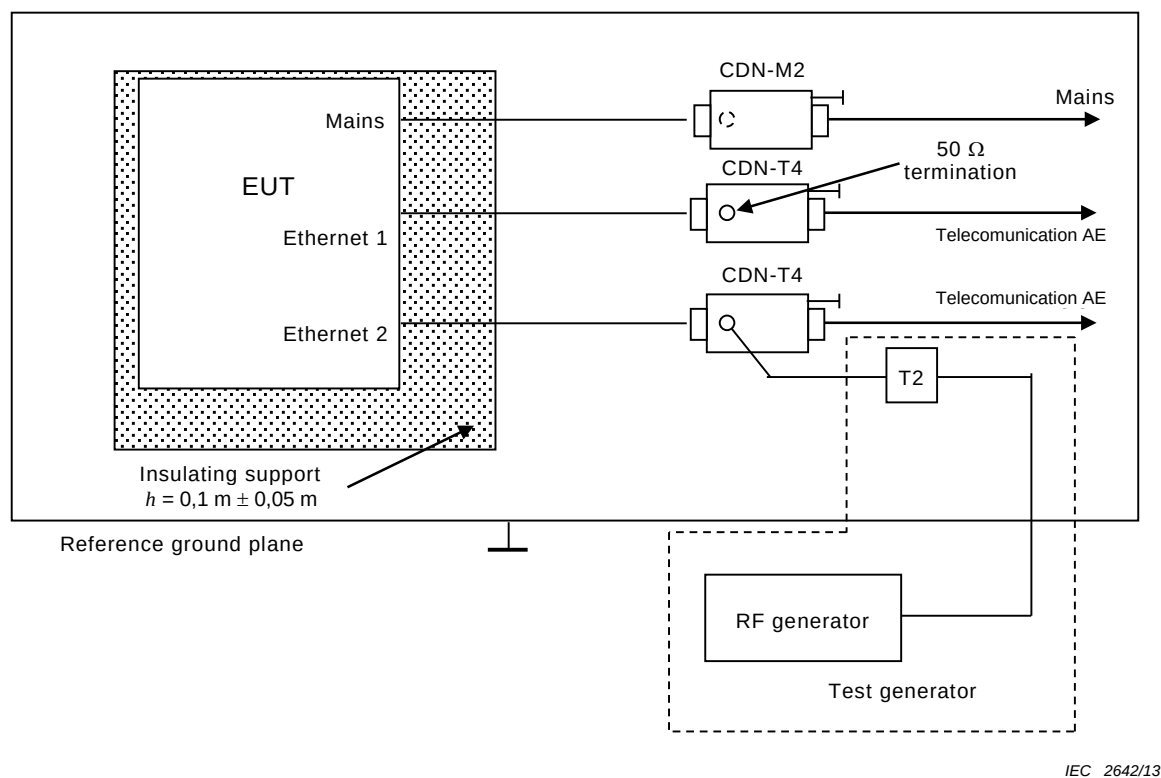


Figure I.1 – Example of setup, port to port injection

Annex J (informative)

Amplifier compression and non-linearity

J.1 Objective of limiting amplifier distortion

Amplifier non-linearity can contribute to the uncertainty of the disturbance signal applied to the EUT. The goal is to keep amplifier non-linearity low enough that it does not dominate the uncertainty. Annex J is provided to assist test laboratories in understanding and limiting amplifier distortion.

J.2 Possible problems caused by harmonics and saturation

Operating an amplifier in saturation may result in the following scenarios:

- a) The harmonics may contribute significantly to the measured values taken during test level calibration as the power meter will measure the total power of both the fundamental and its harmonics. For example, assume that the second and third harmonics are 15 dB below the fundamental frequency at the EM clamp input terminal and all other harmonics can be ignored. Further assume that the effective EM clamp factor is 5 dB lower at the frequency of the third harmonic than at the fundamental frequency. The voltage level of the fundamental frequency will be only 10 dB larger than the level of the third harmonic. If a total amplitude of 10 V is measured, the fundamental frequency may only contribute 9,5 V. This may be acceptable error, when it is smaller than the EM clamp calibration uncertainty. A frequency selective device such as a spectrum analyzer would not have this measurement error.
- b) Harmonics may cause an EUT failure where the EUT is robust at the intended fundamental frequency but not robust at the harmonic frequency. The false failure would be recorded incorrectly and may lead to an incorrect redesign.
- c) Harmonics may also affect the test result, even if they are very well suppressed in special situations. For example, if a 60 MHz receiver is tested, even very weak harmonics of a 20 MHz signal may overload the receiver input. A similar scenario may also occur if the signal generator output has non-harmonically related signals. Special low pass or notch filters could be used to protect sensitive EUTs.
- d) Saturation may be present without measurable harmonics. This occurs if the amplifier has a low pass output filter which suppresses the harmonics and/or internal circuitry and combining technology may work to suppress the harmonics at the band edges. This situation may also lead to incorrect results.
 - 1) If this occurs during calibration, wrong calibration data will be derived as the assumption of linearity is used in the algorithm described in 6.4.2.
 - 2) During a test, this type of saturation will lead to an incorrect modulation index and harmonics of the modulation frequency (usually 1 kHz).

From the examples given above, it is clear that a numerical limit for amplifier distortion cannot be given, as the effect of distortion depends heavily on the type of EUT tested.

J.3 Limiting the harmonic content in the disturbance signal

The harmonic content of the disturbance signal can be limited with the use of an adjustable/tracking/tuneable low-pass filter at the output of the amplifier.

For all frequencies where harmonics are produced at the output of the amplifier, the harmonics in the amplifier output signal should be 15 dB less than the fundamental. This is considered adequate, with the exception of the scenario discussed in J.2, item c).

This would limit the disturbance voltage level error to 10 %. For example, a 10 V signal measured broadband would be caused by 9 V from the fundamental and 4,5 V from the harmonics. This may be a situation which is acceptable for calibration uncertainty.

For amplifiers containing a fixed low-pass filter in their output, the upper fundamental frequency concerned is about 1/3 of the maximum specified frequency of the amplifier.

For situations in which a low pass filter suppresses harmonics of a saturated amplifier, the 2 dB compression point of the amplifier should not be exceeded under any conditions (for example worst frequency, maximum disturbance voltage level with modulation). At the 2 dB compression point, the peak amplitude (in voltage) would be reduced by 20 %. This would cause a reduction of the 80 % amplitude modulation index down to 64 %, in other words, a 20 % reduction of a voltage rectified within the EUT.

J.4 Effect of linearity characteristic on the immunity test

J.4.1 General

Issues which affect the result of the immunity test are the linearity characteristic of the amplifier, harmonics and saturation of the amplifier.

It is assumed in the CDN and/or clamp level setting procedure described in 6.4.2 that the amplifier used shall generate a linear output in proportion to the input signal.

Amplifier linearity should be verified, thus assuring that the amplifier used generates the correct disturbance voltage level at the calibration voltage level or at lower calculated levels.

Amplifier linearity also has an effect on the amplitude modulation (AM) depth. Therefore, the AM depth should also be verified.

J.4.2 Evaluation of the amplifier linearity characteristic

J.4.2.1 Evaluation level range

The linearity characteristic of the amplifier should be evaluated over the range of the amplifier that is used for testing. This shall include the minimum level, including the increase from modulation, to the maximum level, including the increase from modulation.

The maximum level is referred to as the maximum level of the CW signal to be measured increased by 5,1 dB to allow for the contribution of modulation.

When calculating different test disturbance voltage levels, based on a single coupling device level adjustment process, the evaluation range of linearity shall be the minimum to maximum amplifier output used for the test. For example, if a 1 V test is performed using the data obtained from a 10 V level adjustment process, the evaluation range of linearity is defined as the power amplifier outputs required to achieve a 1,8 V minimum to 18 V (e.m.f.).

Different coupling devices may require different amplifier output power to achieve the required disturbance level and this shall also be considered. For example, a current probe may require more power than a CDN to achieve a disturbance test level of 10 V.

NOTE The coupling devices calibration process described in 6.4.2 states that the test laboratory must confirm 2 dB of tolerance when maximum output power of the amplifier is increased by 5,1 dB. This process is applicable only to confirm the amplifier saturation status, not to evaluate the linearity characteristic discussed in Annex J.

J.4.2.2 Evaluation process

It is important to use actual load and environmental conditions, such as the coupling device and the test system used for the EUT test, for the evaluation of amplifier linearity. The test arrangement is shown in Figure J.1.

Amplifier linearity shall be evaluated at least at the minimum, middle and maximum frequency range available for the amplifier. For example, an amplifier with a frequency range of 0,15 MHz to 80 MHz shall be evaluated at 0,15 MHz, 40 MHz and 80 MHz.

NOTE Evaluation of test data taken on the amplifier can be used to justify the selection of different frequency points.

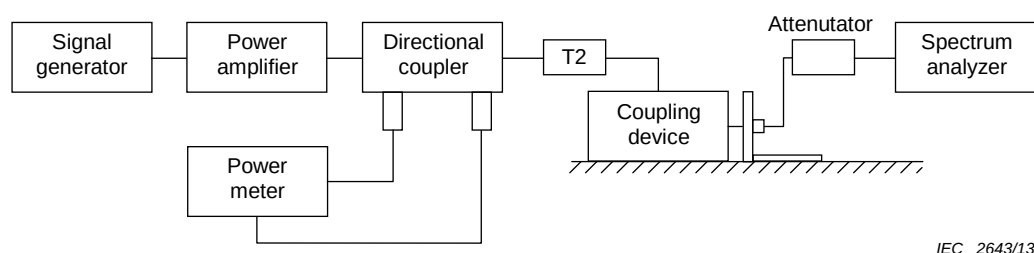


Figure J.1 – Amplifier linearity measurement setup

A linearity test shall be performed in accordance with the following procedure for each frequency as defined above.

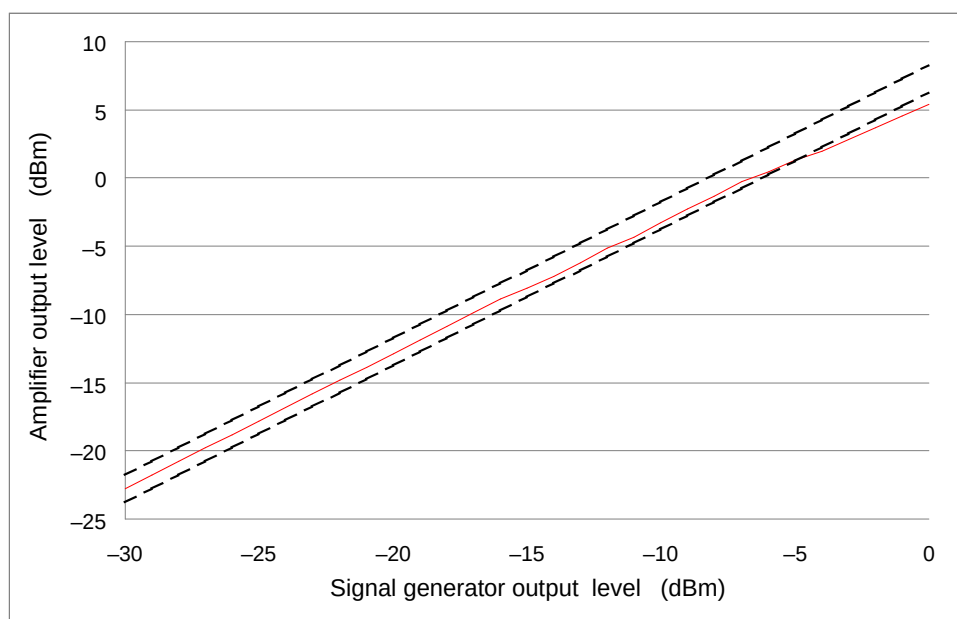
- 1) Determine the signal generator setting necessary to generate both the minimum and maximum levels (see J.4.2.1) for the appropriate coupling device setup.
- 2) Set the signal generator to the minimum value determined in step 1), and record the output of the signal generator and the forward power of the amplifier.
- 3) Increase the setting of the signal generator by 1 dB and record the output of the signal generator and the forward power of the amplifier.
- 4) Repeat steps 2) and 3) until the maximum set value of the signal generator determined in step 1) is reached.
- 5) Repeat steps 1) to 4) for the remaining frequencies.

J.4.2.3 Linearity criteria

For the results obtained in J.4.2.2, the measured amplifier output shall increase by 1 dB (± 1 dB) for each 1 dB increase in the signal generator output (that is, the tolerance of the power amplifier linearity is ± 1 dB).

If the measured data obtained following the process defined in J.4.2.2 meets the ± 1 dB specification, then the amplifier which the test laboratory uses satisfies the linearity criteria. If the data exceeds this linearity specification, then J.4.2.4 and J.4.2.5 shall also apply.

Figure J.2 shows an example defining the tolerance of +1 dB, -1 dB based on the amplifier output at a single frequency. The signal generator output in this example is varied between a minimum level of -30 dBm and a maximum level of 0 dBm. In this example the amplifier exceeds the tolerance.



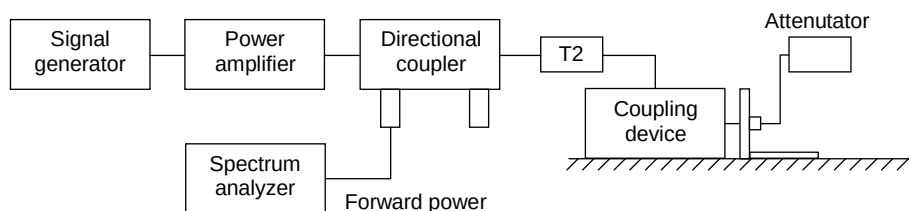
IEC 2644/13

Figure J.2 – Linearity characteristic

J.4.2.4 Confirming AM modulation

When the evaluation result obtained according to J.4.2.3 exceeds ± 1 dB of the linearity criteria, the test laboratory needs to confirm AM modulation according to the following procedure. The test arrangement is shown in Figure J.3.

The test frequency shall be any failing frequencies established in J.4.2.3.

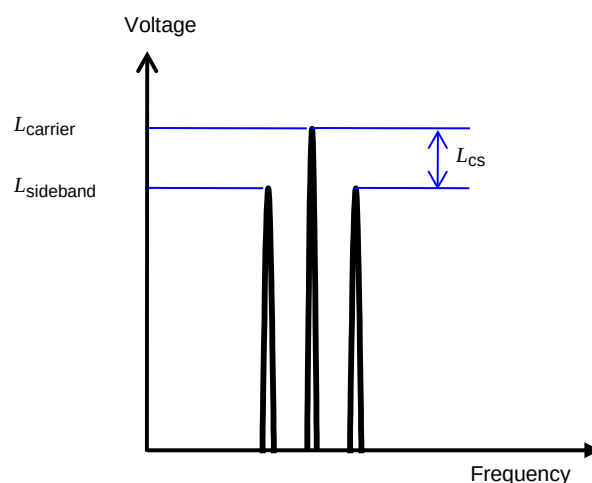


IEC 2645/13

Figure J.3 – Measurement setup for modulation depth

- 1) Set the signal generator output to the maximum value determined in J.4.2.1 at the appropriate frequency and enable the AM modulation.
- 2) Set the center frequency of the spectrum analyzer shown in Figure J.3 to the signal output frequency defined in step 1).
- 3) Adjust the spectrum analyzer to show the carrier spectrum, the upper side band and lower side band spectrum on the screen. For example, resolution bandwidth = 100 Hz, span = 10 kHz.
- 4) Record the amplitude difference (L_{CS}) between the carrier level ($L_{carrier}$) and the upper or lower side band level ($L_{sideband}$). (Refer to Figure J.4.) $L_{CS} = L_{carrier} - L_{sideband}$

When L_{CS} is larger than 10 dB ($m < 64\%$) or L_{CS} is less than 6 dB, the results should be included in the test report.



IEC 2646/13

Figure J.4 – Spectrum of AM modulated signal

J.4.2.5 Immunity test when the amplifier linearity characteristic exceeds the criteria

When the evaluation result of J.4.2.3 does not fulfil the criteria for linearity by ± 1 dB, but fulfils the criteria of J.4.2.4, it is necessary to adjust the forward power during actual EUT test according to the following methods.

One method is to use a system with feedback, in which a power meter is used to monitor the output power from the test generator.

Another method is for systems without a feedback, where the forward power calibration needs to be done at each desired test level.

In both cases the requirements of 6.1 shall be met.

Bibliography

IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*

CISPR 16-1-2, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Conducted disturbances*

CISPR 16-1-4, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements*

CISPR 20, *Sound and television broadcast receivers and associated equipment – Immunity characteristics – Limits and methods of measurement*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	88
INTRODUCTION.....	90
1 Domaine d'application	91
2 Références normatives	91
3 Termes et définitions	91
4 Généralités	93
5 Niveaux d'essai	95
6 Matériel d'essai et procédures d'ajustement du niveau	97
6.1 Générateur d'essai.....	97
6.2 Dispositifs de couplage et de découplage	98
6.2.1 Généralités	98
6.2.2 Réseaux de couplage/découplage (RCD).....	101
6.2.3 Dispositifs d'injection par pince.....	103
6.2.4 Dispositifs d'injection directe	106
6.2.5 Réseaux de découplage	106
6.3 Vérification de l'impédance de mode commun à l'accès EUT des dispositifs de couplage et de découplage	106
6.3.1 Généralités	106
6.3.2 Perte d'insertion des adaptateurs 150 Ω à 50 Ω	107
6.4 Réglage du générateur d'essai.....	109
6.4.1 Généralités	109
6.4.2 Réglage du niveau de sortie à l'accès EUT du dispositif de couplage.....	109
7 Montage d'essai et méthodes d'injection.....	111
7.1 Montage d'essai.....	111
7.2 EUT constitué d'une seule unité.....	111
7.3 EUT constitué de plusieurs unités	113
7.4 Règles applicables à la sélection des points d'essai et des méthodes d'injection	114
7.4.1 Généralités	114
7.4.2 Méthode d'injection.....	114
7.4.3 Accès à soumettre à l'essai	115
7.5 Application de l'injection par RCD	116
7.6 Application de l'injection par pince lorsque les exigences d'impédance de mode commun peuvent être satisfaites	117
7.7 Application de l'injection par pince lorsque les exigences d'impédance de mode commun ne peuvent être satisfaites	119
7.8 Application de l'injection directe	120
8 Procédure d'essai.....	120
9 Evaluation des résultats d'essai.....	121
10 Rapport d'essai	121
Annexe A (normative) Pincés EM et pincés de découplage	123
Annexe B (informative) Critères de sélection pour la gamme de fréquences de l'application.....	133
Annexe C (informative) Indications pour la sélection des niveaux d'essai.....	135
Annexe D (informative) Informations sur les réseaux de couplage et de découplage	136

Annexe E (informative) Informations sur la spécification du générateur d'essai	141
Annexe F (informative) Montage d'essai pour les grands EUT	142
Annexe G (informative) Incertitude de mesure du niveau d'essai de tension	145
Annexe H (informative) Mesure de l'impédance de l'EA	156
Annexe I (informative) Injection d'accès à accès	160
Annexe J (informative) Compression et non linéarité d'amplificateur	162
Bibliographie.....	168
 Figure 1 – Essai d'immunité aux perturbations radioélectriques conduites	95
Figure 2 – Formes d'onde en circuit ouvert se produisant à l'accès EUT d'un dispositif de couplage pour le niveau d'essai 1	96
Figure 3 – Montage du générateur d'essai	98
Figure 4 – Principe du couplage et du découplage	101
Figure 5 – Principe du couplage et du découplage selon la méthode d'injection par pince.....	104
Figure 6 – Exemple de circuit de réglage du niveau sur un montage d'essai 150 Ω	105
Figure 7 – Exemple de circuit d'évaluation des performances de la pince de courant	105
Figure 8 – Détails des montages et des composants pour vérifier les caractéristiques essentiels des dispositifs de couplage et de découplage et des adaptateurs 150 Ω à 50 Ω	108
Figure 9 – Montage de réglage du niveau	111
Figure 10 – Exemple de montage d'essai avec un EUT à une seule unité (vue de dessus).....	113
Figure 11 – Exemple de montage d'essai avec un EUT à plusieurs unités (vue de dessus).....	114
Figure 12 – Règles pour la sélection de la méthode d'injection	115
Figure 13 – Essai d'immunité pour EUT à 2 accès (lorsque seul un RCD peut être utilisé).....	117
Figure 14 – Principe général d'un montage d'essai utilisant des dispositifs d'injection par pince	118
Figure 15 – Exemple de localisation des appareils d'essai sur le plan de masse avec utilisation de pinces d'injection (vue de dessus)	119
Figure A.1 – Exemple: Détails de construction de la pince EM	124
Figure A.2 – Exemple: Conception de la pince électromagnétique (EM)	125
Figure A.3 – Dimension d'un plan de référence	126
Figure A.4 – Montage d'essai.....	126
Figure A.5 – Montage d'essai avec pince insérée.....	126
Figure A.6 – Montage de mesure impédance/facteur de découplage	127
Figure A.7 – Exemples typiques pour l'impédance de pince, 3 pinces typiques	128
Figure A.8 – Exemples typiques de facteurs de découplage, 3 pinces typiques	129
Figure A.9 – Montage de normalisation pour mesure du facteur de couplage	129
Figure A.10 – Montage de mesure du facteur de couplage S_{21}	130
Figure A.11 – Exemples typiques pour le facteur de couplage, 3 pinces typiques	130
Figure A.12 – Montage de mesure impédance/facteur de découplage	131
Figure A.13 – Exemples typiques de l'impédance de pince de découplage.....	131
Figure A.14 – Exemples typiques pour les facteurs de découplage	132

Figure B.1 – Fréquence initiale en fonction de la longueur des câbles et de la taille des matériels.....	134
Figure D.1 – Exemple de schéma simplifié pour le circuit de RCD-S1 utilisé avec des câbles blindés (voir 6.2.2.5).....	137
Figure D.2 – Exemple de schéma simplifié pour le circuit de RCD-M1/-M2/-M3 utilisé avec des lignes d'alimentation (réseau) non blindées (voir 6.2.2.2).....	137
Figure D.3 – Exemple de schéma simplifié pour le circuit de RCD-AF2 utilisé avec des lignes asymétriques non blindées (voir 6.2.2.4).....	138
Figure D.4 – Exemple de schéma simplifié d'un circuit RCD-T2, utilisé avec une paire symétrique non blindée (voir 6.2.2.3).....	138
Figure D.5 – Exemple de schéma simplifié du circuit d'un RCD-T4 utilisé avec des paires symétriques non blindées (voir 6.2.2.3).....	139
Figure D.6 – Exemple de schéma simplifié du circuit d'un RCD AF8 utilisé avec des lignes asymétriques non blindées (voir 6.2.2.4).....	139
Figure D.7 – Exemple d'un schéma simplifié du circuit d'un RCD-T8 utilisé avec des paires symétriques non blindées (voir 6.2.2.3).....	140
Figure F.1 – Exemple de montage d'essai de grand EUT avec plan de masse de référence horizontal surélevé.....	143
Figure F.2 – Exemple de montage d'essai de grand EUT avec plan de masse de référence vertical.....	144
Figure G.1 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension avec RCD.....	146
Figure G.2 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension avec pince EM.....	146
Figure G.3 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension avec pince de courant.....	147
Figure G.4 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension par injection directe.....	147
Figure G.5 – Circuit pour montage de réglage de niveau.....	148
Figure H.1 – Mesure de l'impédance à l'aide d'un voltmètre.....	157
Figure H.2 – Mesure de l'impédance à l'aide d'une sonde de courant.....	158
Figure I.1 – Exemple de montage, injection accès-accès.....	161
Figure J.1 – Montage de mesure de la linéarité de l'amplificateur.....	164
Figure J.2 – Caractéristiques de linéarité.....	165
Figure J.3 – Montage de mesure de la profondeur de modulation.....	166
Figure J.4 – Spectre du signal de modulation en amplitude modulé.....	166
Tableau 1 – Niveaux d'essai.....	96
Tableau 2 – Caractéristiques du générateur d'essai.....	97
Tableau 3 – Paramètre principal du dispositif de couplage et de découplage.....	98
Tableau 4 – Utilisation des RCD.....	101
Tableau B.1 – Paramètre principal de la combinaison du dispositif de couplage et de découplage quand la gamme des fréquences d'essai est étendue au-delà de 80 MHz.....	133
Tableau E.1 – Puissance de sortie de l'amplificateur de puissance nécessaire pour obtenir un niveau d'essai de 10 V.....	141
Tableau G.1 – Processus de réglage de niveau avec RCD.....	149
Tableau G.2 – Processus d'essai avec RCD.....	149
Tableau G.3 – Processus de réglage du niveau avec pince EM.....	151
Tableau G.4 – Processus d'essai avec pince EM.....	151

Tableau G.5 – Processus de réglage de niveau avec pince de courant	153
Tableau G.6 – Processus d'essai avec pince de courant.....	153
Tableau G.7 – Processus de réglage du niveau par injection directe.....	154
Tableau G.8 – Processus d'essai par injection directe	154
Tableau H.1 – Exigences d'impédance pour l'EA	156
Tableau H.2 – Rapports de division de la tension dérivée pour les mesures d'impédance de l'EA	157
Tableau H.3 – Rapports de division de la tension dérivée pour les mesures d'impédance de l'EA	158

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61000-4-6 a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Elle constitue la Partie 4-6 de la CEI 61000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de la CEI.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition publiée en 2008 et constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) utilisation des RCD;
- b) étalonnage des pinces;

- c) réorganisation de l'Article 7 sur les montages d'essai et les méthodes d'injection;
- d) l'Annexe A qui est dédiée maintenant aux pinces EM et de découplage;
- e) l'Annexe G qui traite maintenant l'incertitude de mesure relative au niveau de tension d'essai;
- f) les annexes informatives H, I et J qui sont nouvelles.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
77B/691/FDIS	77B/704/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61000, publiées sous le titre général *Compatibilité électromagnétique (CEM)*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La CEI 61000 est publiée sous forme de plusieurs parties conformément à la structure 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 de la responsabilité 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 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties, publiées soit comme normes internationales soit comme spécifications techniques ou rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées comme sections. D'autres seront publiées avec le numéro de partie, suivi d'un tiret et complété d'un second numéro identifiant la subdivision (exemple: CEI 61000-6-1).

La présente partie est une norme internationale qui donne les exigences d'immunité et les procédures d'essai relatives aux perturbations conduites induites par les champs radiofréquence.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61000 se rapporte aux exigences relatives à l'immunité en conduction des matériels électriques et électroniques aux perturbations électromagnétiques provoquées par des émetteurs destinés à des radiofréquences (RF), dans la gamme de fréquences de 150 kHz à 80 MHz. Les matériels n'ayant pas au moins un câble conducteur (par exemple, cordons d'alimentation, lignes de transmission de signaux ou connexions de mise à la terre) capable de coupler les matériels aux champs RF perturbateurs ne sont pas concernés par la présente norme.

NOTE 1 Les méthodes d'essai sont définies dans la présente partie de la CEI 61000 pour mesurer l'effet que les signaux perturbateurs conduits, induits par le rayonnement électromagnétique, ont sur l'équipement concerné. La simulation et la mesure de ces perturbations conduites ne sont pas parfaitement exactes pour la détermination quantitative des effets. Les méthodes d'essai définies sont structurées dans le but principal d'établir une bonne reproductibilité des résultats dans des installations différentes en vue de l'analyse quantitative des effets.

L'objet de la présente norme est d'établir une référence commune dans le but d'évaluer l'immunité fonctionnelle des matériels électriques et électroniques, quand ils sont soumis aux perturbations conduites induites par les champs radiofréquence. La méthode d'essai documentée dans cette partie de la CEI 61000, décrit une méthode cohérente dans le but d'évaluer l'immunité d'un matériel ou d'un système vis-à-vis d'un phénomène défini.

NOTE 2 Comme décrit dans le Guide 107 de la CEI, la présente norme est une publication fondamentale en CEM destinée à être utilisée par les comités de produits de la CEI. Comme indiqué également dans le Guide 107, il incombe aux comités de produits de la CEI de déterminer s'il convient d'appliquer ou non la présente Norme d'essai d'immunité, et si tel est le cas, ils ont la responsabilité de déterminer les niveaux d'essai et les critères de performance appropriés.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire électrotechnique international (VEI)* (disponible sous <http://www.electropedia.org>).

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 60050-161, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1

main fictive

réseau électrique simulant l'impédance du corps humain existant entre un appareil électrique tenu à la main et la terre dans des conditions moyennes d'utilisation

Note 1 à l'article: Il convient que sa structure soit conforme à la CISPR 16-1-2.

[SOURCE: CEI 60050-161:1990, 161-04-27]

3.2

équipement auxiliaire

EA

équipement nécessaire pour fournir au matériel en essai (EUT) les signaux exigés pour un fonctionnement normal et les instruments servant à vérifier les performances du matériel en essai

3.3

injection par pince

injection obtenue au moyen d'un dispositif d'injection de "courant" sur le câble

3.4

dispositif d'injection par pince

dispositif d'injection de "courant" sur un câble, étant soit une pince de courant, soit une pince électromagnétique

3.4.1

pince de courant

transformateur dont l'enroulement secondaire est un câble dans lequel est faite l'injection

3.4.2

pince électromagnétique

pince EM

dispositif d'injection à couplages capacitif et inductif combinés

3.5

impédance de mode commun

rapport de la tension de mode commun et du courant de mode commun à un accès spécifié

Note 1 à l'article: L'impédance de mode commun peut être déterminée en appliquant une tension unité en mode commun entre la ou les bornes ou l'écran de cet accès et un plan de référence (point). Le courant de mode commun obtenu est ensuite mesuré comme somme vectorielle de tous les courants circulant par la ou les bornes, ou par l'écran (voir aussi les Figures 8a) et 8b)).

3.6

facteur de couplage

rapport de la tension en circuit ouvert (f.é.m.) obtenue au niveau de l'accès EUT du dispositif de couplage (et de découplage) divisée par la tension en circuit ouvert obtenue à la sortie du générateur d'essai

3.7

réseau de couplage

circuit électrique dont le but est de transférer de l'énergie d'un circuit dans un autre avec une impédance définie

Note 1 à l'article: Les dispositifs de couplage et de découplage peuvent être intégrés dans une unité (réseau de couplage et réseau de découplage (RCD)) ou dans des réseaux séparés.

3.8

réseau de couplage/découplage

RCD

circuit électrique incorporant les fonctions de réseau de couplage et de réseau de découplage

3.9

réseau de découplage

dispositif de découplage

circuit électrique dont le but est d'empêcher les signaux d'essai appliqués à l'EUT d'influencer d'autres appareils, équipements ou systèmes qui ne sont pas soumis aux essais

3.10**générateur d'essai**

générateur (générateur RF, source de modulation, atténuateurs, amplificateur de puissance à large bande et filtres) capable de produire le signal d'essai exigé

Note 1 à l'article: Voir Figure 3.

3.11**force électromotrice****f.é.m.**

tension aux bornes de la source idéale de tension introduite dans la représentation d'un élément actif

3.12**résultat de mesure** **U_{mr}**

valeur de la tension lue sur l'équipement de mesure

3.13**rapport d'ondes stationnaires en tension****ROS**

rapport entre une valeur maximale et une valeur minimale adjacente de l'amplitude de tension sur la ligne

4 Généralités

La source de perturbations couverte par la présente partie de la CEI 61000 est essentiellement un champ électromagnétique, issu d'émetteurs destinés à des radiofréquences, qui peut affecter la longueur totale des câbles raccordés à des matériels installés. Les dimensions des matériels perturbés, dans la plupart des cas un sous-ensemble d'un système plus important, sont supposées être réduites par rapport aux longueurs d'onde concernées. Les conducteurs entrants et sortants (par exemple, les cordons secteur, les lignes de télécommunications, les câbles d'interface) se comportent comme des réseaux d'antennes de réception passifs et comme des chemins conducteurs du signal pour les signaux intentionnels et non intentionnels.

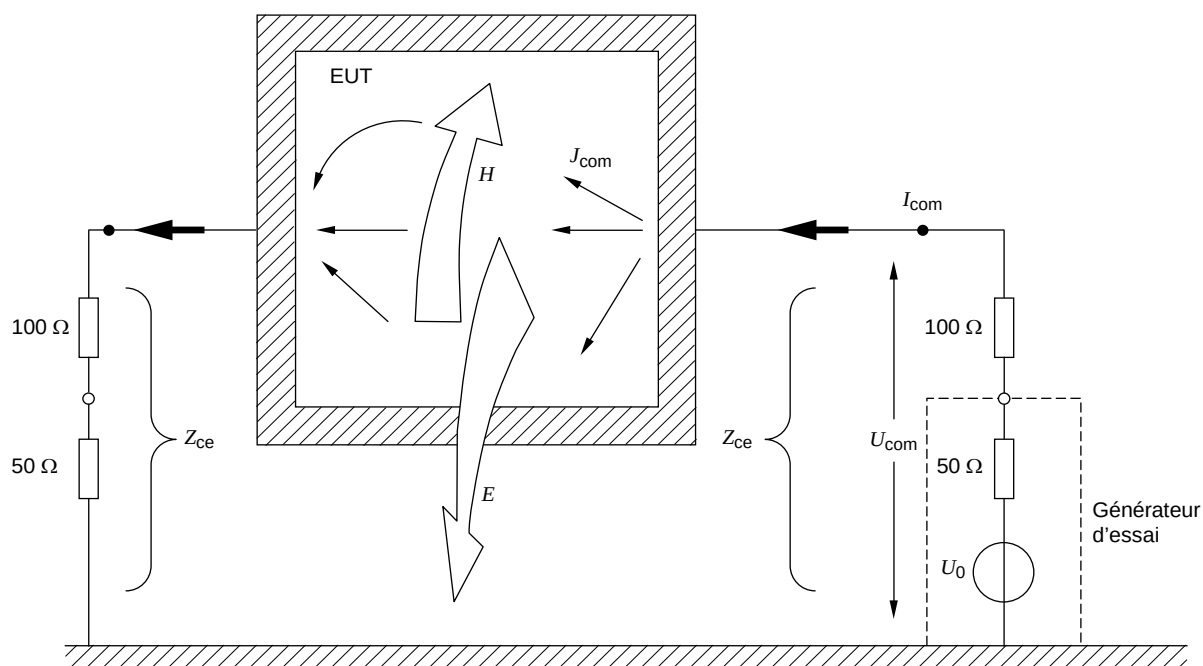
Entre ces réseaux de câbles, les matériels susceptibles sont exposés à des courants qui s'écoulent "à travers" les matériels. Les systèmes de câbles raccordés aux matériels sont supposés fonctionner en mode résonnant (dipôles $\lambda/4$, $\lambda/2$ ouverts ou repliés) et, à ce titre, sont représentés par des dispositifs de couplage et de découplage, dont l'impédance de mode commun est de 150 Ω par rapport à un plan de référence. Dans la mesure du possible, on soumet l'EUT à l'essai en le connectant entre deux liaisons d'impédance 150 Ω en mode commun: l'une fournit une source RF, l'autre un chemin de retour pour le courant.

Pour cette méthode d'essai, l'EUT est soumis à une source de perturbations comprenant des champs électriques et magnétiques, simulant les perturbations issues d'émetteurs radioélectriques intentionnels. Ces champs perturbateurs (E et H) sont simulés par les champs électriques et magnétiques proches résultant des tensions et des courants dus au montage d'essai représenté par la Figure 1a).

L'utilisation de dispositifs de couplage et de découplage pour appliquer le signal perturbateur à un seul câble à la fois, tandis que les autres ne sont pas excités (voir Figure 1b)), ne peut que constituer une approximation de la situation réelle où toutes les sources de perturbations affectent tous les câbles simultanément, suivant des amplitudes et des phases différentes.

Les dispositifs de couplage et de découplage sont définis par leurs caractéristiques énoncées en 6.2.1. Tout dispositif de couplage et de découplage répondant à ces caractéristiques peut

être utilisé. Les réseaux de couplage et de découplage décrits à l'Annexe D ne sont que des exemples de réseaux disponibles sur le marché.



Z_{ce} Impédance de mode commun du système constituant le réseau de couplage et de découplage, $Z_{ce} = 150\ \Omega$

U_0 Tension de source du générateur d'essai (f.é.m.)

U_{com} Tension de mode commun entre l'EUT et le plan de référence

I_{com} Courant de mode commun à travers l'EUT

J_{com} Densité de courant sur la surface conductrice ou courant sur les autres conducteurs de l'EUT

E, H Champs électrique et magnétique

NOTE Les résistances de $100\ \Omega$ sont comprises dans les réseaux de couplage et de découplage. L'entrée gauche est chargée par une charge (passive) de $50\ \Omega$ et l'entrée droite par l'impédance de source du générateur d'essai.

a) Diagramme montrant les champs électromagnétiques proches de l'EUT provoqués par les courants de mode commun sur ses câbles

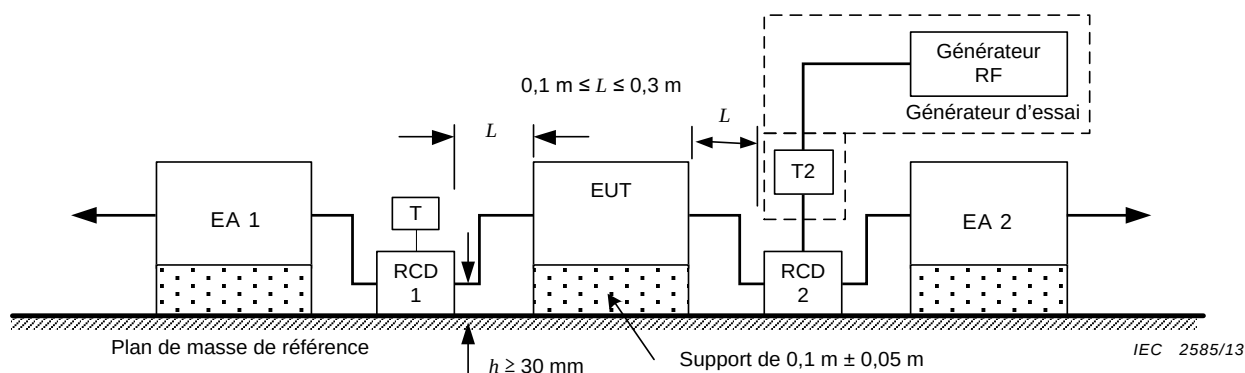


Schéma du montage d'essai de l'essai d'immunité utilisé pour le RCD

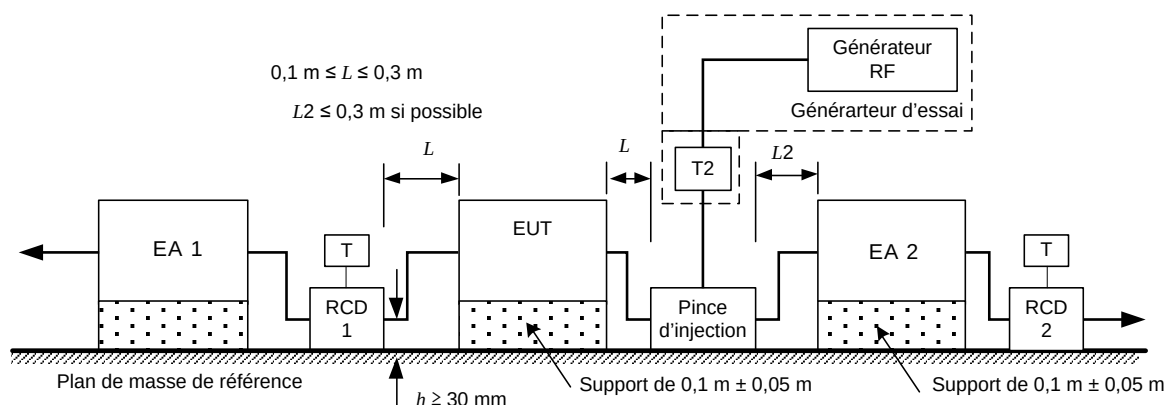


Schéma du montage d'essai de l'essai d'immunité utilisé pour la pince d'injection

T:	Terminaison 50 Ω
T2:	Atténuateur de puissance (6 dB)
RCD:	Réseau de couplage/découplage
Pince d'injection:	Pince de courant ou pince EM

b) Schéma du montage d'essai d'immunité aux perturbations radioélectriques conduites

Figure 1 – Essai d'immunité aux perturbations radioélectriques conduites

5 Niveaux d'essai

Conformément à la présente norme, des essais concernant des perturbations induites causées par les champs électromagnétiques issus d'émetteurs radioélectriques intentionnels sont exigés dans la gamme de fréquences de 150 kHz à 80 MHz.

Les niveaux d'essai en circuit ouvert (f.é.m.) du signal perturbateur non modulé, exprimés en valeur efficace, sont donnés dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Niveaux d'essai

Gamme de fréquences 150 kHz à 80 MHz		
Niveau	Niveau de tension (f.é.m.)	
	U_0 dB(μV)	U_0 V
1	120	1
2	129,5	3
3	140	10
X ^a	Spécial	
^a "X" peut être à n'importe quel niveau, au-dessus, en dessous ou entre les autres. Le niveau est à spécifier dans la spécification de matériel correspondante.		

Les niveaux d'essai sont fixés au niveau de l'accès EUT des dispositifs de couplage, voir 6.4. Pour les essais des matériels, ce signal est modulé en amplitude à 80 % par une onde sinusoïdale à 1 kHz simulant les menaces réelles. La modulation en amplitude effective est illustrée à la Figure 2. Des indications pour sélectionner les niveaux d'essai sont données à l'Annexe C.

NOTE 1 La CEI 61000-4-3 définit également les méthodes d'essai pour l'établissement de l'immunité des matériels électriques et électroniques contre l'énergie électromagnétique rayonnée. Elle couvre les fréquences supérieures à 80 MHz. Les comités de produit peuvent décider de choisir une fréquence de transition inférieure ou supérieure (voir l'Annexe B).

NOTE 2 Les comités de produit peuvent choisir d'autres conditions de modulation.

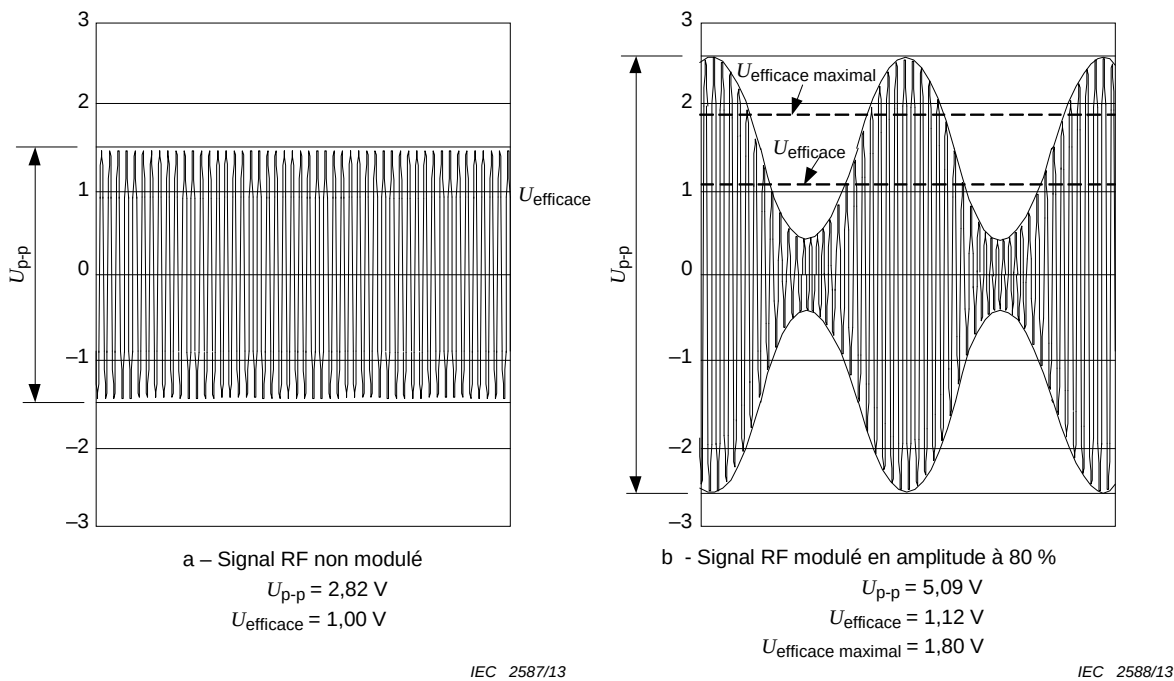


Figure 2 – Formes d'onde en circuit ouvert se produisant à l'accès EUT d'un dispositif de couplage pour le niveau d'essai 1

6 Matériel d'essai et procédures d'ajustement du niveau

6.1 Générateur d'essai

Le générateur d'essai comprend tous les matériels et composants utilisés pour fournir à l'accès d'entrée de chaque dispositif de couplage le signal perturbateur au niveau de signal exigé au point exigé. Un ensemble typique comprend les éléments suivants qui peuvent être séparés ou intégrés dans un ou plusieurs instruments d'essai (voir 3.10 et Figure 3):

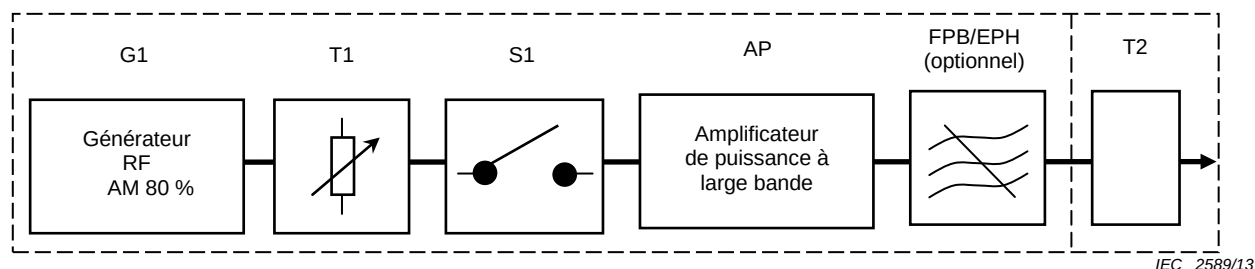
- un ou plusieurs générateurs RF, G1, qui peuvent couvrir la bande de fréquences concernée et être modulés en amplitude par une onde sinusoïdale à 1 kHz, avec une profondeur de modulation de 80 %. Ils doivent avoir une commande manuelle (par exemple, fréquence, amplitude, indice de modulation) ou dans le cas des synthétiseurs RF, ils doivent être programmables avec des pas et des temps de palier dépendant de la fréquence;
- un atténuateur, T1, (typiquement 0 dB ... 40 dB) présentant des caractéristiques assignées adéquates en fréquence permettant de commander le niveau de sortie de la source d'essai perturbatrice. T1 peut être inclus dans le générateur RF et il est optionnel;
- un commutateur RF, S1, permettant de couper et d'établir le signal perturbateur d'essai pour la mesure de l'immunité de l'EUT. S1 peut être inclus dans le générateur RF et il est optionnel;
- un ou plusieurs amplificateurs de puissance à large bande, AP, peuvent être nécessaires pour amplifier le signal si la puissance de sortie du générateur RF est insuffisante;
- des filtres passe-bas (FPB) et/ou des filtres passe-haut (FPH) peuvent être nécessaires, pour éviter toute interférence due à des sous-harmoniques ou des harmoniques d'ordre supérieur avec certains types d'EUT, par exemple les récepteurs RF. Ils doivent être insérés, s'il y a lieu, entre l'amplificateur de puissance à large bande, AP, et l'atténuateur T2;
- un atténuateur, T2, (fixe ≥ 6 dB), présentant des caractéristiques assignées de puissance suffisantes. T2 est fourni pour réduire le ROS à l'amplificateur de puissance causé par la désadaptation du dispositif de couplage.

NOTE T2 peut être inclus dans un réseau de couplage et de découplage, et peut être laissé hors circuit si l'impédance de sortie de l'amplificateur de puissance à large bande reste conforme aux spécifications quelles que soient les conditions de charge.

Les caractéristiques du générateur d'essai sont données dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Caractéristiques du générateur d'essai

Impédance de sortie	50 Ω , ROS < 1,5
Harmoniques et distorsion	entre 150 kHz et 80 MHz, toute raie spectrale parasite doit être au moins 15 dB en dessous du niveau de la porteuse, mesurée à l'accès EUT du dispositif de couplage. La valeur -15 dBc peut aussi être mesurée directement à la sortie de l'amplificateur.
Modulation d'amplitude	interne ou externe, $m = \left(\begin{matrix} +5 \\ 80 \\ -20 \end{matrix} \right) \% ,$ avec $m = 100 \times \frac{U_{pp,max} - U_{pp,min}}{U_{pp,max} + U_{pp,min}}$ onde sinusoïdale 1 kHz $\pm$ 0,1 kHz
Niveau de sortie	suffisamment élevé pour couvrir le niveau d'essai (voir aussi l'Annexe E)
NOTE 1 Pour les pinces de courant, la valeur -15 dBc peut être mesurée d'un côté ou de l'autre du montage d'essai.	
NOTE 2 Les harmoniques et la distorsion sont mesurées en onde entretenue à 1,8 fois le niveau d'essai sans modulation.	



G1	Générateur RF	T1	Atténuateur variable
AP	Amplificateur de puissance à large bande	T2	Atténuateur fixe (6 dB)
FPB/EPH	Filtre passe-bas et/ou filtre passe-haut (optionnel)	S1	Commutateur RF

Figure 3 – Montage du générateur d'essai

6.2 Dispositifs de couplage et de découplage

6.2.1 Généralités

Des dispositifs de couplage et de découplage doivent être utilisés pour assurer un couplage approprié du signal perturbateur (sur toute la gamme de fréquences, avec une impédance de mode commun définie au niveau de l'accès EUT) avec les divers câbles raccordés à l'EUT et pour empêcher que les signaux appliqués à l'essai n'affectent les autres dispositifs, équipements et systèmes non soumis aux essais.

Les dispositifs de couplage et de découplage peuvent être combinés dans une unité (appelée réseau de couplage/découplage ou pince EM) ou être composés de plusieurs parties.

Les dispositifs de couplage et de découplage préférentiels sont les RCD, ceci pour des raisons de reproductibilité d'essai et de protection des EA. Le paramètre principal applicable au dispositif de couplage et de découplage, c'est-à-dire l'impédance de mode commun vue au niveau de l'accès EUT, est spécifié dans le Tableau 3. Si les RCD ne sont pas disponibles, d'autres méthodes d'injection peuvent être utilisées. Des règles pour la sélection de la méthode d'injection appropriée sont données en 7.4.1. En raison de leurs propriétés électriques, il est peu probable que d'autres méthodes d'injection satisfassent aux paramètres du Tableau 3.

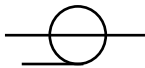
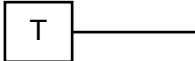
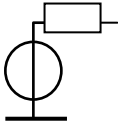
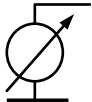
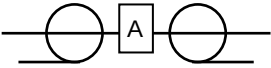
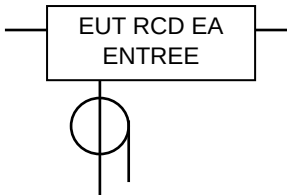
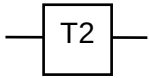
NOTE 1 Un RCD peut ne pas s'appliquer si une atténuation du signal interne a une influence inadmissible sur le signal prévu.

Tableau 3 – Paramètre principal du dispositif de couplage et de découplage

Paramètre	Bande de fréquences	
	0,15 MHz à 24 MHz	24 MHz à 80 MHz
$ Z_{ce} $	$150 \Omega \pm 20 \Omega$	$150 \Omega \begin{matrix} +60\Omega \\ -45\Omega \end{matrix}$

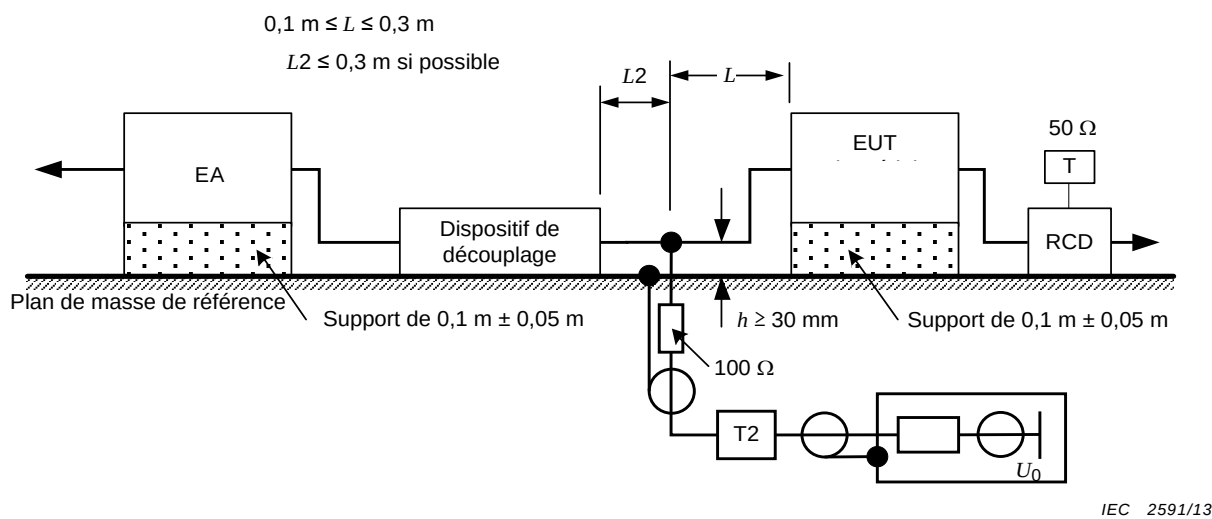
NOTE 2 Ni l'argument de Z_{ce} , ni le facteur de découplage entre l'accès EUT et l'accès EA ne sont spécifiés séparément. Ces facteurs sont inclus dans l'exigence qui stipule que la tolérance de $|Z_{ce}|$ doit être satisfaite, l'accès EA étant en circuit ouvert ou court-circuité au plan de référence.

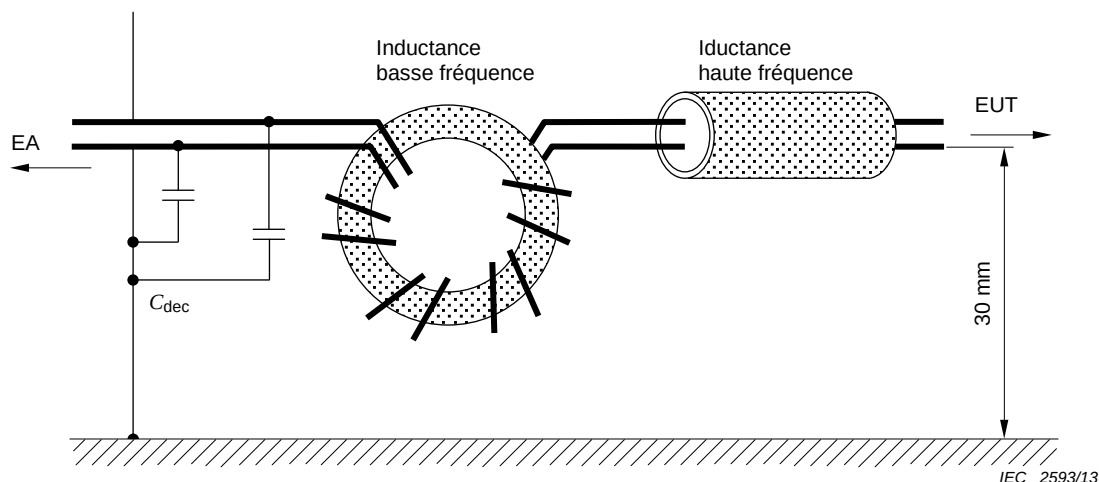
NOTE 3 Les détails relatifs aux pinces sont donnés à l'Annexe A.

	Ligne coaxiale 50 Ω
	Puissance, signal ou câble de masse
	Charge coaxiale 50 Ω
	Adaptateur 150 Ω à 50 Ω ; une unité avec une résistance en série de 100 Ω entre les accès ENTREE et SORTIE
	Source de signal 50 Ω
	Equipement de mesure 50 Ω , par exemple voltmètre sélectif
	Atténuateur 10 dB, 50 Ω
	Réseau de couplage/découplage (RCD) avec accès EUT, ENTRÉE et EA
	Atténuateur de puissance (6 dB)

IEC 2590/13

a) Liste des symboles utilisés pour les principes de montage indiqués





Exemple: Typiquement $C_{dec} = 47 \text{ nF}$ (uniquement sur câbles non blindés), $L_{(150 \text{ kHz})} \geq 280 \text{ } \mu\text{H}$
 Inductance basse fréquence: 17 tours sur un tore de matériau ferrite: NiZn, $\mu_R = 1\,200$
 Inductance haute fréquence: 2 à 4 tores de ferrite (formant un tube), matériau: NiZn, $\mu_R = 700$

d) Principe du découplage

Figure 4 – Principe du couplage et du découplage

6.2.2 Réseaux de couplage/découplage (RCD)

6.2.2.1 Généralités

Ces réseaux comprennent les circuits de couplage et de découplage dans une seule unité. Les Figures 4c) et 4d) illustrent le principe des réseaux de couplage et de découplage. Le Tableau 4 résume l'utilisation des différents types de RCD telle qu'exposée à l'Annexe D. Les RCD sélectionnés ne doivent pas affecter indûment les signaux fonctionnels (voir les conseils donnés à la Figure 12). Les contraintes sur de tels effets peuvent être spécifiées dans les normes de produits.

Tableau 4 – Utilisation des RCD

Type de ligne	Exemples	Type de RCD
Alimentation (c.a. et c.c.) et connexion à la terre	Réseau c.a., c.c. dans les installations industrielles, connexion à la terre	RCD-Mx (voir la Figure D.2)
Câbles blindés	Câbles coaxiaux câbles utilisés pour les connexions LAN et USB, câbles pour les systèmes audio	RCD-Sx (voir la Figure D.1)
Lignes symétriques non blindées	Lignes RNIS, lignes de téléphone	RCD-Tx (voir les Figures D.4, D.5, D.7 et l'Annexe H)
Lignes asymétriques non blindées	Toute ligne n'appartenant pas aux autres groupes	RCD-AFx ou RCD-Mx (voir les Figures D.3 et D.6)

6.2.2.2 RCD pour lignes d'alimentation de puissance

Il est recommandé de doter tous les raccordements d'alimentation de réseaux de couplage et de découplage. On peut toutefois choisir d'autres méthodes d'injection pour les fortes puissances (intensité $\geq 16 \text{ A}$) et/ou les systèmes complexes d'alimentation (phases multiples ou alimentations en parallèle).

Le signal perturbateur doit être couplé aux lignes d'alimentation, au moyen de réseaux type RCD-M1 (unifilaire), RCD-M2 (bifilaire) ou RCD-M3 (trifilaire), ou de réseaux équivalents, (voir Annexe D). Des réseaux similaires peuvent être définis pour un système d'alimentation secteur triphasé. Le circuit de couplage est décrit à la Figure 4c).

Les performances du RCD ne doivent pas être indûment dégradées par la saturation du matériau magnétique due au courant consommé par l'EUT. Dans la mesure du possible, il convient que la construction du réseau assure que l'effet magnétisant du courant aller soit annulé par celui dû au courant de retour.

Si dans des installations réelles, les fils d'alimentation sont acheminés individuellement, des réseaux de couplage et de découplage RCD-M1 séparés doivent être utilisés. Tous les accès d'entrée doivent être traités séparément.

Si l'EUT est doté de bornes de terre fonctionnelles (par exemple à des fins radioélectriques ou à cause de courants de fuite élevés), celles-ci doivent être raccordées au plan de masse de référence:

- via le réseau de couplage et de découplage RCD-M1 si les caractéristiques ou la spécification de l'EUT le permettent. Dans ce cas, l'alimentation (de puissance) doit être acheminée à travers un réseau approprié de type RCD-Mx;
- lorsque les caractéristiques ou la spécification de l'EUT ne permettent pas l'installation d'un réseau RCD-M1 en série avec cette borne de terre pour des raisons radioélectriques ou autres, la borne de terre doit être raccordée directement au plan de masse de référence. Dans ce cas, le réseau RCD-M3 doit être remplacé par un réseau RCD-M2 pour éviter un court-circuit RF par le conducteur de terre de protection. Lorsque l'équipement est déjà alimenté via un réseau RCD-M1 ou RCD-M2, ces derniers doivent rester en service;
- pour l'alimentation triphasée, des ajustements similaires sont nécessaires pour ce qui concerne l'utilisation d'un réseau approprié de type RCD-Mx.

Attention: Les condensateurs utilisés dans les RCD réunissent des parties actives. En conséquence, des courants de fuite importants peuvent se produire et des connexions de sécurité entre les RCD et le plan de masse de référence sont obligatoires (dans certains cas, ces connexions peuvent être réalisées par construction dans les RCD).

6.2.2.3 RCD pour lignes symétriques non blindées

Pour le couplage et le découplage de signaux perturbateurs à un câble non blindé à lignes symétriques, un réseau RCD-T2, RCD-T4 ou RCD-T8 doit être utilisé comme réseau de couplage et de découplage. Les Figures D.4, D.5 et D.7 de l'Annexe D illustrent ces possibilités:

- RCD-T2 pour un câble à 1 paire symétrique (2 fils);
- RCD-T4 pour un câble à 2 paires symétriques (4 fils);
- RCD-T8 pour un câble à 4 paires symétriques (8 fils).

D'autres réseaux en RCD-Tx peuvent être utilisés s'ils correspondent aux gammes de fréquences désirées et s'ils satisfont aux exigences énoncées en 6.2.1. Il convient par exemple, que le rapport de conversion du mode différentiel au mode commun des RCD ait une plus grande valeur que le rapport de conversion spécifié du câble à installer, ou à celui du matériel connecté au câble installé. Si différents rapports de conversion sont indiqués pour le câble et pour les matériels, la valeur la plus faible s'applique. Souvent il est nécessaire d'appliquer la pince d'injection à des câbles multipaires symétriques, car des RCD adaptés pourraient ne pas être disponibles.

6.2.2.4 Couplage et découplage pour lignes asymétriques non blindées

Pour le couplage et le découplage de signaux perturbateurs à un câble non blindé à lignes asymétriques, on peut utiliser un réseau de couplage et de découplage tel que celui décrit pour une paire unique à la Figure D.3 et pour quatre paires à la Figure D.6.

Si aucun RCD adapté n'est disponible pour la ligne asymétrique non blindée, suivre le tableau décisionnel de la Figure 12.

6.2.2.5 Couplage et découplage pour câbles blindés

Pour le couplage et le découplage des signaux perturbateurs à un câble blindé, un réseau de couplage et de découplage de type Sx est utilisé. La Figure D.1 est un exemple de câble coaxial (S1).

Afin de pouvoir traiter un câble comme un câble blindé en utilisant des RCD pour le couplage du signal perturbateur, le blindage doit être raccordé aux deux extrémités du câble. Si cette condition n'est pas satisfaite, alors il convient de traiter le câble comme un câble non blindé.

6.2.3 Dispositifs d'injection par pince

6.2.3.1 Généralités

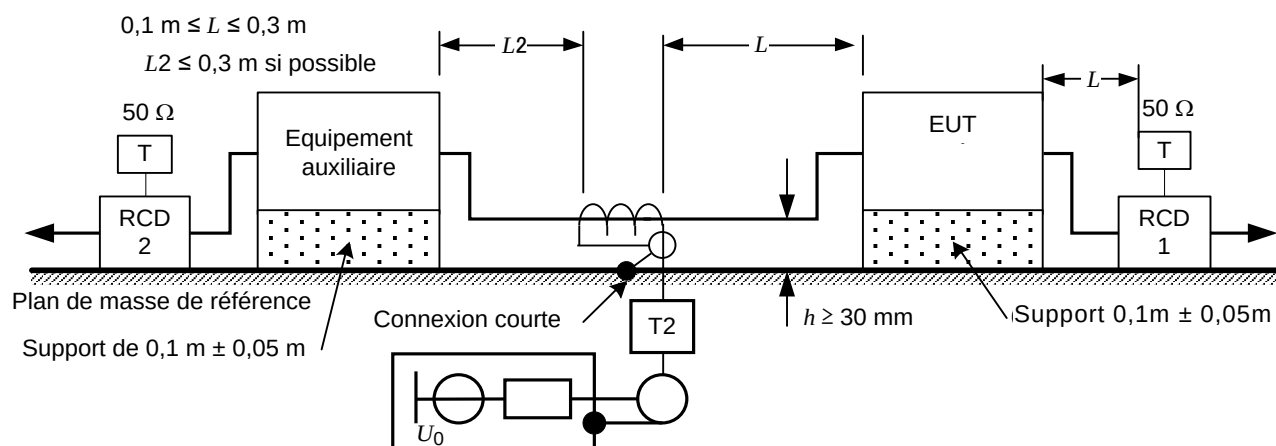
Avec les dispositifs d'injection par pince, les fonctions de couplage et de découplage sont séparées. Le couplage est réalisé par la pince tandis que l'impédance de mode commun et les fonctions de découplage sont réalisées par l'EA. Dans ce cas, l'EA devient partie intégrante des dispositifs de couplage et de découplage (voir Figure 5). Il convient de noter qu'avec les dispositifs d'injection par pince, l'EA est soumis au même courant injecté que l'EUT et nécessite donc d'être immunisé au niveau d'essai utilisé.

NOTE 1 Quand les méthodes d'injection par pince ne sont pas conformes aux exigences d'impédance de mode commun de l'EA, elles peuvent ne pas satisfaire aux exigences de Z_{ce} . Toutefois, elles peuvent donner des résultats d'essai acceptables lorsque les indications données en 7.4.1 sont respectées.

NOTE 2 La pince EM réalise le découplage au-dessus de 10 MHz, voir l'Annexe A.

Des indications concernant l'application correcte sont données en 7.6.

Quand une pince électromagnétique (EM) ou une pince de courant est utilisée, alors que les contraintes énoncées en 7.6 ne sont pas respectées, la procédure définie en 7.7 doit être suivie. La tension induite est fixée selon 6.4.1. De plus, le courant obtenu doit être surveillé et limité à I_{max} . Dans cette procédure, une impédance de mode commun plus faible peut être utilisée, mais le courant de mode commun est limité à la valeur qui serait issue d'une impédance de 150 Ω .



IEC 2594/13

Le RCD du câble raccordé à l'EA, par exemple le RCD-M1 connecté à la borne de terre dédiée ou le RCD-M3, doit être adapté avec 50 Ω sur l'accès d'entrée (voir 7.7).

Figure 5 – Principe du couplage et du découplage selon la méthode d'injection par pince

6.2.3.2 Pince de courant

Ce dispositif réalise un couplage inductif avec le câble raccordé à l'EUT. Par exemple, avec un rapport de transformation de 5:1, l'impédance série de mode commun ramenée peut être négligeable par rapport à l'impédance de 150 Ω présentée par l'EA. Dans ce cas, l'impédance de sortie du générateur d'essai (50 Ω) est transformée en 2 Ω. D'autres rapports de transformation peuvent être utilisés.

Les performances exigées de la pince de courant sont telles que l'augmentation de la perte de transmission du montage d'essai, produite par l'insertion d'une pince de courant, ne doit pas excéder 1,6 dB. La Figure 7 illustre un circuit de montage de vérification de la perte de transmission.

NOTE 1 Ces performances peuvent être vérifiées en deux étapes. Au cours de la première étape, la pince de courant n'est pas utilisée et la tension est enregistrée. Au cours de la seconde étape, la pince de courant est insérée et chargée à son accès d'entrée sur une charge de 50 Ω et la tension est mesurée. La différence est tenue de ne pas dépasser 1,6 dB comme défini ci-dessus.

Le niveau de signal appliqué à la pince d'injection de courant est réglé avant l'essai. La procédure de réglage du niveau d'essai est donnée en 6.4.1 et à la Figure 6.

Lors de l'utilisation d'une pince de courant, il convient de veiller à ce que les niveaux des harmoniques de rang élevé générés par l'amplificateur de puissance (AP) n'apparaissent pas au niveau de l'accès EUT du dispositif de couplage à des niveaux supérieurs à ceux du signal fondamental.

NOTE 2 Il est généralement nécessaire de positionner le câble au milieu de la pince pour minimiser le couplage capacitif.

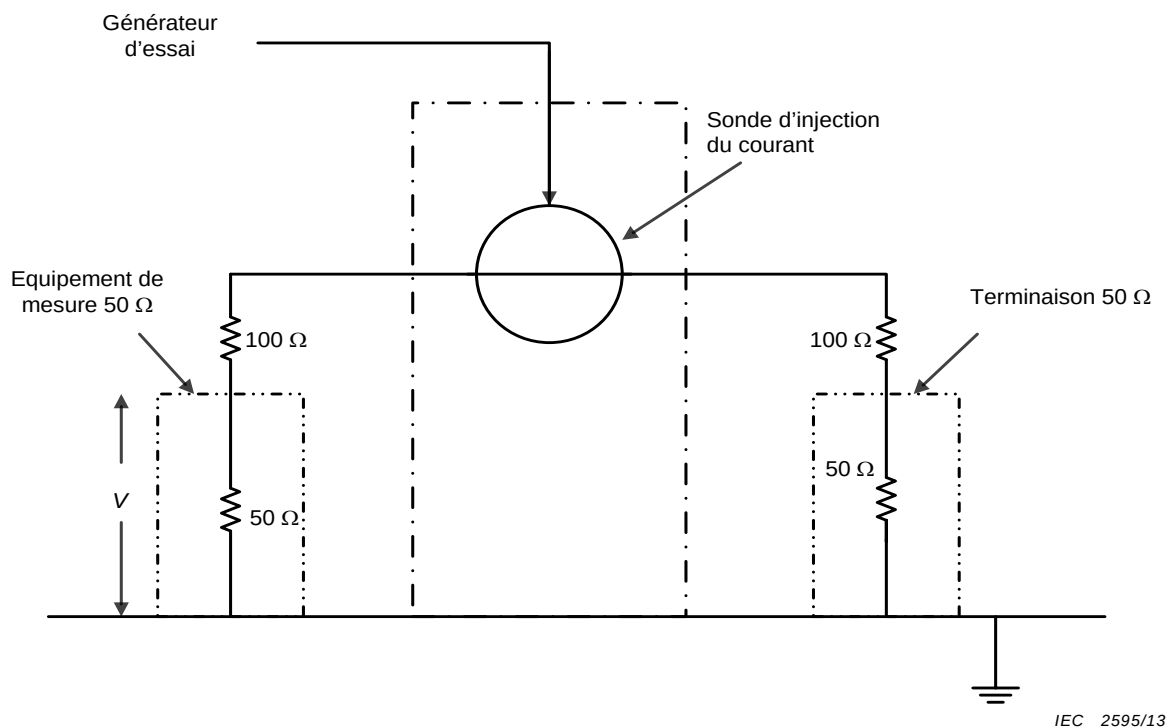


Figure 6 – Exemple de circuit de réglage du niveau sur un montage d'essai 150 Ω

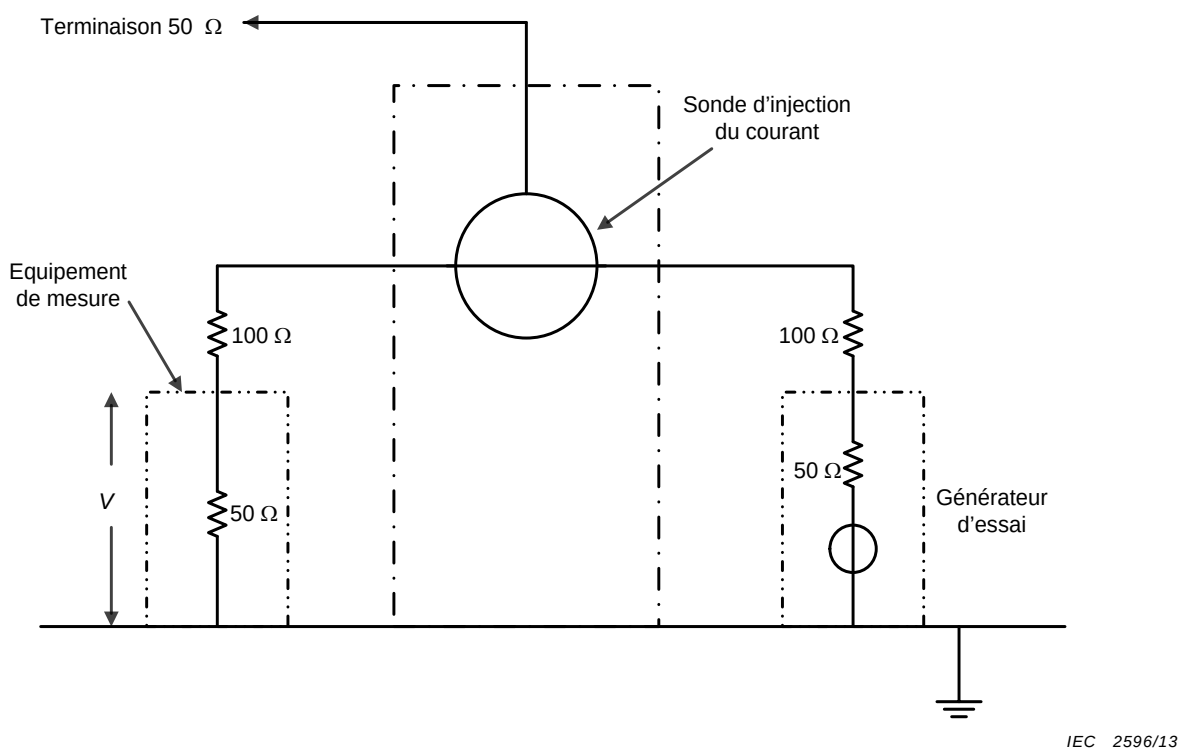


Figure 7 – Exemple de circuit d'évaluation des performances de la pince de courant

6.2.3.3 Pince EM

La pince EM réalise un couplage à la fois capacitif et inductif sur le câble raccordé à l'EUT. Des détails sur la construction et les performances de cette pince EM sont donnés à l'Annexe A.

6.2.4 Dispositifs d'injection directe

Lors de l'utilisation de l'injection directe, le signal perturbateur issu du générateur d'essai est injecté sur les câbles blindés et coaxiaux à travers une résistance de $100\ \Omega$ (même si le blindage n'est pas mis à la masse ou seulement d'un côté). Un circuit de découplage (voir 6.2.5) doit être inséré entre l'EA et le point d'injection, aussi près que possible de ce dernier (voir Figure 4b)). Afin d'augmenter le découplage et pour stabiliser le circuit, une connexion de masse doit être réalisée entre le blindage de l'accès d'entrée du dispositif d'injection directe et le plan de masse de référence.

Quand on réalise une connexion directe à des blindages en feuille, il est nécessaire de veiller à assurer une bonne connexion donnant des résultats d'essai fiables.

6.2.5 Réseaux de découplage

Normalement, le réseau de découplage comprend plusieurs inductances pour créer une haute impédance sur la gamme de fréquences. Celle-ci est déterminée par le matériau en ferrite utilisé et une inductance d'au moins $280\ \mu\text{H}$ est exigée à $150\ \text{kHz}$. La réactance doit rester élevée, $\geq 260\ \Omega$ jusqu'à $24\ \text{MHz}$ et $\geq 150\ \Omega$ au-dessus de $24\ \text{MHz}$. L'inductance peut être obtenue soit par bobinage d'un certain nombre de tours sur des tores de ferrite (voir Figure 4d)), soit par l'utilisation d'un certain nombre de tores de ferrite sur le câble (généralement comme un tube sous forme de pince).

NOTE La spécification relative aux pinces est donnée à l'Annexe A.

Les RCD tels que ceux qui sont spécifiés en Annexe D, peuvent être utilisés comme réseaux de découplage avec leur accès d'entrée RF laissé non chargé, sauf mention contraire dans la présente norme. Quand des RCD sont utilisés de cette façon, ils doivent se conformer aux exigences de 6.2.5.

Les réseaux de découplage doivent être utilisés sur tous les câbles non sélectionnés pour l'essai, mais connectés à l'EUT et/ou aux EA. Pour les exceptions, voir 7.3.

6.3 Vérification de l'impédance de mode commun à l'accès EUT des dispositifs de couplage et de découplage

6.3.1 Généralités

Les dispositifs de couplage et de découplage sont caractérisés par l'impédance de mode commun vue au niveau de l'accès EUT, $|Z_{\text{ce}}|$. Une valeur d'impédance correcte assure la reproductibilité des résultats d'essai. L'impédance de mode commun des dispositifs de couplage et de découplage est étalonnée en utilisant l'installation de la Figure 8.

Les dispositifs de couplage et de découplage et le plan de référence d'impédance (Figure 8a)) doivent être placés sur un plan de masse de référence. La taille du plan de masse de référence doit dépasser la géométrie projetée du montage sur tous les côtés d'au moins $0,2\ \text{m}$.

Le point de référence d'impédance doit être connecté à l'accès EUT du RCD tel qu'indiqué à la Figure 8a). L'amplitude de l'impédance de mode commun vue au niveau du connecteur sur le plan d'impédance doit être mesurée.

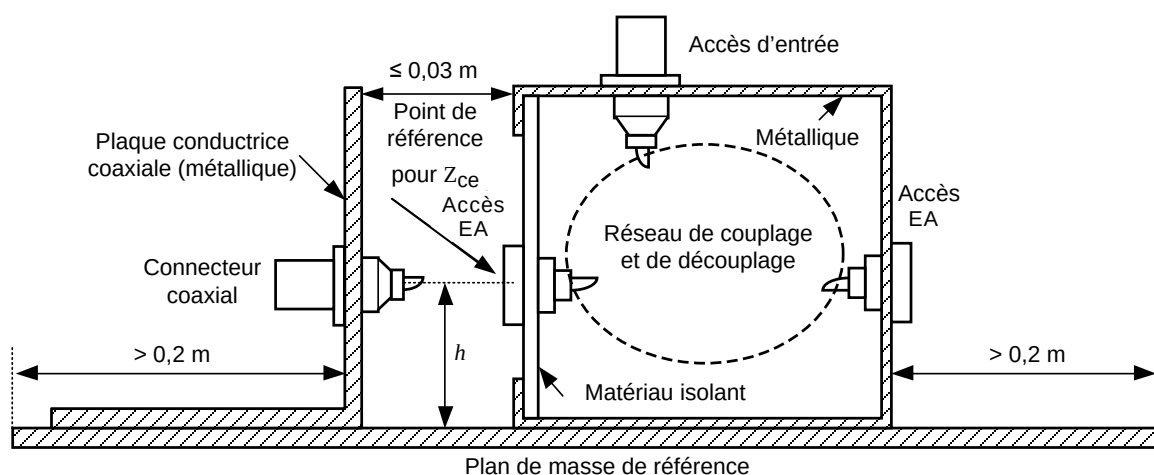
Les réseaux de couplage et de découplage doivent satisfaire aux exigences d'impédance du Tableau 3, lorsque l'accès d'entrée est chargé sous $50\ \Omega$ et l'accès EA est chargé alternativement en mode commun par un court-circuit et un circuit ouvert selon la Figure 8b). Cette exigence assure une atténuation suffisante et rend négligeable le montage de l'EA, par exemple des entrées en circuit ouvert ou court-circuitées.

Si l'injection par pince ou l'injection directe est utilisée, il n'est pas réaliste de vérifier l'impédance de mode commun pour chaque EA raccordé à l'EUT. Pour l'injection par pince, il suffit généralement de suivre la procédure indiquée en 7.6. Dans tous les autres cas, on doit utiliser la procédure définie en 7.7. Pour l'injection directe, il suffit généralement de suivre la procédure indiquée en 7.8.

6.3.2 Perte d'insertion des adaptateurs 150 Ω à 50 Ω

Quand le générateur d'essai est installé avant essai, le niveau d'essai doit être vérifié dans un environnement d'impédance de mode commun de 150 Ω . Ceci est obtenu en reliant le point approprié en mode commun à un dispositif de mesure 50 Ω via un adaptateur 150 Ω à 50 Ω comme le montre la Figure 8d). La construction de l'adaptateur est présentée à la Figure 8e).

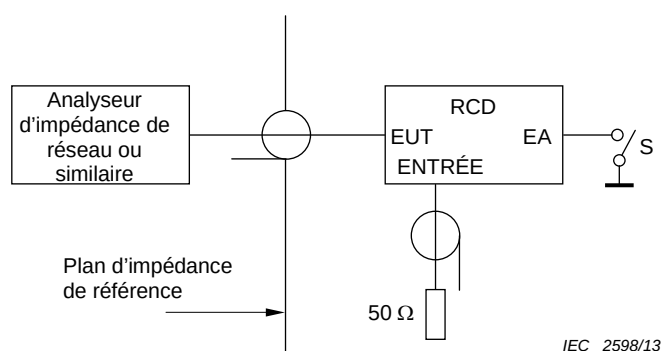
Les adaptateurs doivent être placés sur un plan de masse de référence dont la taille dépasse la géométrie projetée du montage d'au moins 0,2 m de tous les côtés. La perte d'insertion est mesurée conformément au principe de la Figure 8c). Sa valeur doit être comprise dans une plage de $(9,5 \pm 0,5)$ dB (valeur théorique 9,5 dB due à l'impédance série additionnelle lorsqu'elle est mesurée dans un système à 50 Ω). Des atténuateurs ayant des ROS adaptés (suggestion: $ROS \leq 1,2$) aux entrées des récepteurs et aux sorties des générateurs sont recommandés.



IEC 2597/13

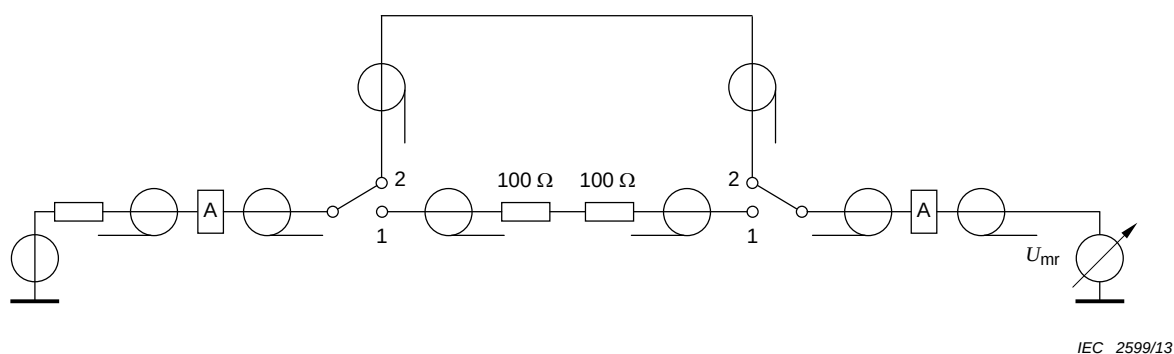
- Plan de masse de référence: doit dépasser la projection des dispositifs de couplage et de découplage et autres composants d'au moins 200 mm.
- Le connecteur coaxial doit être connecté horizontalement à l'accès EUT.
- La hauteur h de l'accès EUT dépend du RCD individuel, qui peut varier de 30 mm à 100 mm; les RCD de courant particulièrement élevé ont un accès EUT situé plus au-dessus du plan de masse de référence.
- Plaque conductrice (avec le connecteur coaxial): 100 mm $\times$ 100 mm pour $h = 30$ mm et 150 mm $\times$ 150 mm pour les autres valeurs de h .
- Les deux plaques conductrices doivent être en cuivre, en laiton ou en aluminium et présenter un bon contact radioélectrique.

a) Exemple de la géométrie du montage servant à vérifier les caractéristiques d'impédance des dispositifs de couplage et de découplage



L'exigence d'impédance doit être satisfaite avec le commutateur S ouvert et fermé (voir 6.3).

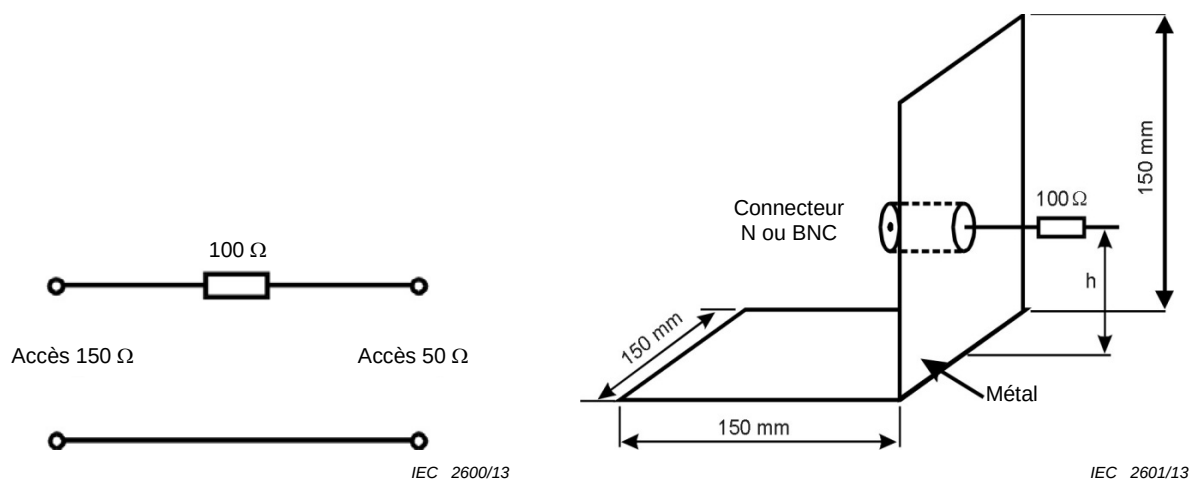
b) Principe du montage des dispositifs de couplage et de découplage servant à vérifier Z_{ce}



$$\text{Perte d'insertion} = U_{mr}(\text{position 2 des commutateurs}) - U_{mr}(\text{position 1 des commutateurs})$$

dB dB(μV) dB(μV)

c) Principe du montage servant à mesurer la perte d'insertion de deux adaptateurs 150 Ω à 50 Ω



NOTE Résistance à faible inductance:
Puissance assignée $\geq 2,5$ W.

NOTE Identique à la Figure 8a) (plaque conductrice),
mais avec une résistance à faible inductance ajoutée de 100 Ω.

d) Circuit de l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω

e) Exemple: schéma de construction de l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω (exemple 150 mm × 150 mm)

Figure 8 – Détails des montages et des composants pour vérifier les caractéristiques essentielles des dispositifs de couplage et de découplage et des adaptateurs 150 Ω à 50 Ω

6.4 Réglage du générateur d'essai

6.4.1 Généralités

Pour le réglage correct du niveau d'essai non modulé, la procédure décrite en 6.4.2 doit être appliquée. On suppose ici que le générateur d'essai, les dispositifs de couplage et de découplage et les adaptateurs 150 Ω à 50 Ω sont conformes aux exigences énoncées en 6.1, 6.2.1 et 6.3.1.

Deux procédures peuvent être utilisées pour le réglage du niveau:

- la puissance de sortie du générateur d'essai peut être déterminée par la mesure de la puissance de sortie de l'amplificateur (puissance directe, telle que mesurée à l'aide d'un coupleur directif);
- tant que la stabilité de l'équipement d'essai (en particulier l'amplificateur) peut être garantie, la sortie du générateur RF peut aussi être réglée en reproduisant les données de réglage du niveau.

6.4.2 Réglage du niveau de sortie à l'accès EUT du dispositif de couplage

Le générateur d'essai doit être raccordé à l'accès d'entrée RF du dispositif de couplage. L'accès EUT du dispositif de couplage doit être raccordé à l'équipement de mesure présentant une impédance d'entrée de 50 Ω en mode commun, via l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω . L'accès EA du dispositif de couplage doit être chargé en mode commun par l'intermédiaire d'un adaptateur 150 Ω à 50 Ω chargé par 50 Ω . Le montage est représenté à la Figure 9c) pour tous les dispositifs de couplage et de découplage.

NOTE 1 En injection directe, la charge de 150 Ω sur l'accès EA n'est pas exigée car le blindage est raccordé au plan de masse de référence du côté de l'accès EA.

NOTE 2 Avec l'injection par pince, les pinces de courant sont généralement bidirectionnelles et n'ont donc pas d'accès EUT ni d'accès EA. Ces dispositifs sont étalonnés à l'aide d'un montage d'essai, comme illustré à la Figure 6.

Attention: Pendant le réglage du générateur d'essai, toutes les connexions aux accès EUT et EA des réseaux de couplage et de découplage autres que celles exigées (voir Figure 9) doivent être déconnectées pour éviter des courts-circuits ou la destruction de l'équipement de mesure.

Avec le montage mentionné ci-dessus et la procédure de mesure suivante, le générateur d'essai doit être ajusté de façon à ce que l'équipement de mesure fournisse les indications suivantes:

Procédure à suivre pour chaque dispositif de couplage:

- a) appliquer une puissance directe (sans modulation) au dispositif de couplage de sorte que la tension obtenue soit égale à U_{mr} au niveau de l'accès de sortie de l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω ;
enregistrer le niveau du générateur RF P_{gen} et/ou la puissance directe au niveau de la sortie de l'amplificateur de puissance P_{for} et de la tension U_{mr} au niveau de l'accès de sortie de l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω ;
- b) augmenter la fréquence de 1 % de la fréquence actuelle, au maximum;
- c) répéter les étapes a) et b) jusqu'à ce que la fréquence suivante de la séquence dépasse la fréquence la plus élevée (par exemple 80 MHz) de la gamme de l'essai;
- d) à l'aide du niveau enregistré du générateur RF P_{gen} , de la puissance directe P_{for} et de la tension U_{mr} obtenue en a), calculer la puissance directe et/ou la puissance du générateur RF nécessaires pour générer la tension exigée au niveau de l'accès EUT du dispositif de couplage;

- e) afin d'assurer que l'amplificateur n'est pas saturé, le générateur d'essai doit être ajusté pour produire le niveau d'essai désiré U_{mr} à l'aide des données obtenues à l'étape d). Les étapes 1) à 4) ne sont nécessaires que pour le niveau d'essai le plus élevé à utiliser:
- 1) augmenter le niveau du générateur RF de 5,1 dB;
 - 2) enregistrer la nouvelle puissance de sortie fournie au dispositif de couplage $P_{for,inc}$ ou la tension au niveau de l'accès de sortie de l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω $U_{mr,inc}$;
 - 3) calculer la différence $P_{for,inc}-P_{for}$ ou $U_{mr,inc}-U_{mr}$ (échelle log.);
 - 4) si la différence est comprise entre 3,1 dB et 7,1 dB, l'amplificateur est alors dans la gamme tolérée et le système d'essai est suffisant pour réaliser les essais au niveau d'essai sélectionné. Si la différence est inférieure à 3,1 dB ou supérieure à 7,1 dB, l'amplificateur est alors non linéaire et n'est pas adapté aux essais.

L'Annexe J fournit des informations sur la compression du générateur d'essai et la non linéarité de l'amplificateur.

Lors de l'étape a) du processus de réglage, la tension U_{mr} doit être:

$$U_{mr} = U_0 / 6 \begin{pmatrix} +19\% \\ -16\% \end{pmatrix}, \text{ en grandeurs linéaires, ou}$$

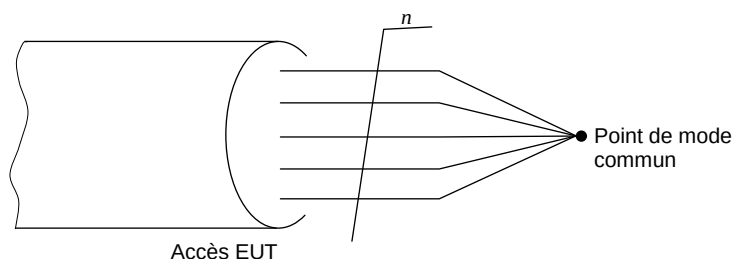
$$U_{mr} = U_0 - 15,6 \text{ dB} \pm 1,5 \text{ dB}, \text{ en grandeurs logarithmiques.}$$

NOTE 3 U_0 est la tension d'essai indiquée dans le Tableau 1 et U_{mr} est la tension mesurée selon 3.12 et la Figure 9. Afin de minimiser les erreurs d'essai, le niveau de sortie du générateur d'essai est fixé en réglant U_{mr} avec des charges de 150 Ω (par exemple avec l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω et la terminaison 50 Ω) et non en réglant U_0 .

NOTE 4 Le facteur 6 (15,6 dB) est issu de la valeur de f.é.m. spécifiée pour le niveau d'essai. Le niveau sur la charge adaptée est égal à la moitié du niveau de la f.é.m. et la division supplémentaire de la tension par 3:1 est déterminée par l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω chargé par l'équipement de mesure 50 Ω .

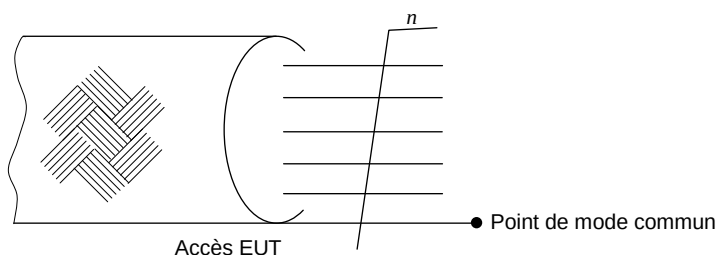
NOTE 5 Dans le cas d'une instrumentation d'essai sans commande de puissance de sortie d'amplificateur, il convient de répéter la procédure pour chaque dispositif de couplage et chaque niveau d'essai cible. Dans le cas des systèmes d'essai avec commande de puissance de sortie d'amplificateur ou lorsque l'on suit la procédure de linéarité d'amplificateur donnée à l'Annexe K, la procédure de 6.4.2 est effectuée pour chaque dispositif de couplage uniquement au niveau d'essai cible le plus élevé.

Les paramètres de commande pour le réglage du générateur d'essai (paramètres logiciels, réglages des atténuateurs, etc.) doivent être enregistrés et utilisés pour les essais.



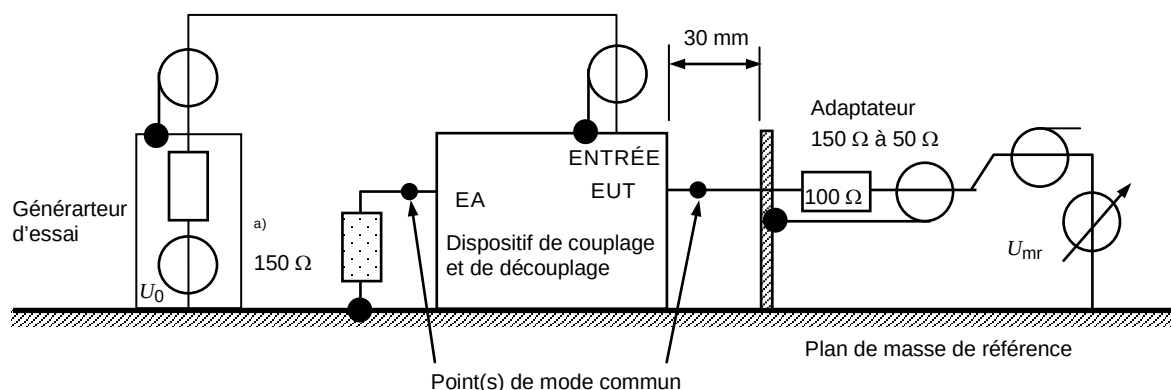
IEC 2602/13

a) Définition d'un point de mode commun avec câbles non blindés



IEC 2603/13

b) Définition d'un point de mode commun avec câbles blindés



IEC 2604/13

Exemples de dispositifs de couplage et de découplage:

- réseaux de couplage et de découplage (RCD);
- réseau d'injection directe (avec découplage);
- dispositif d'injection par pince (pince électromagnétique).

a) La charge de 150 Ω, par exemple un adaptateur 150 Ω à 50 Ω chargé par 50 Ω, au niveau de l'accès EA ne doit s'appliquer qu'aux câbles non blindés (le blindage des câbles blindés doit être raccordé au plan de masse de référence du côté EA).

c) Montage utilisé pour régler le niveau à l'accès EUT des dispositifs de couplage et de découplage

Figure 9 – Montage de réglage du niveau

7 Montage d'essai et méthodes d'injection

7.1 Montage d'essai

Le matériel à soumettre aux essais est placé sur un support isolant à $0,1 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ au-dessus d'un plan de masse de référence. Un support non conducteur à rouleur/roulette placé à environ $0,1 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ au-dessus du plan de masse de référence peut être utilisé comme une alternative à un support isolant. Tous les câbles sortant de l'EUT doivent être soutenus à une hauteur d'au moins 30 mm au-dessus du plan de masse de référence.

Si le matériel est conçu pour être monté en panneau, rack ou coffret, il doit alors être soumis aux essais dans cette configuration. Quand un moyen est exigé pour supporter l'échantillon, le support doit être construit dans un matériau non métallique et non conducteur. La mise à la masse doit être en accord avec les instructions d'installation du fabricant.

Quand des dispositifs de couplage et/ou découplage sont exigés, ils doivent être situés entre 0,1 m et 0,3 m de l'EUT (distance: L dans la présente norme). Cette distance est à mesurer horizontalement, à partir de la projection de l'EUT sur le plan de masse de référence, jusqu'au dispositif de couplage et/ou découplage. Voir les Figures 5, 10 et 11. Les paragraphes 7.2 à 7.8 fournissent des informations plus détaillées.

NOTE Il n'est pas exigé que la distance L soit la même de tous les côtés de l'EUT, mais elle se situe entre 0,1 m et 0,3 m.

7.2 EUT constitué d'une seule unité

L'EUT doit être placé sur un support isolant à 0,1 m au-dessus du plan de masse de référence. Pour les équipements de table, le plan de masse de référence peut être placé sur une table (voir Figure 10).

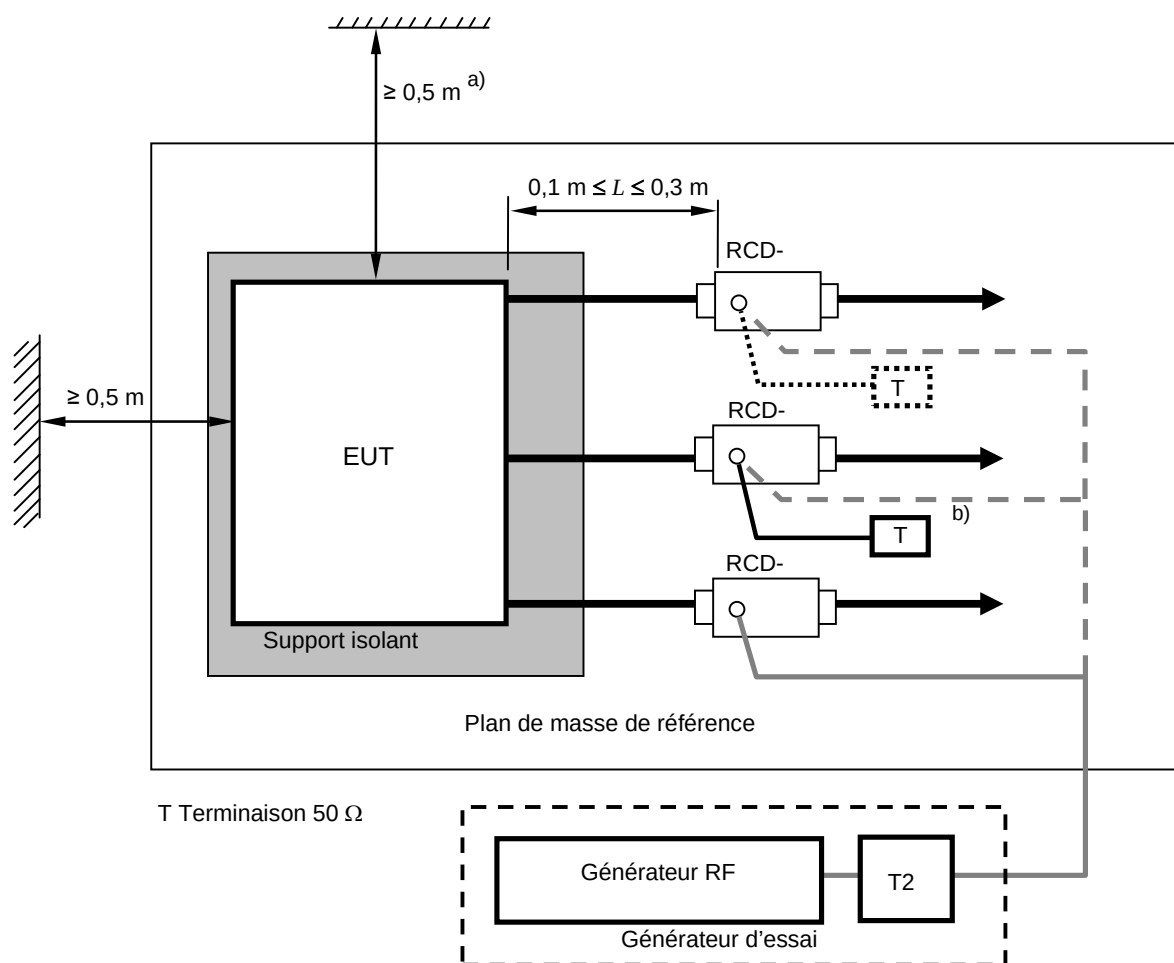
Sur tous les câbles à soumettre aux essais, des dispositifs de couplage et de découplage doivent être insérés (voir 7.4.3). Les dispositifs de couplage et de découplage doivent être placés sur le plan de masse de référence, en contact direct avec celui-ci à environ 0,1 m à 0,3 m de l'EUT. Les câbles situés entre les dispositifs de couplage et de découplage et l'EUT doivent être aussi courts que possible et ne doivent en aucun cas être rassemblés en faisceau ou enroulés. Leur hauteur au-dessus du plan de masse de référence doit être d'au moins 30 mm.

Il convient que le câble d'interface entre l'EUT et l'EA soit le plus court possible.

Si l'EUT est doté d'autres bornes de terre, lorsque cela est autorisé, celles-ci doivent être raccordées au plan de masse de référence via un réseau de couplage et de découplage RCD-M1, voir 6.2.2.2 (c'est-à-dire que l'accès EA du RCD-M1 est alors raccordé au plan de masse de référence).

Si l'EUT est doté d'un clavier ou d'un accessoire portable, la main fictive doit être placée sur ce clavier ou enroulée autour de l'accessoire et raccordée au plan de masse de référence.

Les équipements auxiliaires (EA) exigés pour le fonctionnement défini de l'EUT selon les spécifications du comité de produits, par exemple matériel de télécommunication, modem, imprimante, capteur, etc., ainsi que les équipements auxiliaires nécessaires au transfert de données et à l'évaluation des fonctions, doivent être raccordés à l'EUT via des dispositifs de couplage et/ou de découplage. Dans la mesure du possible, le nombre de câbles à soumettre à l'essai peut être limité, cependant il convient que tous les types d'accès physiques soient soumis à injection.



IEC 2605/13

- a) L'EUT doit être placé à au moins 0,5 m de tout objet métallique qui ne fait pas partie du matériel d'essai.
- b) Seulement un des RCD non utilisé pour l'injection doit être chargé par 50 Ω, donnant une seule voie de retour. Tous les autres RCD doivent être configurés comme des réseaux de découplage.

Figure 10 – Exemple de montage d'essai avec un EUT à une seule unité (vue de dessus)

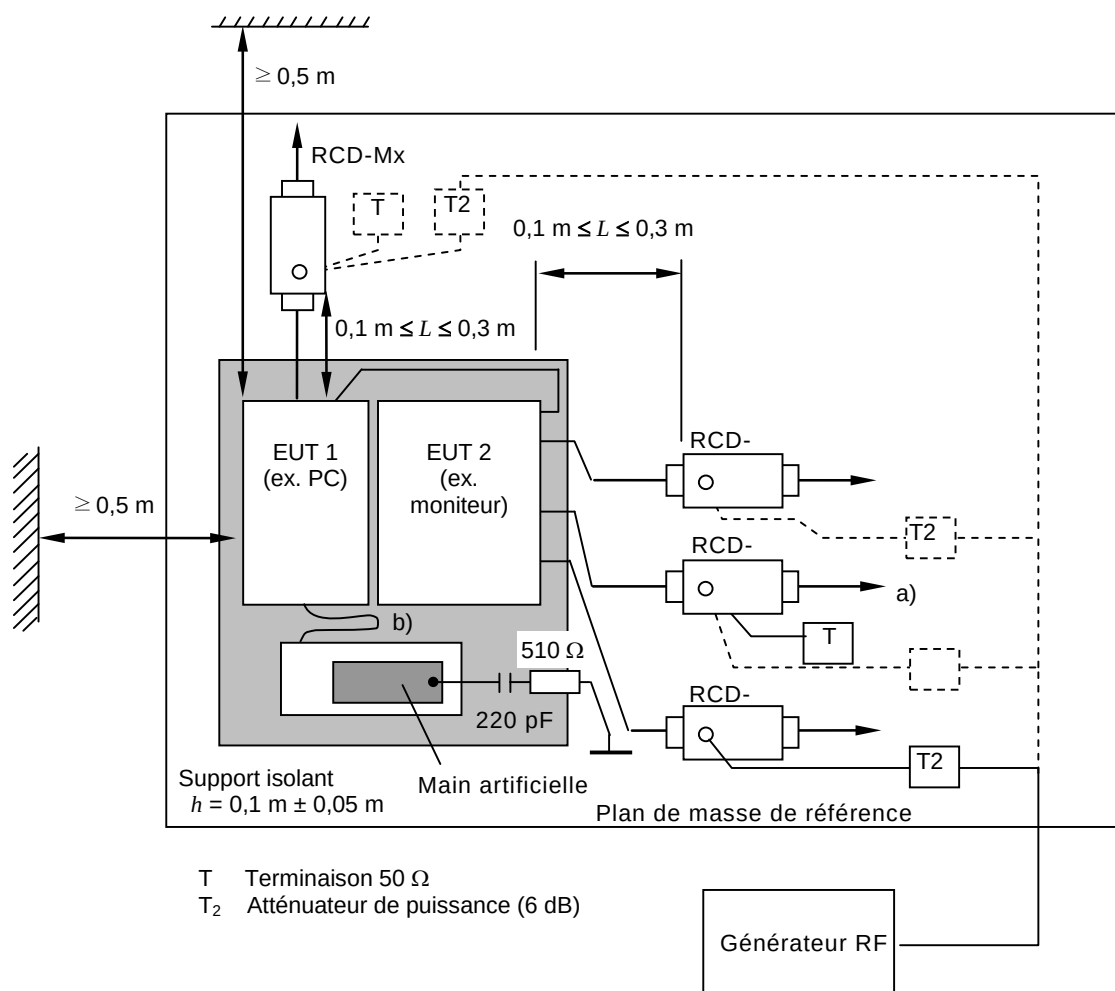
7.3 EUT constitué de plusieurs unités

Les équipements constitués de plusieurs unités interconnectées, doivent être soumis à l'essai suivant l'une des méthodes indiquées ci-après.

- **Méthode recommandée:** Chaque sous-unité doit être traitée et soumise aux essais séparément comme un EUT (voir 7.2), toutes les autres étant considérées comme des équipements auxiliaires (EA). Des dispositifs de couplage et de découplage (ou RCD) doivent être placés sur les câbles (selon 7.4.1) des sous-unités considérées comme l'EUT. Toutes les sous-unités doivent être soumises à l'essai tour à tour.
- **Autre méthode:** Les sous-unités qui sont en permanence raccordées les unes aux autres par des câbles courts, c'est-à-dire ≤ 1 m, et qui font partie de l'équipement à soumettre aux essais, peuvent être considérées comme un seul EUT. Aucun essai d'immunité en conduction ne doit être effectué sur leurs câbles d'interconnexion, ceux-ci étant considérés comme des câbles internes au système. Voir Figure 11.

Les unités qui font partie d'un tel EUT doivent être placées aussi près que possible l'une de l'autre sans être en contact, toutes sur le support isolant. Les câbles d'interconnexion de ces unités doivent aussi être placés sur le support isolant. Tous les autres câbles doivent être soumis à l'essai selon les règles données de 7.4 à 7.8.

L'EUT doit être placé à au moins 0,5 m de tout obstacle métallique qui ne fait pas partie du matériel d'essai.



IEC 2606/13

- a) Seulement un des RCD non utilisé pour l'injection doit être chargé par 50 Ω, donnant une seule voie de retour. Tous les autres RCD doivent être configurés comme des réseaux de découplage.
- b) Les câbles d'interconnexion (≤ 1 m) de l'EUT doivent rester sur le support isolant.

Figure 11 – Exemple de montage d'essai avec un EUT à plusieurs unités (vue de dessus)

7.4 Règles applicables à la sélection des points d'essai et des méthodes d'injection

7.4.1 Généralités

Pour sélectionner le type et le nombre de câbles à fournir avec les dispositifs de couplage et de découplage, on doit prendre en compte la configuration physique des conditions d'installation type, par exemple la longueur probable des câbles les plus longs.

Pour tous les essais, la longueur totale de câble entre l'EUT et l'EA (y compris le câblage interne de tout RCD utilisé) ne doit pas dépasser la longueur maximale spécifiée par le fabricant de l'EUT.

7.4.2 Méthode d'injection

La Figure 12 donne des règles de sélection de la méthode d'injection.

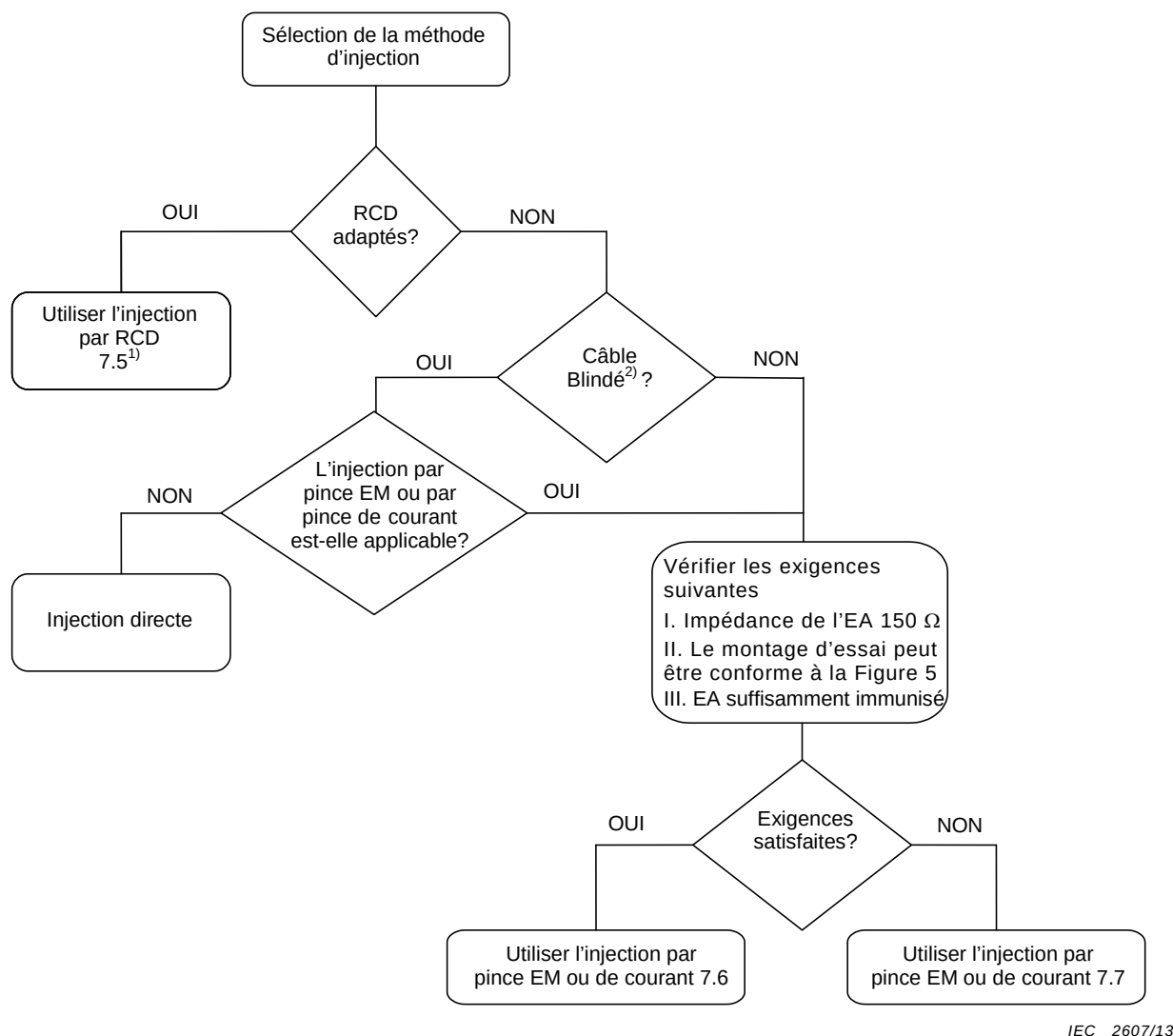


Figure 12 – Règles pour la sélection de la méthode d'injection

Quand cela n'est pas spécifié dans le présent document, l'EUT, y compris les câbles sélectionnés pour l'essai, doit être configuré, installé, disposé et mis en fonctionnement d'une façon cohérente avec les applications types. Des RCD non énumérés dans la présente norme, mais satisfaisant à ses exigences, peuvent aussi être utilisés.

Lorsque plusieurs câbles provenant de l'EUT sont acheminés les uns à proximité des autres sur une longueur de plus de 10 m, ou sont acheminés de l'EUT vers un autre équipement dans un chemin ou conduit de câbles, il convient de les traiter comme un seul câble.

Si un comité de produits décide que certains dispositifs de couplage et de découplage sont plus appropriés aux câbles raccordés à une famille de produits particulière, ce choix (justifié techniquement) a préséance. Ces dispositifs doivent être décrits dans la norme de produit. L'Annexe D donne des exemples de RCD.

7.4.3 Accès à soumettre à l'essai

Pour n'importe quel essai, seuls deux réseaux 150 Ω sont exigés. Le réseau utilisé pour l'injection du signal d'essai peut être déplacé entre les différents accès, au fur et à mesure qu'ils sont soumis à l'essai. Quand un RCD est retiré d'un accès, il peut être remplacé par un réseau de découplage.

Si l'EUT a de multiples accès identiques (mêmes circuits électroniques d'entrée ou de sortie, charges, matériel raccordé, etc.), au moins un de ces accès doit être sélectionné pour l'essai afin d'assurer que tous les types d'accès différents sont couverts.

7.5 Application de l'injection par RCD

Quand l'injection par RCD est effectuée, il est nécessaire de prendre les mesures suivantes.

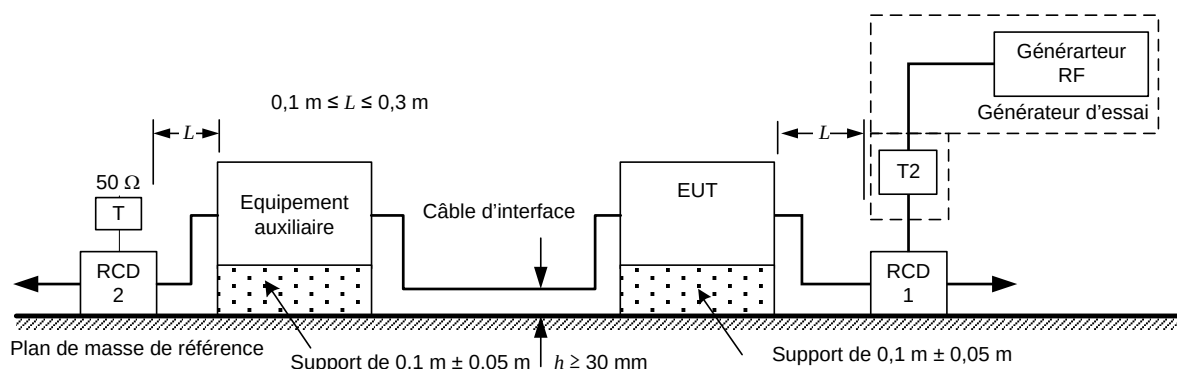
- a) Si l'EA est connecté directement à l'EUT (par exemple aucun découplage sur la connexion qui les relie, ainsi que le montre la Figure 13a)), il est alors placé sur le support isolant $0,1\text{ m} \pm 0,05\text{ m}$ au-dessus du plan de masse de référence et mis à la masse à travers un RCD chargé.

Si de nombreux EA sont directement connectés à l'EUT, un seul doit être chargé de cette façon. Tous les autres EA directement connectés doivent avoir toutes les autres connexions découplées. Cela assure qu'il n'y a qu'une seule boucle chargée par $150\ \Omega$ à chacune de ses extrémités.

- b) Si l'EA est connecté à l'EUT à travers un RCD, sa disposition n'est généralement pas critique et il peut être connecté au plan de masse de référence conformément aux exigences d'installation du fabricant.
- c) Un RCD doit être connecté à l'accès prévu pour être soumis à l'essai, et un RCD chargé par $50\ \Omega$ doit être connecté à un autre accès. Des réseaux de découplage doivent être installés à tous les autres accès auxquels les câbles sont fixés. De cette façon, il y a seulement une boucle, chargée par $150\ \Omega$, à chaque extrémité.
- d) Le RCD à charger doit être choisi selon la priorité suivante:
 - 1) RCD-M1 utilisé pour la connexion de la borne de terre;
 - 2) RCD-M3, RCD-M4 ou RCD-M5 utilisé sur le réseau (équipement de classe I);
 - 3) RCD- S_n ($n = 1,2,3,\dots$): si l'EUT a plusieurs accès RCD- S_n , l'accès le plus proche de l'accès sélectionné pour l'injection (distance géométrique la plus courte) doit être utilisé;
 - 4) RCD-M2 utilisé sur le réseau (équipement de classe II);
 - 5) les autres RCD connectés à l'accès le plus proche de l'accès sélectionné pour l'injection (distance géométrique la plus courte).

NOTE L'Annexe I donne des lignes directrices pour un autre processus d'injection par RCD dans le cas de produits spécifiques.

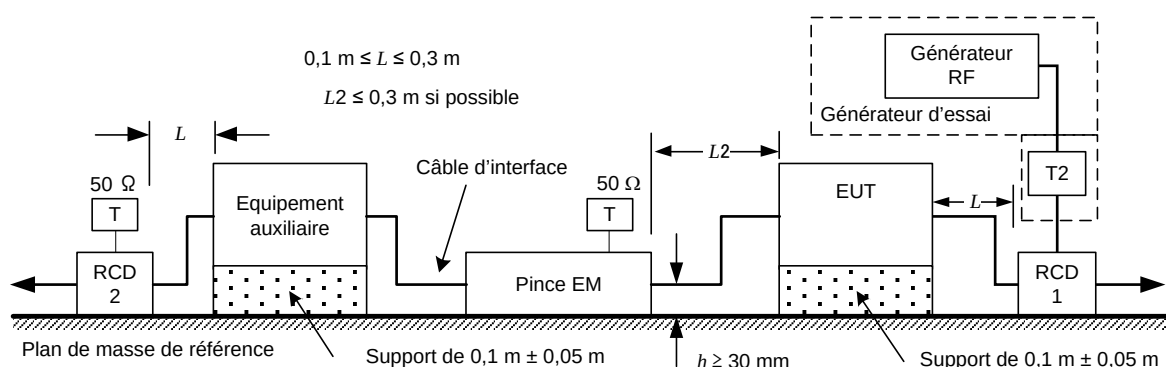
- e) Si l'EUT a seulement un accès, celui-ci est relié au RCD utilisé pour l'injection.
- f) Si l'EUT a deux accès et si seulement un RCD peut être connecté à l'EUT, l'autre accès doit être connecté à un EA dont l'un de ses autres accès est connecté à un RCD chargé par $50\ \Omega$ selon la priorité mentionnée ci-dessus. Toutes les autres connexions de l'EA doivent être découplées (voir la Figure 13a)). Si un EA connecté à l'EUT présente une erreur au cours de l'essai, il convient de connecter un dispositif de découplage (de préférence une pince EM chargée) entre l'EUT et l'EA (voir la Figure 13b)).
- g) Si l'EUT a plus de deux accès et si seulement un RCD peut être connecté à l'EUT, ce dernier doit être soumis à l'essai selon la procédure prévue pour deux accès, mais tous les autres accès EUT doivent être découplés. Si un EA connecté à l'EUT présente une erreur au cours de l'essai, il convient de connecter un dispositif de découplage (de préférence une pince EM chargée) entre l'EUT et l'EA, comme mentionné ci-dessus.



IEC 2607/13

Le câble d'interface est réglé à 1 m si possible.

a) Schéma du montage d'essai pour un EUT à 2 accès connecté à un seul RCD



IEC 2608/13

b) Exemple: schéma du montage d'essai lorsque l'EA présente des erreurs au cours de l'essai

T: Terminaison 50 Ω

T2: Atténuateur de puissance (6 dB)

RCD: Réseau de couplage/découplage

Figure 13 – Essai d'immunité pour EUT à 2 accès (un seul RCD peut être utilisé)

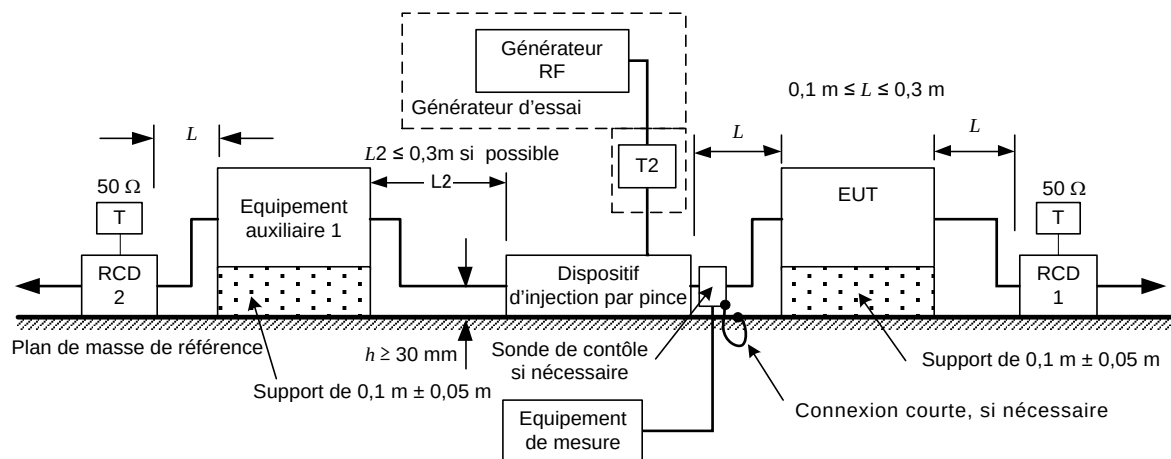
7.6 Application de l'injection par pince lorsque les exigences d'impédance de mode commun peuvent être satisfaites

Lorsque l'injection par pince est utilisée, le montage des équipements auxiliaires (EA) doit présenter le plus précisément possible l'impédance de mode commun exigée en 6.2.1 (voir l'Annexe H). Chaque EA utilisé avec l'injection par pince doit se rapprocher le plus possible des conditions de l'installation fonctionnelle. Pour approcher l'impédance de mode commun exigée, il est nécessaire de prendre les mesures suivantes.

- Chaque EA utilisé au cours de l'injection par pince doit être placé sur un support isolant à 0,1 m au-dessus du plan de masse de référence.
- La pince doit être placée sur le câble à soumettre à l'essai. La pince doit être alimentée avec le niveau du générateur d'essai défini précédemment, lors de la procédure de réglage de niveau.
- Pendant l'essai, une connexion à la terre doit être établie depuis l'écran de l'accès d'entrée de la pince d'injection de courant ou de la borne de terre de la pince électromagnétique au plan de masse de référence (voir Figures 14 et 15).
- Un réseau de découplage doit être installé sur chaque câble situé entre l'EUT et l'EA, excepté sur le câble soumis à l'essai.

- Tous les câbles raccordés à chaque EA, autres que ceux qui sont raccordés à l'EUT, doivent être équipés de réseaux de découplage (voir 6.2.5 et la Figure 5).
- Les réseaux de découplage connectés à chaque EA (sauf ceux qui sont sur les câbles entre l'EUT et l'EA) ne doivent pas être disposés à plus de 0,3 m de l'EA (distance: $L2$). Le ou les câbles entre l'EA et le ou les réseaux de découplage, ou entre l'EA et la pince d'injection ne doivent pas être rassemblés en faisceau ou enroulés, et doivent être maintenus à au moins 30 mm au-dessus du plan de masse de référence (Figure 5).
- A l'une des extrémités du câble en essai se trouve l'EUT, à l'autre se trouve l'EA. De multiples RCD peuvent être connectés à l'EUT et à l'EA; toutefois seulement un RCD sur l'EUT et un RCD sur l'EA doivent être chargés par $50\ \Omega$. La charge du RCD doit être choisie conformément à la priorité indiquée en 7.5.
- Quand plusieurs pinces sont utilisées, l'injection est réalisée sur chaque câble l'un après l'autre sélectionné pour l'essai. Les câbles sélectionnés pour être soumis aux essais avec l'injection par pince, mais non sollicités, doivent être découplés conformément à 6.2.5.

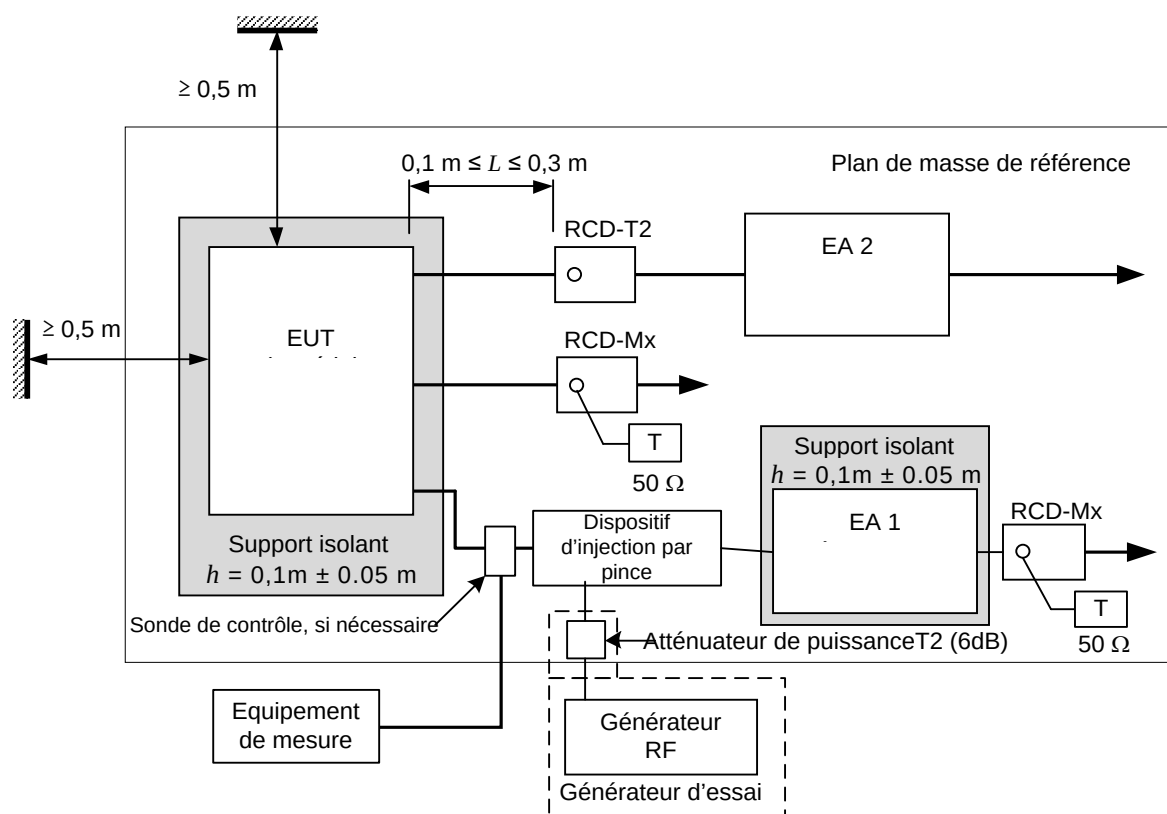
Dans tous les autres cas, il convient de suivre la procédure donnée en 7.7.



IEC 2609/13

NOTE Pour l'utilisation des sondes de contrôle, voir 7.7.

Figure 14 – Principe général d'un montage d'essai utilisant des dispositifs d'injection par pince



IEC 2610/13

NOTE Pour l'utilisation des sondes de contrôle, voir 7.7.

Figure 15 – Exemple de localisation des appareils d'essai sur le plan de masse avec utilisation de pinces d'injection (vue de dessus)

7.7 Application de l'injection par pince lorsque les exigences d'impédance de mode commun ne peuvent être satisfaites

Lorsque l'injection par pince est utilisée et que les exigences d'impédance de mode commun ne peuvent être satisfaites au niveau de l'EA, il est nécessaire que l'impédance de mode commun de l'EA soit inférieure ou égale à l'impédance de mode commun de l'accès EUT soumis à l'essai. Si ce n'est pas le cas, des mesures doivent être prises (par exemple en utilisant un RCD-M1 ou une résistance de 150 Ω entre l'EA et la masse) au niveau de l'accès EA pour satisfaire à cette condition et éviter les résonances. La procédure suivante ne mentionne que les différences pertinentes par rapport aux mesures mentionnées en 7.6.

- Chaque EA et chaque EUT utilisé avec l'injection par pince doit se rapprocher le plus possible des conditions de l'installation fonctionnelle, par exemple l'EUT doit être relié au plan de masse de référence ou placé sur un support isolant (voir Figures 14 et 15).
- Le courant produit par la tension induite (déterminée selon 6.4.1) doit être surveillé au moyen d'une sonde de contrôle du courant (ayant une perte d'insertion faible) insérée entre la pince d'injection et l'EUT. Si le courant dépasse la valeur de courant de circuit nominal $I_{\max}$ donnée ci-dessous, le niveau du générateur d'essai doit être réduit jusqu'à ce que le courant de mesure soit égal à la valeur de $I_{\max}$:

$$I_{\max} = U_0 / 150 \, \Omega$$

Le niveau de la tension d'essai modifiée doit être indiqué dans le rapport d'essai.

Pour assurer la reproductibilité, le montage d'essai doit être complètement décrit dans le rapport d'essai.

7.8 Application de l'injection directe

Quand l'injection directe est utilisée pour les câbles blindés, il est nécessaire de prendre les mesures suivantes.

- L'EUT doit être placé sur un support isolant à 0,1 m au-dessus du plan de masse de référence.
- Sur le câble en cours d'essai, le réseau de découplage doit être situé entre le point d'injection et l'EA, aussi près que possible du point d'injection. Un second accès doit être chargé par 150 Ω (RCD avec charge de 50 Ω). Cet accès doit être choisi conformément à la priorité définie en 7.5. Des réseaux de découplage doivent être installés sur tous les autres câbles connectés à l'EUT. (Quand il est ouvert, un RCD est considéré comme un réseau de découplage).
- Le point d'injection doit se situer entre 0,1 m et 0,3 m de la projection géométrique de l'EUT sur le plan de masse de référence.
- Le signal d'essai doit être injecté directement sur le blindage du câble à travers une résistance de 100 Ω (voir 6.2.4).

Quand on réalise une connexion directe à des blindages en feuille, il convient de faire attention à assurer une bonne connexion afin d'obtenir des résultats d'essai fiables.

8 Procédure d'essai

L'EUT doit être soumis aux essais dans ses conditions climatiques et de fonctionnement prévues.

La réglementation locale relative aux interférences doit être respectée en ce qui concerne les rayonnements émis par le montage d'essai. Si l'énergie rayonnée dépasse le niveau permis, une enceinte blindée doit être utilisée.

NOTE 1 Généralement cet essai peut être effectué sans utiliser d'enceinte blindée. En effet, les niveaux de perturbation appliqués et la géométrie des montages ne sont pas susceptibles de rayonner de grandes quantités d'énergie, en particulier aux fréquences basses.

L'essai doit être effectué avec le générateur d'essai raccordé tour à tour à chacun des dispositifs de couplage (RCD, pince EM, pince de courant). Tous les autres câbles non soumis à l'essai doivent être soit déconnectés (quand c'est fonctionnellement autorisé), soit seulement pourvus de réseaux de découplage ou de RCD non chargés.

Un filtre passe-bas (FPB) et/ou un filtre passe-haut (FPH), (de 100 kHz de fréquence de coupure par exemple), peuvent être exigés à la sortie du générateur d'essai, ceci afin d'éviter que des harmoniques d'ordre supérieur ou des sous-harmoniques ne perturbent l'EUT. Les caractéristiques de la bande d'arrêt des FPB doivent être suffisantes pour supprimer les harmoniques, et ainsi ne pas affecter les résultats. Ces filtres doivent être insérés après le générateur d'essai avant de régler le niveau d'essai (voir 6.1 et 6.4.1).

La gamme de fréquences est balayée entre 150 kHz et 80 MHz, avec les niveaux de signal établis lors du processus de réglage, et avec un signal de perturbation modulé en amplitude à 80 % par une onde sinusoïdale à 1 kHz, en effectuant des pauses pour procéder au réglage du niveau du signal RF ou pour changer les dispositifs de couplage le cas échéant. Lorsque la fréquence est balayée par incréments, la taille des paliers ne doit pas dépasser 1 % de la valeur de la fréquence précédente. Le temps de palier de la porteuse modulée en amplitude pour chaque fréquence ne doit pas être inférieur au temps nécessaire d'application et de réponse de l'EUT, et ne doit en aucun cas être inférieur à 0,5 s. Les fréquences critiques (par exemple les fréquences d'horloge) doivent être analysées séparément.

NOTE 2 Etant donné que l'EUT peut être perturbé par des transitoires se produisant au cours des changements de fréquences, des dispositions nécessitent d'être prises pour l'éviter. Par exemple, avant le changement de fréquence, l'intensité du signal peut être abaissée de quelques dB en dessous du niveau d'essai.

Il convient de tenter d'appliquer à l'EUT tous les stimuli nécessaires pendant l'essai et de vérifier sa susceptibilité dans tous les modes sélectionnés.

L'utilisation d'un programme spécial d'application de stimuli est recommandée.

L'essai doit être effectué conformément à un plan d'essai.

Il peut être nécessaire d'effectuer des essais préliminaires pour établir certains aspects du plan d'essai.

9 Evaluation des résultats d'essai

Les résultats d'essai doivent être classés en tenant compte de la perte de fonction ou de la dégradation des performances du matériel soumis à l'essai, par rapport à un niveau de performance défini par son fabricant ou par le demandeur de l'essai, ou en accord entre le fabricant et l'acheteur du produit. La classification recommandée est la suivante:

- a) performances normales dans les limites spécifiées par le fabricant, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- b) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire des performances cessant après la disparition de la perturbation, après quoi l'EUT retrouve ses performances normales sans l'intervention d'un opérateur;
- c) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire des performances nécessitant l'intervention d'un opérateur;
- d) perte de fonction ou dégradation des performances non récupérable, due à une avarie du matériel ou du logiciel, ou à une perte de données.

La spécification du fabricant peut définir des effets sur l'EUT qui peuvent être considérés comme non significatifs et donc acceptables.

Cette classification peut être utilisée par les comités responsables des normes génériques, de produit et de famille de produits comme un guide pour l'élaboration des critères de performance, ou comme un cadre pour l'accord sur les critères de performance entre le fabricant et l'acheteur, par exemple lorsque aucune norme générique, de produit ou de famille de produits appropriée n'existe.

10 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comprendre toutes les informations nécessaires pour reproduire l'essai. En particulier, ce qui suit doit être indiqué:

- l'identification de l'EUT et de tous les matériels associés, par exemple marque, type de produit, numéro de série;
- la taille de l'EUT;
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EUT;
- si l'EUT est soumis à l'essai comme unité seule ou multiple;
- les types de câbles d'interconnexion, y compris leur longueur, et l'accès d'interface de l'EUT auquel ils étaient connectés;
- toutes les conditions d'utilisation, par exemple longueur ou type de câble, blindage ou mise à la terre, ou les conditions de fonctionnement de l'EUT, qui sont exigées pour l'obtention de la conformité;
- le temps de rétablissement de l'EUT, le cas échéant;
- le type de moyen d'essai utilisé et la position de l'EUT, du ou des EA et des dispositifs de couplage et de découplage;

- l'identification des équipements d'essai, par exemple marque, type de produit, numéro de série;
- les dispositifs de couplage et de découplage utilisés sur chaque câble, et la longueur de leurs câbles internes;
- pour chaque accès d'injection, indiquer quels dispositifs de couplage étaient chargés par 50 Ω ;
- une description de la méthode de mise à l'épreuve de l'EUT;
- toutes les conditions spécifiques nécessaires pour permettre la réalisation de l'essai;
- la gamme des fréquences d'application de l'essai;
- la vitesse de balayage en fréquence, le temps de palier et les pas de fréquences;
- le niveau d'essai appliqué;
- le niveau de performance défini par le fabricant, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- les critères de performance qui ont été appliqués;
- tous les effets observés sur l'EUT pendant ou après l'application de la perturbation, et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté;
- la justification de la décision succès/échec (basée sur le critère de performance spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits, ou dans l'accord entre le fabricant et l'acheteur).

Annexe A (normative)

Pinces EM et pinces de découplage

A.1 Pinces EM

A.1.1 Généralités

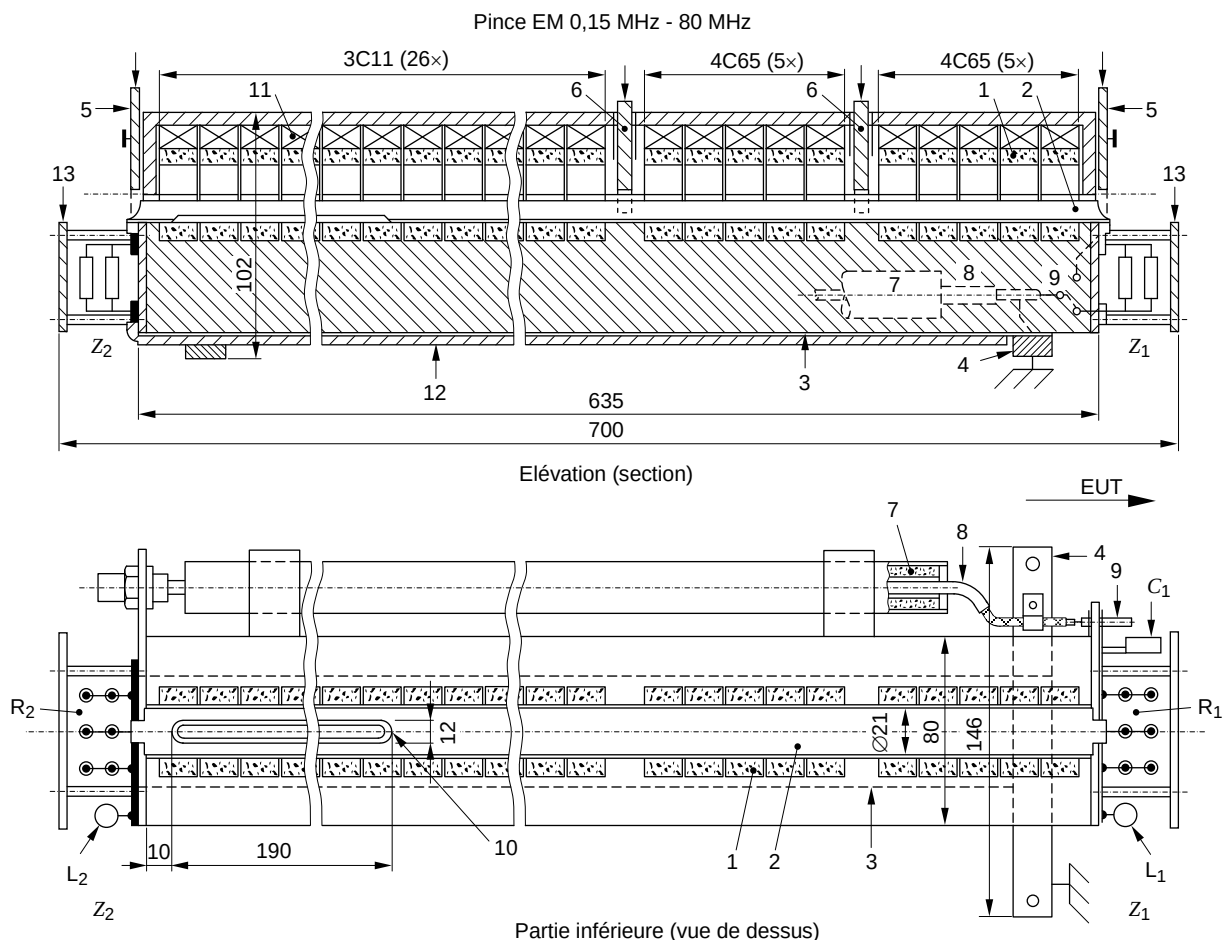
L'Annexe A concerne les exigences relatives aux pinces EM. La pince EM (contrairement aux pinces classiques d'injection de courant) présente une directivité à des fréquences supérieures à plusieurs dizaines de MHz.

A.1.2 Spécification type des pinces EM

Les pinces EM sont utilisées pour l'injection dans les câbles. Les exigences sont:

- gamme de fréquences de fonctionnement: 0,15 MHz à 80 MHz;
- longueur: 650 mm $\pm$ 50 mm;
- hauteur du milieu d'ouverture de la pince au-dessus du plan de masse: 50 mm à 70 mm;
- diamètre d'ouverture de la pince: 20 mm $\pm$ 2 mm;
- point de référence de la pince (distance entre la dimension extérieure et la première bague): < 30 mm;
- la construction et la conception de la pince électromagnétique sont données aux Figures A.1 et A.2;
- les caractéristiques typiques de l'impédance sont illustrées à la Figure A.7;
- les caractéristiques typiques du facteur de découplage sont disponibles à la Figure A.8;
- les caractéristiques typiques du facteur de couplage sont disponibles à la Figure A.11.

NOTE D'autres dimensions physiques de la pince peuvent être utilisées (par exemple, pour soumettre à l'essai des câbles de diamètre plus large) à condition que la pince elle-même satisfasse aux exigences de A.2.



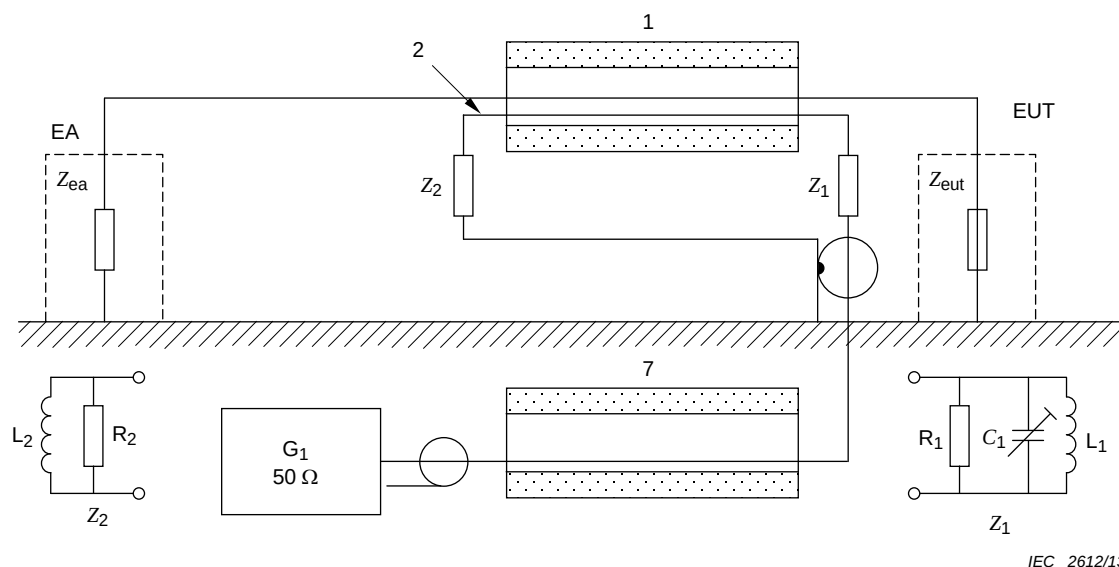
IEC 2611/13

Dimensions en millimètres

Composants

- 1 Bagues de ferrite $\varnothing 36 \text{ mm} \times \varnothing 23 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$
10 bagues, type 4C65, NiZn, $\mu \approx 100$
26 bagues, type 3C11, MnZn, $\mu \approx 4\,300$
- 2 Demi-cylindre en feuille de cuivre collée à la gorge
- 3 Plaque conductrice inférieure
- 4 Barre de mise à la terre
- 5/6 Dispositifs de mise en pression du câble à l'essai dans la gorge
Pièces en matériau isolant avec ressorts de pression (non illustrés)
- 7 Tube de ferrite, 4C65
- 8 Câble coaxial, 50 Ω , avec connecteur BNC
- 9 Commutateur pour la déconnexion de Z_1
- 10 Encoche pour la pièce n°2
- 11 Fixation élastique de la ferrite (demi-anneau supérieur)
- 12 Plaque isolante inférieure
- 13 Plaque de protection pour Z_1 , Z_2
- EUT Matériel en essai
- Z_1 Impédance série: C_1 : 20 pF – 100 pF, L_1 : 0,15 μH , R_1 : 50 Ω / 12 W
- Z_2 Impédance série: L_2 : 0,8 μH , R_2 : 50 Ω / 12 W

Figure A.1 – Exemple: Détails de construction de la pince EM



Composants

- 1 Tube de ferrite (pince) longueur 0,6 m, $\varnothing$ 20 mm, composé de 10 bagues, 4C65 ($\mu \approx 100$) côté EUT et de 26 bagues 3C11 ($\mu \approx 4\,300$) côté EA
- 2 Demi-cylindre en feuille de cuivre
- 7 Tube de ferrite ($\mu \approx 100$) inclus dans la construction de la pince électromagnétique (EM)
- Z_1, Z_2 intégrées pour optimiser la réponse en fréquence et la directivité
- G_1 Générateur d'essai

Principe de la pince électromagnétique (EM):

- couplage magnétique par le tube de ferrite (position 1);
- couplage électrique par proximité entre le câble de l'EUT et la feuille de cuivre (position 2).

Figure A.2 – Exemple: Conception de la pince électromagnétique (EM)

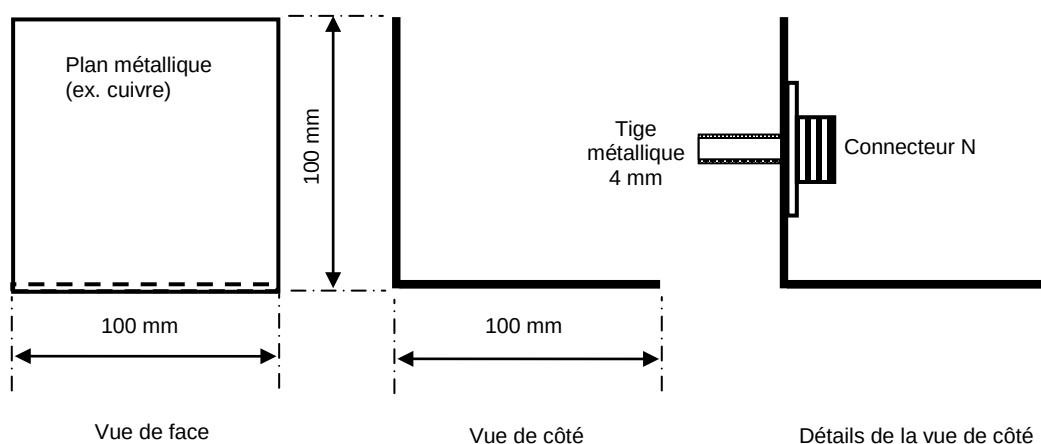
A.2 Caractérisation de la pince EM

A.2.1 Spécification du montage d'essai de la pince

Un montage d'essai utilisé pour mesurer les paramètres S des pinces doit avoir une tige métallique cylindrique sur une plaque métallique (plan de masse de référence) comme indiqué aux Figures A.4 et A.5. Le montage d'essai est constitué de trois sections: une section qui forme une ligne de transmission dans le montage entre les deux plans de référence et deux plans de référence avec des adaptateurs $50\,\Omega$ sans pertes, voir les Figures A.3 à A.5. Pour la caractérisation de la pince EM, une seule tige métallique est utilisée. La longueur de la tige métallique ($L_A + L_B + L_{\text{référence}}$) est fixée de façon à ce que les dimensions de la Figure A.5 puissent être satisfaites.

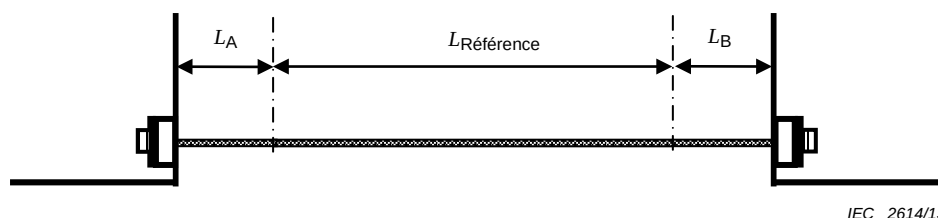
Le diamètre d de la tige cylindrique doit être de 4 mm. La hauteur h au-dessus du plan de masse est définie par les dimensions de la pince. Les valeurs typiques vont de 50 mm à 70 mm. La mesure doit être effectuée à la hauteur définie par la construction de la pince en utilisant la position centrale de l'ouverture de la pince.

La distance entre le point de référence de la pince (1^{ère} bague) et la bride verticale du montage L_A et L_B doit être de $30\,\text{mm} \pm 5\,\text{mm}$ (voir Figure A.5). La taille du plan de masse de référence doit dépasser d'au moins 0,2 m de tous les côtés la géométrie projetée du montage.



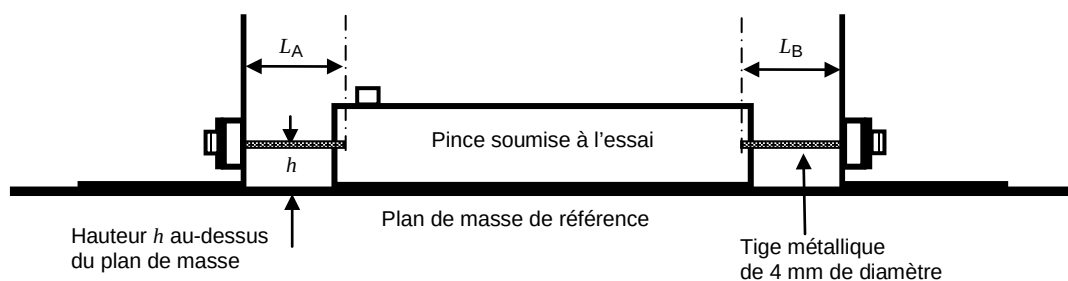
IEC 2613/13

Figure A.3 – Dimension d'un plan de référence



IEC 2614/13

Figure A.4 – Montage d'essai



IEC 2615/13

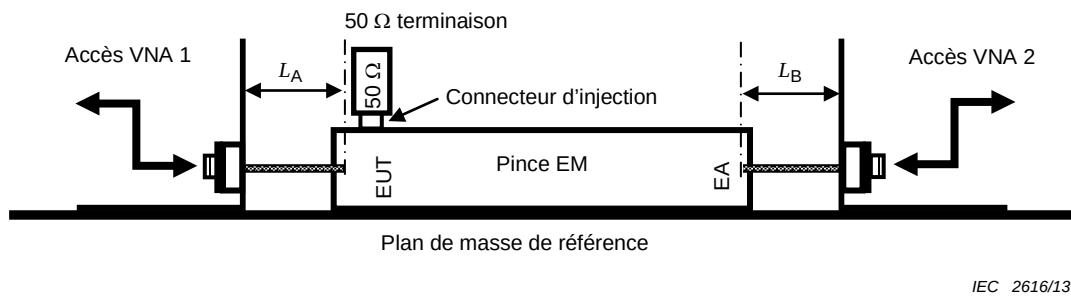
Figure A.5 – Montage d'essai avec pince insérée

A.2.2 Caractérisation de la pince

A.2.2.1 Impédance

A.2.2.1.1 Montage de mesure

Le montage d'essai défini en A.2.1 doit être utilisé pour la mesure de l'impédance. La pince (c'est-à-dire l'accès d'injection) doit être chargée à 50Ω et placée dans le montage d'essai, voir Figure A.6. Pour la mesure de l'impédance, la pince EM est traitée comme un dispositif à 2 accès qui peut être caractérisé par ses paramètres S , S_{11} , S_{12} , S_{21} et S_{22} mesurés dans un système 50Ω à l'aide d'un analyseur de réseau. Avant la mesure, l'analyseur de réseau doit être normalisé aux extrémités du câble (à connecter au montage) à l'aide de la méthode d'étalonnage "Through-Open-Short-Matched" (TOSM) et d'un kit d'étalonnage approprié. La longueur entre l'extrémité du câble et le point de référence de la pince doit être respectée par un accès décalé de l'analyseur de réseau vectoriel (VNA) ou par d'autres moyens.



IEC 2616/13

Figure A.6 – Montage de mesure impédance/facteur de découplage

A.2.2.1.2 Transformation

Les paramètres S obtenus des mesures de l'analyseur de réseau selon A.2.2.1.1 sont mesurés dans un système $50\ \Omega$. Cependant, l'impédance caractéristique Z'_{ref} du montage d'essai est typiquement différente de $50\ \Omega$. Elle est déterminée par la hauteur de l'ouverture de la pince au-dessus du plan de masse. A l'aide de la transformation ABCD, un ensemble de paramètres transformés indépendant de Z_{ref} peut être obtenu grâce aux équations suivantes:

NOTE Tous les calculs sont réalisés avec des nombres complexes.

$$Z_{ref} = 50\Omega \quad (A.1)$$

$$A = \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \quad (A.2)$$

$$B = \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}} Z_{ref} \quad (A.3)$$

$$C = \frac{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12}S_{21}}{2S_{21}} / Z_{ref} \quad (A.4)$$

$$D = \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12}S_{21}}{2S_{21}} \quad (A.5)$$

Sur la base des paramètres ABCD, un ensemble de paramètres S peut être calculé sur la base de l'impédance caractéristique Z'_{ref} du montage d'essai.

$$Z'_{ref} = 60\Omega \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right), \quad (A.6)$$

où

d est le diamètre du conducteur du montage (fixé à 4 mm)

h est la hauteur du centre du conducteur du montage au-dessus du plan de masse

$$B' = B / Z'_{\text{ref}} \quad (\text{A.7})$$

$$C' = C \cdot Z'_{\text{ref}} \quad (\text{A.8})$$

$$S'_{11} = \frac{A + B' - C' - D}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.9})$$

$$S'_{12} = \frac{2(AD - BC)}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.10})$$

$$S'_{21} = \frac{2}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.11})$$

$$S'_{22} = \frac{-A + B' - C' + D}{A + B' + C' + D} \quad (\text{A.12})$$

A.2.2.1.3 Calcul de l'impédance

L'impédance d'entrée est calculée ainsi:

$$Z_{\text{in}} = Z'_{\text{ref}} \frac{1 + S'_{11}}{1 - S'_{11}} \quad (\text{A.13})$$

La Figure A.7 donne des exemples typiques de la courbe d'impédance pour trois pinces EM différentes.

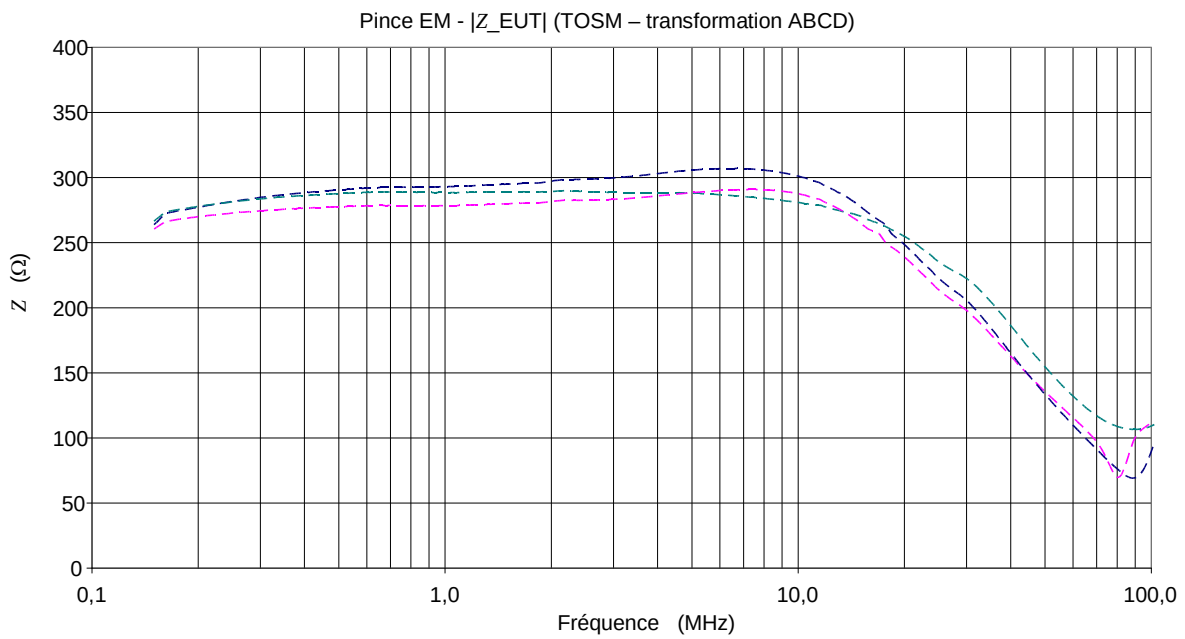


Figure A.7 – Exemples typiques pour l'impédance de pince, 3 pinces typiques

NOTE L'impédance mesurée selon cette procédure est valide dans le cas où l'extrémité du dispositif est chargée par Z_{ref} . Cette valeur peut être différente du fait de l'impédance réelle de l'EA quand la pince est utilisée dans des montages d'essai d'immunité.

A.2.2.2 Facteur de découplage entre l'EUT et l'EA

Le montage de mesure et la transformation doivent s'appliquer comme décrit en A.2.2.1.1 et A.2.2.1.2. Le facteur de découplage est calculé ainsi:

$$a[\text{dB}] = 20 \log_{10} \left(\text{ABS} \left(S'_{21} \right) \right) \quad (\text{A.14})$$

La Figure A.8 donne des exemples typiques de la courbe du facteur de découplage pour trois pinces EM différentes.

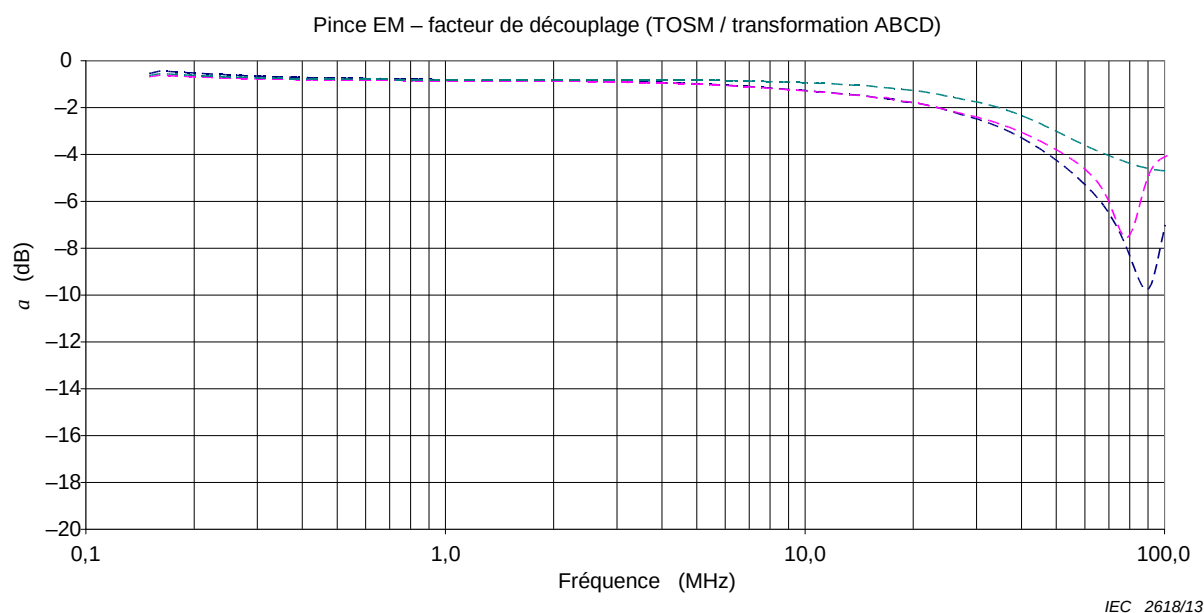


Figure A.8 – Exemples typiques de facteurs de découplage, 3 pinces typiques

A.2.2.3 Facteur de couplage

Le facteur de couplage doit être mesuré dans un système 150Ω selon le montage montré à la Figure A.10. Le montage d'essai décrit en A.2.1 doit être utilisé avec les modifications suivantes: la hauteur de la tige cylindrique doit être ajustée en position inférieure de l'ouverture de la pince. De plus, des adaptateurs 150Ω à 50Ω doivent être insérés dans les plans de référence. Avant la mesure, le montage doit être normalisé en connectant les plans de référence du montage dos à dos, voir la Figure A.9. L'utilisation de deux atténuateurs 10 dB, comme indiqué aux Figures A.9 et A.10, est recommandée.

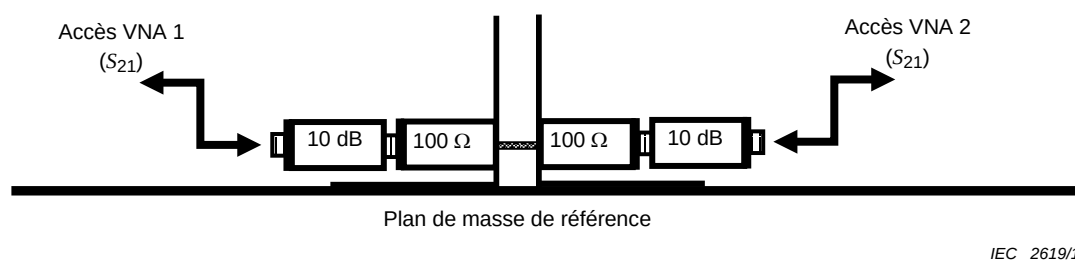
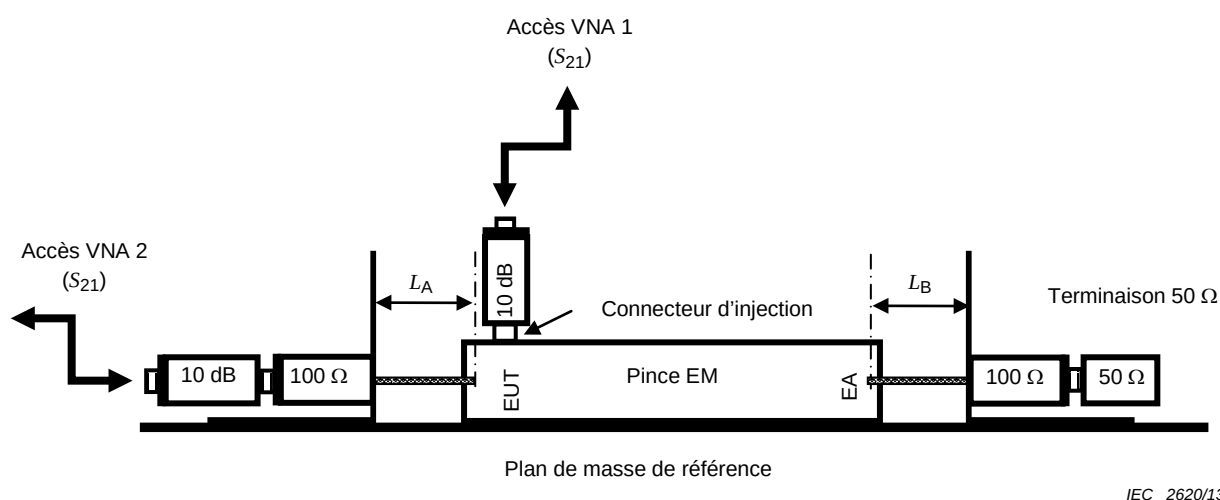


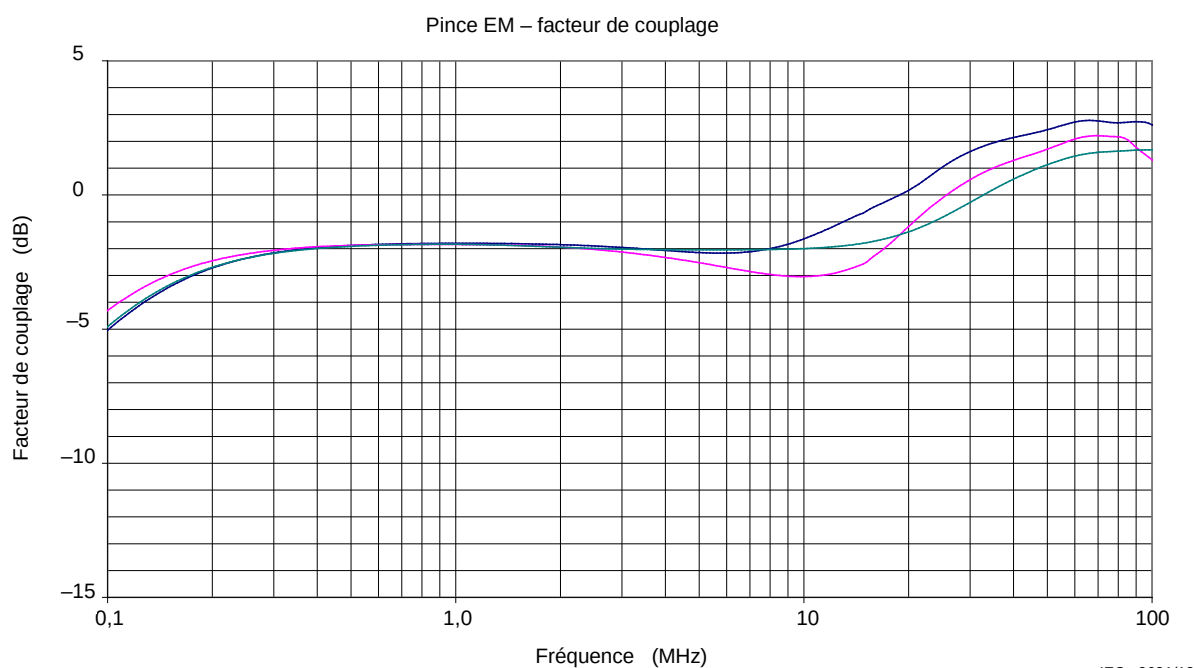
Figure A.9 – Montage de normalisation pour mesure du facteur de couplage



IEC 2620/13

Figure A.10 – Montage de mesure du facteur de couplage S_{21}

La Figure A.11 donne des exemples typiques de la courbe du facteur de couplage pour trois pinces EM différentes.



IEC 2621/13

Figure A.11 – Exemples typiques pour le facteur de couplage, 3 pinces typiques

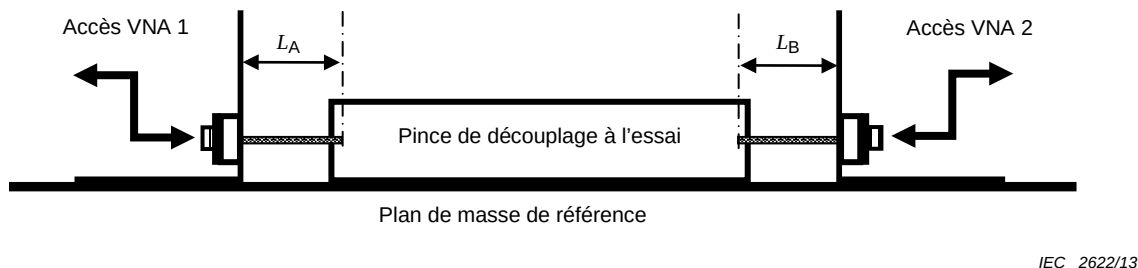
A.3 Caractérisation de la pince de découplage

A.3.1 Impédance

A.3.1.1 Montage de mesure

Le montage d'essai défini en A.2.1 doit être utilisé pour la mesure de l'impédance. La pince de découplage doit être placée dans le montage d'essai, voir la Figure A.12. Pour la mesure de l'impédance, la pince de découplage est traitée comme un dispositif à 2 accès qui peut être caractérisé par ses paramètres S, S_{11} , S_{12} , S_{21} et S_{22} mesurés dans un système 50 Ω à l'aide d'un analyseur de réseau. Avant la mesure, l'analyseur de réseau doit être normalisé

aux extrémités du câble (à connecter au montage) à l'aide d'une méthode TOSM standard et d'un kit d'étalonnage approprié. La longueur entre l'extrémité du câble et le point de référence de la pince de découplage doit être respectée par un accès décalé de l'analyseur de réseau ou par d'autres moyens.



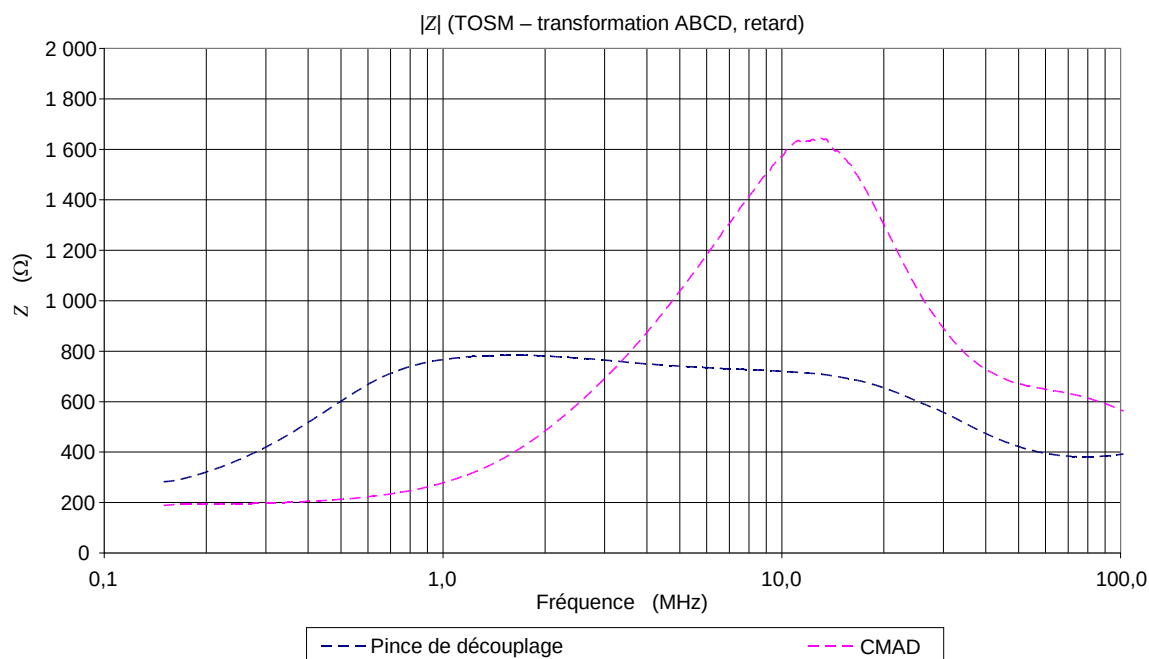
IEC 2622/13

Figure A.12 – Montage de mesure impédance/facteur de découplage

A.3.1.2 Calcul de l'impédance

La transformation décrite en A.2.2.1.2 doit s'appliquer. L'impédance d'entrée est donnée par

$$Z_{in} = Z'_{ref} \frac{1 + S'_{11}}{1 - S'_{11}} \quad (A.15)$$



IEC 2623/13

Figure A.13 – Exemples typiques de l'impédance de pince de découplage

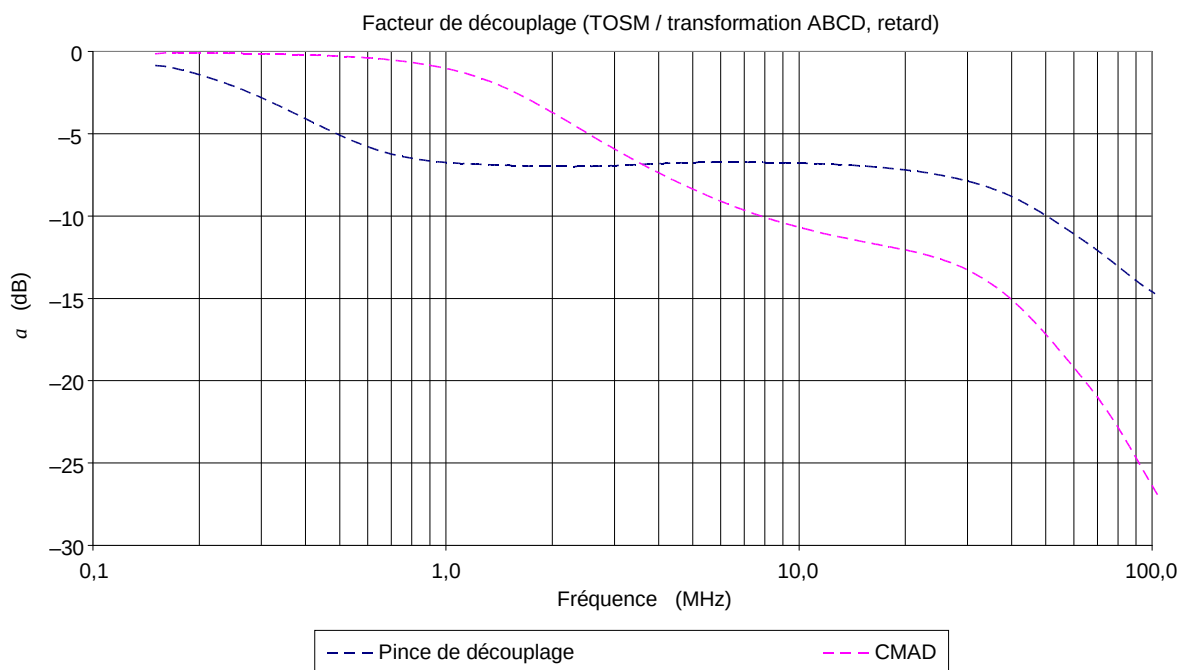
NOTE L'impédance mesurée selon cette procédure est valide dans le cas où l'extrémité du dispositif est chargée par Z_{ref} . Cette valeur peut être différente du fait de l'impédance réelle de l'EA quand la pince est utilisée dans des montages d'essai d'immunité.

A.3.2 Facteur de découplage

Le montage de mesure et la transformation doivent s'appliquer selon A.3.1.1 et A.2.2.1.2. Le facteur de découplage est calculé par

$$a[\text{dB}] = 20 \log_{10} \left(\text{ABS} \left(S'_{21} \right) \right) \quad (\text{A.16})$$

NOTE Le dispositif d'absorption en mode commun (CMAD, *common mode absorption device*) (CISPR 16-1-4) est conçu pour assurer un bon découplage entre 30 MHz et 200 MHz et peut donc être moins approprié pour la gamme de fréquences inférieure exigée par la présente partie de la CEI 61000.



IEC 2624/13

Figure A.14 – Exemples typiques pour les facteurs de découplage

Annexe B (informative)

Critères de sélection pour la gamme de fréquences de l'application

Bien que les exigences de la présente norme soient spécifiées pour la gamme de fréquences de 150 kHz à 80 MHz, la gamme de fréquences applicable dépend des conditions normales d'installation et de fonctionnement des matériels à soumettre aux essais. Par exemple: un petit matériel alimenté par batteries, dont les dimensions totales sont inférieures à 0,4 m et qui n'est raccordé à aucun câble métallique n'a pas besoin d'être soumis aux essais en dessous de 80 MHz car il est peu probable que l'énergie RF induite résultant du champ électromagnétique (EM) perturbateur ne perturbe le dispositif.

En général, la fréquence finale sera de 80 MHz. Dans certains cas, pour des matériels de petite taille (longueur déployée $< \lambda/4$), des normes de produits peuvent spécifier que la fréquence finale soit prolongée jusqu'à un maximum de 230 MHz. Dans ce cas, les dispositifs de couplage et de découplage doivent alors satisfaire au paramètre d'impédance de mode commun vu à l'accès EUT et spécifié au Tableau B.1. Lorsqu'on utilise cette méthode d'essai jusqu'aux plus hautes fréquences, les résultats sont influencés par: la taille des matériels, le ou les types de câbles d'interconnexion utilisés, la disponibilité de RCD spéciaux, etc. Il convient de fournir des indications supplémentaires de bonne application dans les normes de produits.

Tableau B.1 – Paramètre principal de la combinaison du dispositif de couplage et de découplage quand la gamme des fréquences d'essai est étendue au-delà de 80 MHz

Paramètre	Bande de fréquences		
	0,15 MHz à 24 MHz	24 MHz à 80 MHz	80 MHz à 230 MHz
$ Z_{ce} $	$150 \Omega \pm 20 \Omega$	$150 \Omega \begin{smallmatrix} +60\Omega \\ -45\Omega \end{smallmatrix}$	$150 \Omega \pm 60 \Omega$
Ni l'argument de Z_{ce} ni le facteur de découplage entre l'accès EUT et l'accès EA ne sont spécifiés séparément. Ces facteurs sont inclus dans l'exigence qui stipule que la tolérance de Z_{ce} doit être satisfaite, l'accès de l'EA étant en circuit ouvert ou court-circuité au plan de masse de référence. Quand les méthodes d'injection par pince ne répondent pas aux exigences d'impédance de mode commun de l'EA, elles peuvent ne pas satisfaire aux exigences de Z_{ce}. Toutefois, elles peuvent donner des résultats d'essai acceptables lorsque les indications données en 7.7 sont respectées.			

La fréquence initiale dépend de la capacité du matériel équipé de ses câbles à capter une grande quantité d'énergie radioélectrique du champ électromagnétique (EM) perturbateur.

Trois situations différentes sont envisagées.

- a) Un matériel alimenté par batteries (dimension $< \lambda/4$), sans raccordement(s) ni à la terre ni à un autre matériel, et non utilisé lors du chargement des batteries n'a pas besoin d'être soumis aux essais selon la présente norme. S'il fonctionne lors du chargement des batteries, ce sont les cas b) ou c) qui s'appliquent.

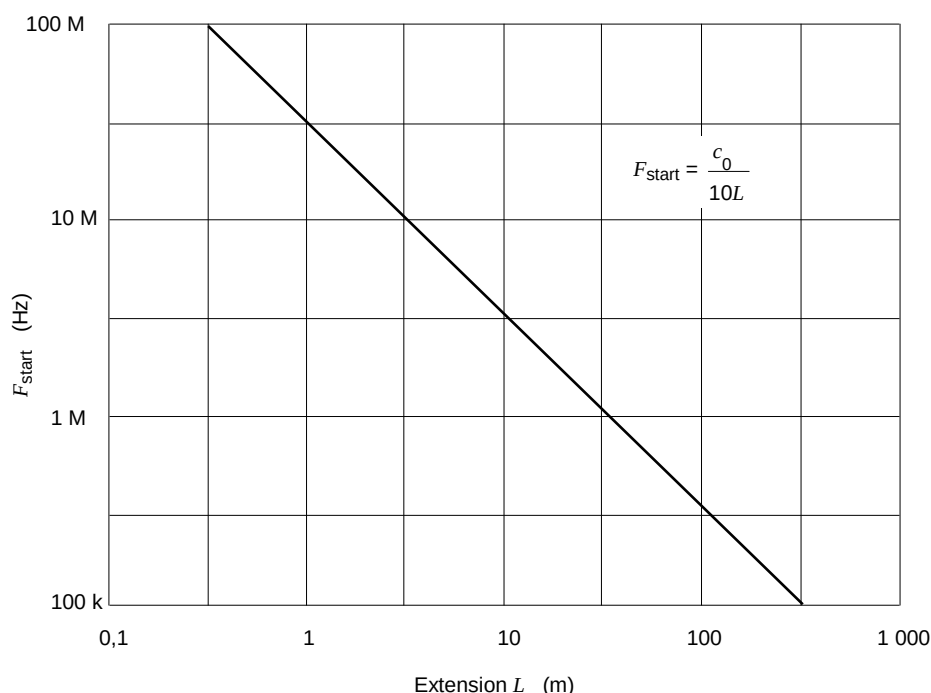
Pour un matériel alimenté par batterie (dimension $\geq \lambda/4$), sa longueur, qui inclut la longueur maximale des câbles qui lui sont raccordés, détermine la fréquence initiale (voir Figure B.1).

- b) Matériel raccordé au réseau (secteur) mais à aucun autre matériel ou câbles.

L'alimentation est fournie à travers un dispositif de couplage/découplage et le matériel est chargé par une main fictive. La fréquence initiale est 150 kHz.

- c) Matériel raccordé au réseau (secteur) et à d'autres matériels, isolés ou non, par des câbles de commande et d'E/S ou de télécommunication.

La fréquence initiale est 150 kHz.



IEC 2625/13

$$c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

L = longueur du câble + taille de l'équipement

Exemples:

- Pour un câble connecté à un clavier (longueur déployée $\geq \lambda/4$) alimenté à partir d'un ordinateur personnel sur batterie, par un câble spiralé d'une longueur de 4 m, il convient d'utiliser une fréquence initiale de 6,67 MHz. Il convient de placer la main fictive sur le clavier. Pour une souris équipée d'un câble de 2 m uniquement, la fréquence initiale serait de 15 MHz, etc.
- Il convient de soumettre aux essais une calculatrice dotée d'un bloc d'alimentation c.a./c.c. du côté secteur du bloc d'alimentation à partir de 150 kHz. Il convient de placer la main fictive sur la calculatrice.
- Il convient de soumettre aux essais un multimètre portable alimenté par batterie et pouvant être relié à la terre sur ses câbles à partir de 150 kHz. Il convient de placer la main fictive sur le multimètre.
- Il convient de soumettre aux essais un lecteur de disques compacts à double isolement alimenté sur secteur et pouvant être raccordé à un récepteur audio, raccordé à des enceintes acoustiques isolées, mais également doté d'une borne d'entrée d'antenne pouvant être raccordée à la terre, sur le câble d'alimentation secteur et sur son ou ses câbles audio à partir de 150 kHz.
- Il convient de soumettre aux essais une alarme antivol dotée de divers capteurs isolés répartis dans un immeuble, dont la longueur maximale de câble est de 200 m (spécification du fabricant) sur ces câbles à partir de 150 kHz.

Figure B.1 – Fréquence initiale en fonction de la longueur des câbles et de la taille des matériels

Annexe C (informative)

Indications pour la sélection des niveaux d'essai

Il convient de sélectionner les niveaux d'essai en fonction de l'environnement de rayonnement électromagnétique auquel l'EUT et les câbles peuvent être exposés dans leur configuration d'installation définitive. Il convient de prendre en compte les conséquences des pannes lors de la sélection du niveau d'essai à utiliser. Il convient qu'un niveau plus élevé soit envisagé si les conséquences d'une panne sont importantes.

Si l'EUT n'est installé que sur un nombre réduit de sites, le contrôle des sources radioélectriques locales permet un calcul de l'intensité des champs susceptibles d'être rencontrés. Si les puissances des sources ne sont pas connues, il peut être possible de mesurer l'intensité réelle du champ à l'endroit ou aux endroits concernés.

Pour les équipements destinés à fonctionner dans des endroits variés, les recommandations suivantes peuvent être suivies lors de la sélection du niveau d'essai à utiliser.

Les classes suivantes se rapportent aux niveaux énumérés à l'Article 5; elles sont considérées comme des lignes directrices générales pour la sélection des niveaux appropriés:

Classe 1: Environnement à rayonnement électromagnétique de bas niveau. Niveaux typiques des stations de radio/télévision situées à une distance de plus de 1 km et niveaux typiques des émetteurs-récepteurs de faible puissance.

Classe 2: Environnement à rayonnement électromagnétique modéré. Des émetteurs-récepteurs portables de faible puissance (typiquement inférieure à des caractéristiques assignées de 1 W) sont utilisés, mais avec des restrictions d'emploi à proximité immédiate des matériels. Environnement commercial typique.

Classe 3: Environnement à rayonnement électromagnétique sévère. Des émetteurs-récepteurs portables (2 W ou plus) sont utilisés à des distances relativement courtes des matériels mais pas à moins de 1 m. Des émetteurs de radiodiffusion de grande puissance se trouvent à proximité immédiate des équipements et des appareils ISM peuvent être situés à proximité. Environnement industriel typique.

Classe X: X est un niveau ouvert qui peut être négocié et spécifié dans les spécifications de matériel ou les normes de matériels.

Les niveaux d'essai décrits sont des valeurs typiques qui sont rarement dépassées dans les endroits décrits. A certains endroits, ces valeurs sont dépassées, par exemple à proximité des émetteurs de grande puissance ou des appareils ISM situés dans le même bâtiment. Dans de tels cas, il peut être préférable de blinder la pièce ou l'immeuble, et d'installer des filtres sur les fils de signaux et de puissance arrivant aux matériels, plutôt que de spécifier l'immunité de tous les matériels à de tels niveaux.

Annexe D (informative)

Informations sur les réseaux de couplage et de découplage

D.1 Caractéristiques fondamentales des réseaux de couplage et de découplage

Il convient que le RCD assure:

- le couplage du signal perturbateur sur l'EUT;
- une impédance stable, vue de l'EUT, indépendante de l'impédance de mode commun de l'EA;
- le découplage de l'EA du signal perturbateur pour éviter toute interférence de l'EA;
- la transparence au signal utile.

Les paramètres exigés pour les réseaux de couplage et de découplage dans la gamme de fréquences de 150 kHz à 80 MHz sont donnés en 6.2.1, et des exemples sont donnés en D.2.

Dans les Figures D.1 à D.7, l'impédance de mode commun, Z_{ce} , est formée par la somme de la résistance interne du générateur d'essai (50 Ω) et de la combinaison en parallèle des résistances obtenue à partir des conducteurs du câble en essai (100 Ω). Grâce à l'utilisation d'une inductance appropriée L ($|\omega L| \gg 150 \Omega$), il convient que les éléments de découplage C_2 n'influencent pas Z_{ce} .

Il convient de placer le centre de l'accès EUT sur le RCD à 30 mm au-dessus du plan de masse de référence. Le câble entre le RCD et l'EUT peut alors représenter une ligne de transmission d'impédance caractéristique d'environ 150 Ω si elle est située à 30 mm au-dessus du plan de masse de référence.

Il convient que l'impédance des condensateurs C_1 , assurant la séparation en courant continu et en BF du générateur d'essai et des différents fils du RCD, soit bien inférieure à 150 Ω dans la gamme de fréquences considérée.

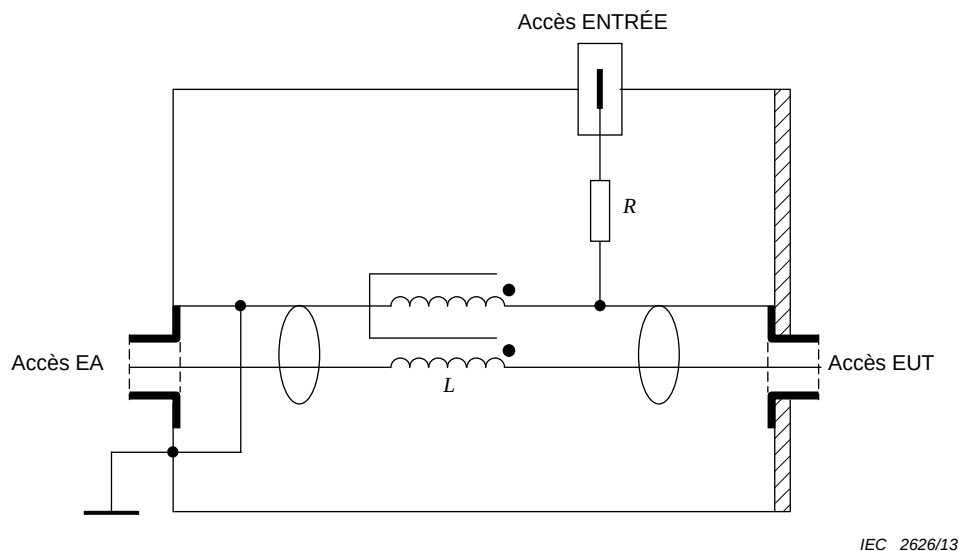
L'EA est découplé par une inductance de mode commun L , et par les condensateurs C_2 pour les câbles non blindés ou par une inductance de mode commun L uniquement. Pour les câbles blindés, les condensateurs C_2 ne sont pas nécessaires car le blindage sera raccordé directement au plan de masse de référence, du côté de l'EA.

Pour les câbles non blindés, il est essentiel de choisir la valeur de C_2 de sorte que le signal utile ne soit pas indûment affecté. Il n'est pas permis que les paramètres des réseaux de couplage et de découplage soient indûment affectés par le signal utile, par exemple par la saturation de la ou des ferrites du RCD-M1.

Attention: C_1 et C_2 réunissant des parties actives dans les réseaux de couplage et de découplage secteur, des condensateurs classe Y appropriés doivent être utilisés. Du fait de la valeur élevée des courants de fuite, les dispositifs RCD doivent comporter, quelles que soient les conditions d'essai, une borne de terre qui doit être reliée au plan de masse de référence. Le plan de masse de référence doit être connecté à la terre de protection de manière appropriée.

D.2 Exemples de réseaux de couplage et de découplage

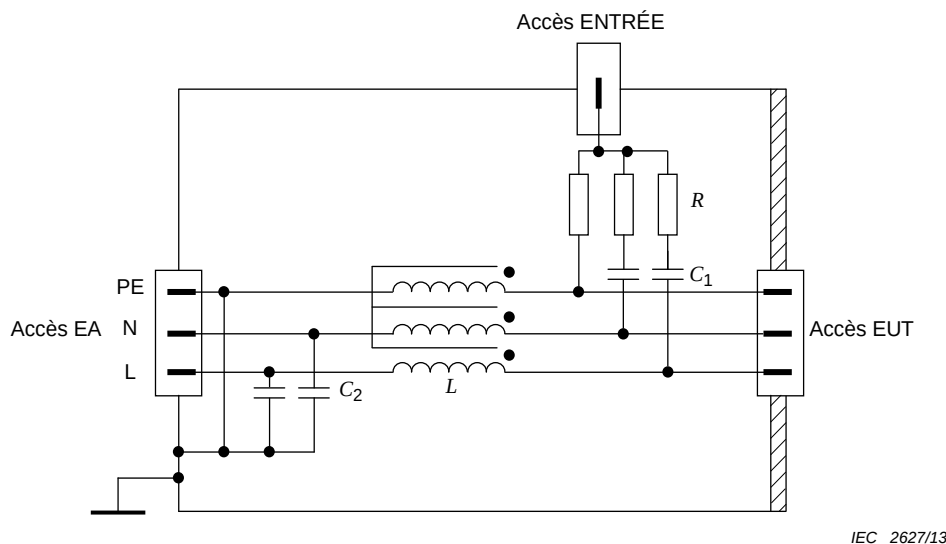
Un certain nombre de possibilités sont proposées dans les Figures D.1 à D.7 car il est impossible de couvrir toutes les exigences fonctionnelles avec un seul RCD.



$$R = 100 \, \Omega$$

$$L \geq 280 \, \mu\text{H} \text{ à } 150 \, \text{kHz}$$

Figure D.1 – Exemple de schéma simplifié pour le circuit de RCD-S1 utilisé avec des câbles blindés (voir 6.2.2.5)

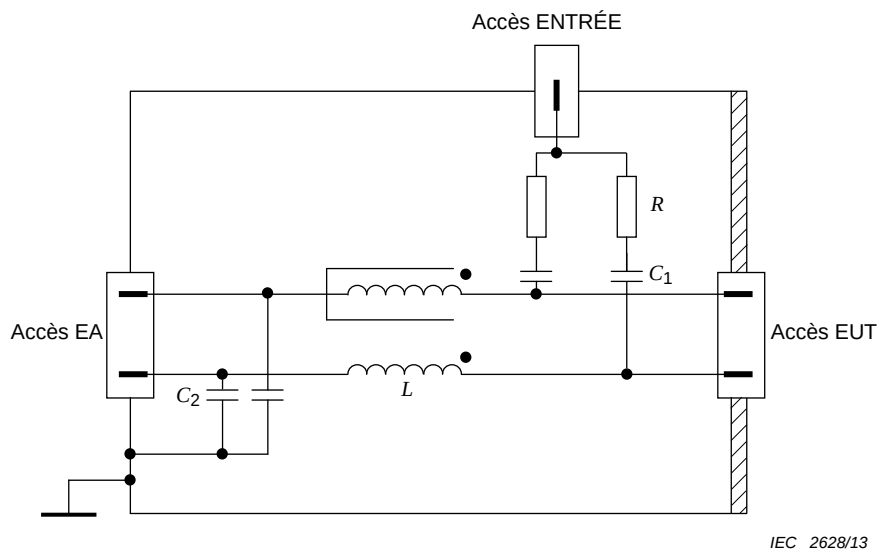


$$\text{RCD-M3, } C_1 \text{ (type)} = 10 \, \text{nF}, C_2 \text{ (type)} = 47 \, \text{nF}, R = 300 \, \Omega, L \geq 280 \, \mu\text{H} \text{ à } 150 \, \text{kHz}$$

$$\text{RCD-M2, } C_1 \text{ (type)} = 10 \, \text{nF}, C_2 \text{ (type)} = 47 \, \text{nF}, R = 200 \, \Omega, L \geq 280 \, \mu\text{H} \text{ à } 150 \, \text{kHz}$$

$$\text{RCD-M1, } C_1 \text{ (type)} = 22 \, \text{nF}, C_2 \text{ (type)} = 47 \, \text{nF}, R = 100 \, \Omega, L \geq 280 \, \mu\text{H} \text{ à } 150 \, \text{kHz}$$

Figure D.2 – Exemple de schéma simplifié pour le circuit de RCD-M1/M2/M3 utilisé avec des lignes d'alimentation (réseau) non blindées (voir 6.2.2.2)



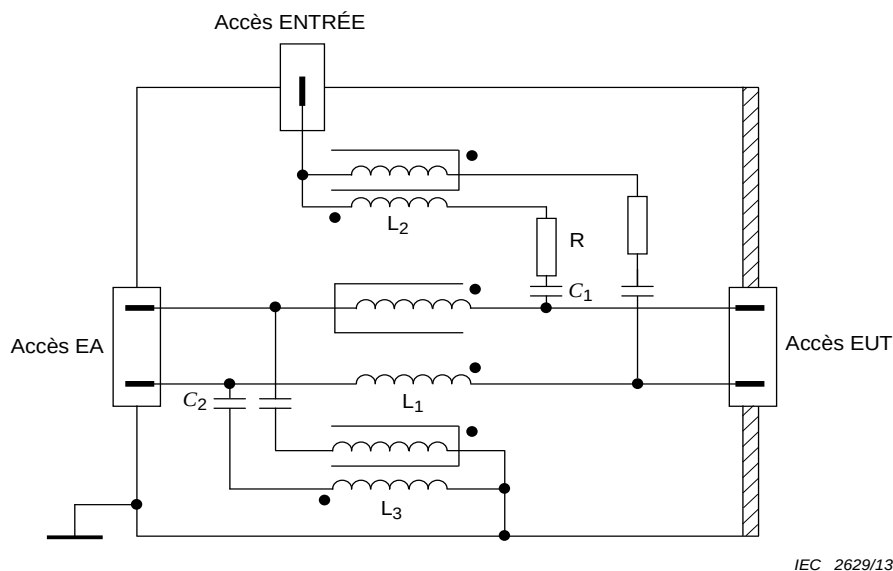
C_1 (type) = 10 nF

C_2 (type) = 47 nF

$R = 200 \, \Omega$

$L \geq 280 \, \mu\text{H}$ à 150 kHz

Figure D.3 – Exemple de schéma simplifié pour le circuit de RCD-AF2 utilisé avec des lignes asymétriques non blindées (voir 6.2.2.4)



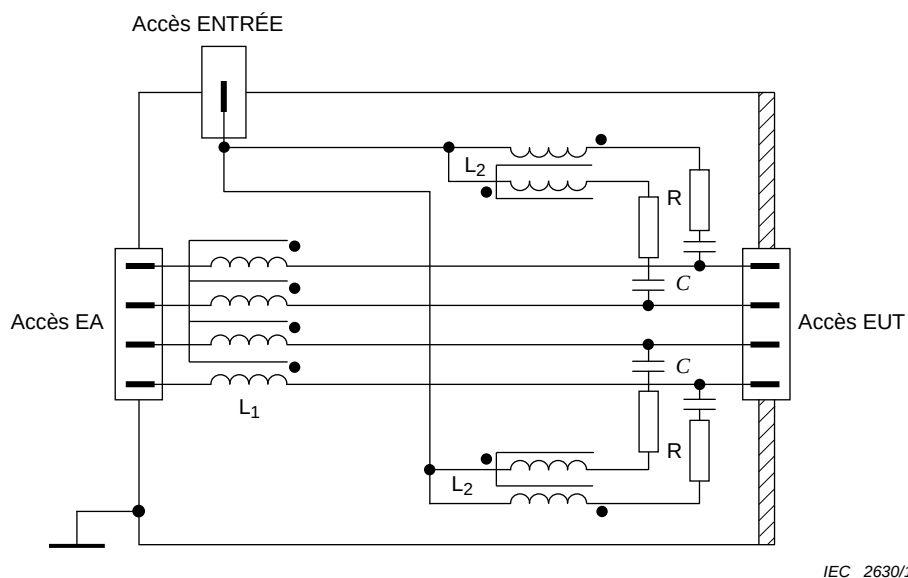
C_1 (type) = 10 nF,

C_2 (type) = 47 nF, $R = 200 \, \Omega$

$L_1 \geq 280 \, \mu\text{H}$ à 150 kHz

$L_2 = L_3 = 6 \, \text{mH}$ (si C_2 et L_3 ne sont pas utilisées, $L_1 \geq 30 \, \text{mH}$)

Figure D.4 – Exemple de schéma simplifié d'un circuit RCD-T2, utilisé avec une paire symétrique non blindée (voir 6.2.2.3)



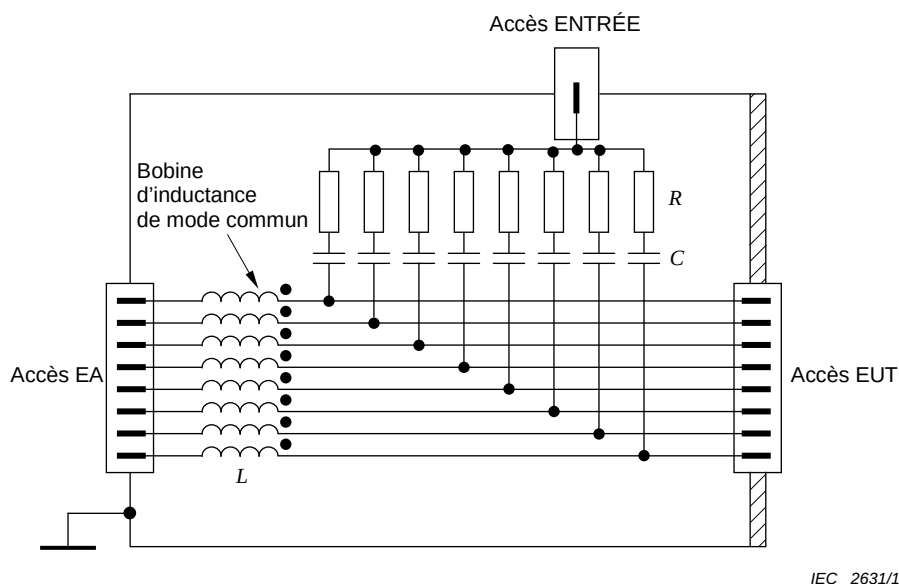
C (type) = 5,6 nF

R = 400 Ω

$L_1 \gg 280 \mu\text{H}$ à 150 kHz

L_2 = 6 mH

Figure D.5 – Exemple de schéma simplifié du circuit d'un RCD-T4 utilisé avec des paires symétriques non blindées (voir 6.2.2.3)

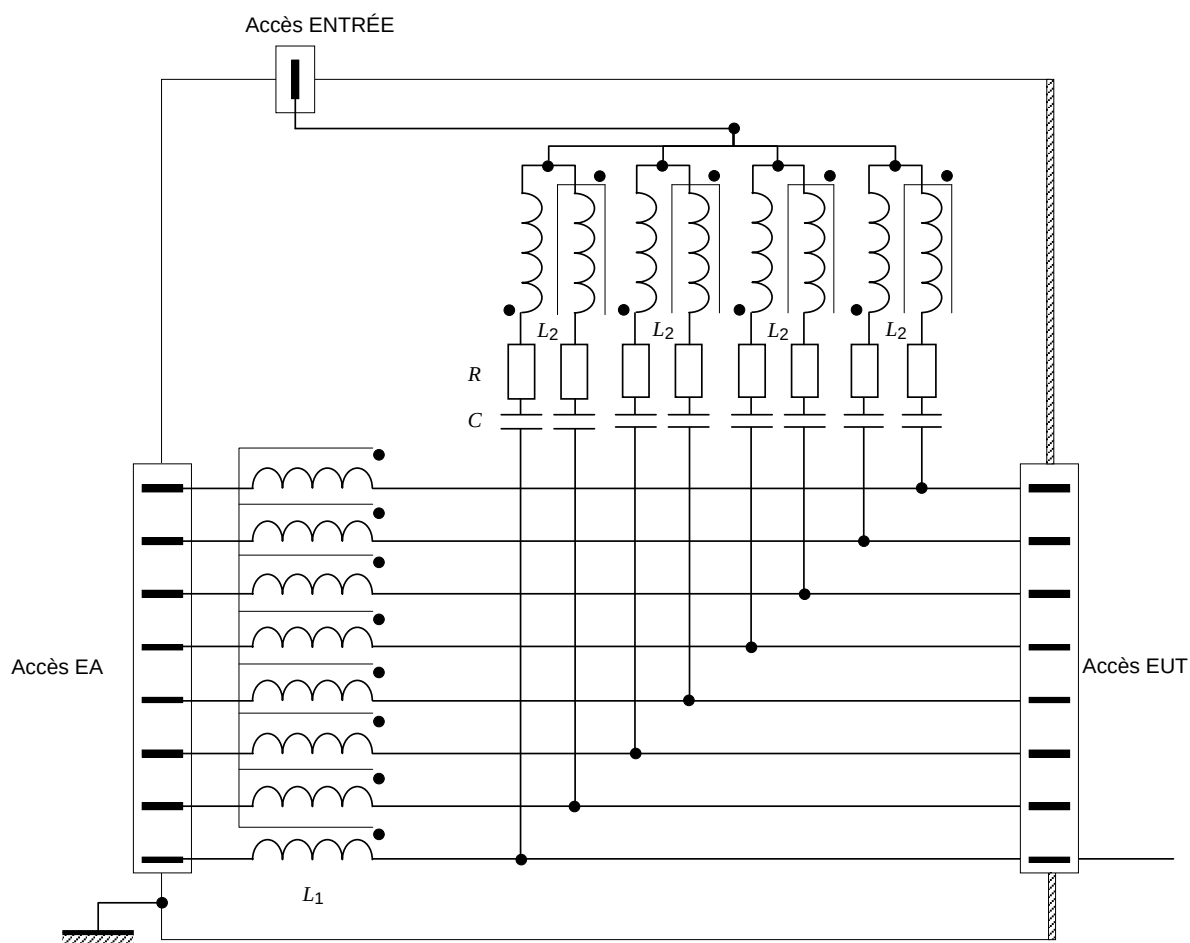


C (type) = 2,2 nF

R = 800 Ω

$L \gg 280 \mu\text{H}$ à 150 kHz

Figure D.6 – Exemple de schéma simplifié du circuit d'un RCD AF8 utilisé avec des lignes asymétriques non blindées (voir 6.2.2.4)



IEC 2632/13

Légende

C (type) = 2,2 nF

$R = 800 \, \Omega$

$L_1 \gg 280 \, \mu\text{H}$ à 150 kHz

$L_2 \gg 6 \, \text{mH}$ à 150 kHz

Figure D.7 – Exemple d'un schéma simplifié du circuit d'un RCD-T8 utilisé avec des paires symétriques non blindées (voir 6.2.2.3)

Annexe E (informative)

Informations sur la spécification du générateur d'essai

La puissance disponible en sortie de l'amplificateur de puissance, AP (Figure 3) est déterminée en prenant en compte l'atténuateur T2 (6 dB), la profondeur de la modulation en amplitude (80 %) (voir Figure 2) et le facteur de couplage minimal du RCD ou de la pince utilisé.

**Tableau E.1 – Puissance de sortie de l'amplificateur de puissance
nécessaire pour obtenir un niveau d'essai de 10 V**

Dispositif d'injection	Facteur de couplage minimal $\pm 1,5$ dB dB	Puissance exigée à la sortie de l'AP W
RCD	0	7
Enroulement de pince de courant (rapport 5:1)	–14	176
Pince EM	–6	28
NOTE Le facteur de couplage est défini en 3.6. Il est possible de le mesurer en utilisant le circuit de réglage du niveau de sortie (voir Figure 9c)). Le facteur de couplage est le rapport obtenu entre la tension de sortie, U_{mr} , lors de l'utilisation d'un dispositif de couplage et de découplage en série avec un adaptateur 150 Ω à 50 Ω et la tension de sortie obtenue en utilisant deux adaptateurs 150 Ω à 50 Ω en série.		

Annexe F (informative)

Montage d'essai pour les grands EUT

F.1 Généralités

Le montage d'essai tel qu'il est décrit dans le corps principal de la présente norme (voir l'Article 7), n'est pas entièrement suffisant pour couvrir les besoins liés à certains grands EUT, avec des câbles entrant ou sortant de l'EUT à des hauteurs supérieures à 1 m. Comme la fréquence supérieure du signal d'essai est 80 MHz, la taille de l'EUT peut être considérable comparativement à la longueur d'onde, et les effets de résonance peuvent survenir avec des câbles connectés à de tels EUT.

Dans ce cas, l'Annexe F fournit une autre méthode d'essai applicable aux grands EUT. Elle place le dispositif de couplage près de l'entrée du câble, donnant ainsi une petite surface de boucle avec des effets de résonance réduits.

Des exemples de grands EUT auxquels l'Annexe F peut s'appliquer comprennent, sans s'y limiter, les suivants:

- systèmes de commutation de télécommunication montés en rack;
- machines électriques;
- appareillage de commutation et de commande monté en rack.

F.2 Montage d'essai pour grands EUT

Des exemples de montage d'essai pour grands EUT sont donnés aux Figures F.1 et F.2.

Le plan de masse de référence surélevé représenté à la Figure F.1 est le plan de masse de référence pour ce montage d'essai. Le plan de masse de référence surélevé a pour but de réduire la longueur de câble entre EUT et RCD et, de ce fait, contrôler ou réduire les effets de résonance dans les câbles.

La taille du plan de masse de référence surélevé doit être suffisamment grande pour s'étendre à un minimum de 0,2 m au-delà de tous les RCD utilisés au cours de l'essai. La longueur de câble en essai entre l'EUT et le RCD doit être de 0,3 m au maximum.

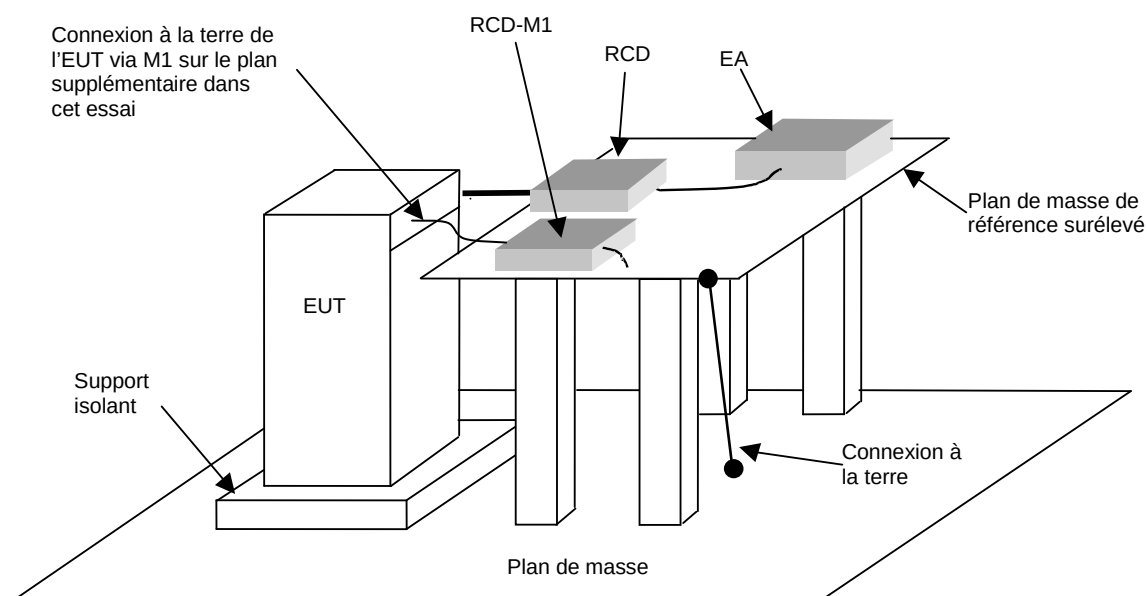
Le plan de masse de référence surélevé doit être placé au-dessus du plan de masse principal à une hauteur permettant que les câbles venant de l'EUT passent selon un alignement horizontal vers les RCD.

Le plan de masse de référence surélevé doit être connecté électriquement à la terre pour des raisons de sécurité. Cette connexion n'est pas importante d'un point de vue RF.

NOTE 1 La construction physique du plan de masse de référence surélevé ainsi que la structure qui le supporte afin de permettre des conditions mécaniques sans danger, sont importants.

Il convient de disposer l'équipement à soumettre aux essais sur un support isolant à 0,1 m $\pm$ 0,05 m au-dessus du plan de masse. Dans le cas où l'équipement est fourni sur une palette de transport et si, du fait de son poids excessif ou de sa taille, il ne peut pas être retiré de sa palette sans danger, l'EUT peut y être laissé pour l'essai même si sa hauteur dépasse 0,1 m $\pm$ 0,05 m. Si pour des raisons de taille ou de poids, l'équipement ne peut pas être élevé à 0,1 m $\pm$ 0,05 m, une isolation plus fine peut être utilisée, dans la mesure où l'EUT est isolé électriquement du plan de masse. Tout écart par rapport à la méthode standard d'essai doit être indiqué dans le rapport d'essai.

L'EA peut être situé sur le plan de masse de référence surélevé mais n'a pas besoin de s'y trouver s'il est connecté à l'EUT via un RCD. Quand l'injection directe est employée, l'EA peut être placé en dehors du plan de masse de référence surélevé à condition que le découplage adéquat soit utilisé. Dans le cas où l'injection par pince est employée à la place de l'injection par RCD, l'EA doit être placé sur le plan de masse de référence surélevé.



IEC 2633/13

Figure F.1 – Exemple de montage d'essai de grand EUT avec plan de masse de référence horizontal surélevé

Le plan de masse de référence vertical représenté à la Figure F.2 est le plan de masse de référence pour ce montage d'essai. Le plan de masse de référence vertical a pour but de réduire la longueur des câbles entre l'EUT et le RCD et, de ce fait, de contrôler ou de réduire les effets de résonance dans les câbles.

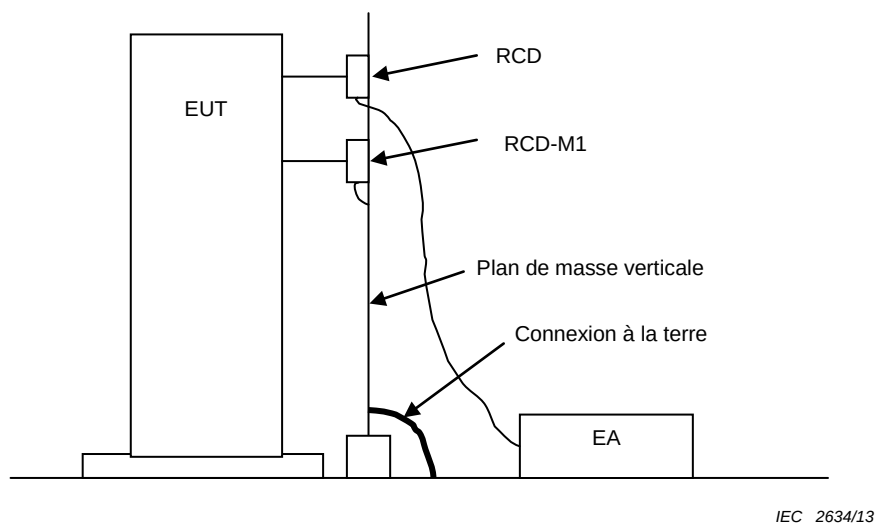
NOTE 2 Le plan de masse de référence vertical peut être plus approprié que le plan de masse de référence horizontal surélevé dans le cas où des câbles entrent/sortent de l'EUT à des hauteurs multiples ou lorsqu'un seul RCD est utilisé.

Le plan de masse de référence vertical doit être connecté électriquement à la terre pour des raisons de sécurité. Cette connexion n'est pas importante d'un point de vue RF.

La taille du plan de masse de référence vertical doit être suffisamment grande pour s'étendre à un minimum de 0,2 m au-delà de tous les RCD utilisés au cours de l'essai. Dans le cas d'un EUT n'ayant qu'une ligne, le plan de référence vertical doit s'étendre jusqu'au sol et y être raccordé par une faible inductance. La longueur de câble en essai entre l'EUT et le RCD doit être d'au maximum 0,3 m. La distance entre l'EUT et le plan de masse de référence vertical doit être telle que l'exigence de 0,3 m de longueur de câble puisse être satisfaite. Une paroi de chambre blindée peut être utilisée en guise de plan de masse de référence vertical.

Les RCD doivent être montés sur le plan de masse de référence vertical à une hauteur qui permette aux câbles venant de l'EUT de passer selon un alignement horizontal vers les RCD.

Les énoncés donnés pour le montage d'essai utilisant un plan de masse de référence horizontal surélevé (c'est-à-dire support isolant et position de l'EA) s'appliquent en conséquence au montage d'essai utilisant un plan de masse de référence vertical.



**Figure F.2 – Exemple de montage d'essai de grand EUT
avec plan de masse de référence vertical**

Annexe G (informative)

Incertitude de mesure du niveau d'essai de tension

G.1 Généralités

L'Annexe G fournit des informations relatives à l'incertitude de mesure (IM) de la tension produite par l'instrumentation d'essai en fonction des besoins particuliers de la méthode d'essai contenue dans le corps principal de la présente norme. Davantage d'informations sur l'IM peuvent être trouvées en [1,2, 3]¹.

L'Annexe G prend pour exemple les incertitudes de réglage du niveau et montre comment un budget d'incertitude peut être préparé sur la base de l'incertitude d'instrumentation de mesure et de la procédure de réglage du niveau d'essai de tension décrite en 6.4. D'autres paramètres de la grandeur de perturbation (par exemple la fréquence de modulation, la profondeur de modulation, etc.) peuvent être d'égale importance et il convient qu'ils soient aussi pris en considération par le laboratoire d'essai le cas échéant. La méthodologie décrite dans l'Annexe G est considérée comme étant applicable à tous les paramètres de la grandeur de perturbation.

Le sujet de l'Annexe G est l'évaluation de l'IM du niveau de tension défini dans le cas d'une impédance d'EUT 150 Ω , telle qu'exigée par la procédure de réglage du niveau d'essai en 6.4. L'analyse des questions de non reproductibilité, relative aux essais réalisés par différents laboratoires sur le même EUT, ne fait pas partie du domaine d'application de l'Annexe G.

G.2 Symboles généraux

Les symboles généraux qui figurent dans le Tableau G.1 et sont énumérés ci-dessous constituent un sous-ensemble de ceux définis en [1].

X_i	grandeur d'entrée
x_i	estimation de X_i
$u(x_i)$	incertitude type de x_i
c_i	coefficient de sensibilité
y	résultat d'une mesure, (estimation du mesurande), corrigé pour tous les effets systématiques significatifs reconnus
$u_c(y)$	incertitude type (composée) de y
$U(y)$	incertitude élargie de y
k	facteur d'élargissement
δX_i	correction pour la quantité d'influence X_i

G.3 Budgets d'incertitude pour les méthodes d'essai

G.3.1 Définition du mesurande

Le mesurande est le niveau d'essai en circuit ouvert U_0 tel que défini à l'Article 5.

¹ Les nombres entre crochets font référence aux documents de référence à la fin de l'Annexe G.

NOTE U_0 est la tension fournie via un dispositif de couplage à une charge de $150\ \Omega$ pour une fréquence spécifique comprise entre 150 kHz et 80 MHz. Pour les besoins des incertitudes de mesure, elle est exprimée en dB(μ V).

G.3.2 Contributeurs de l'IM du mesurande

Les diagrammes d'influences suivants (Figures G.1 à G.4) donnent des exemples de grandeurs d'influence sur le niveau d'essai de tension. Il convient de comprendre que ces diagrammes ne sont pas exhaustifs. Les contributeurs les plus importants des diagrammes d'influences ont été sélectionnés pour les exemples de calcul du budget d'incertitude des Tableaux G.1 à G.8. Ces contributeurs, énumérés dans les Tableaux G.1 à G.8, doivent au minimum être utilisés pour calculer les incertitudes de mesure de manière à obtenir des budgets comparables pour des sites d'essai ou des laboratoires différents. On prend en compte le fait qu'un laboratoire peut inclure des contributeurs additionnels (par exemple, de type A) dans le calcul de l'incertitude de mesure, sur la base de ses conditions particulières.

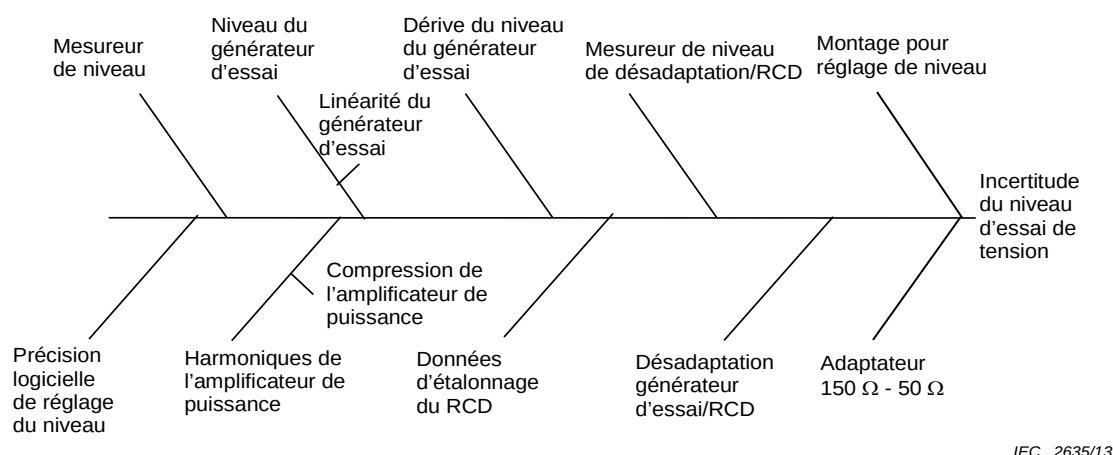


Figure G.1 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension avec RCD

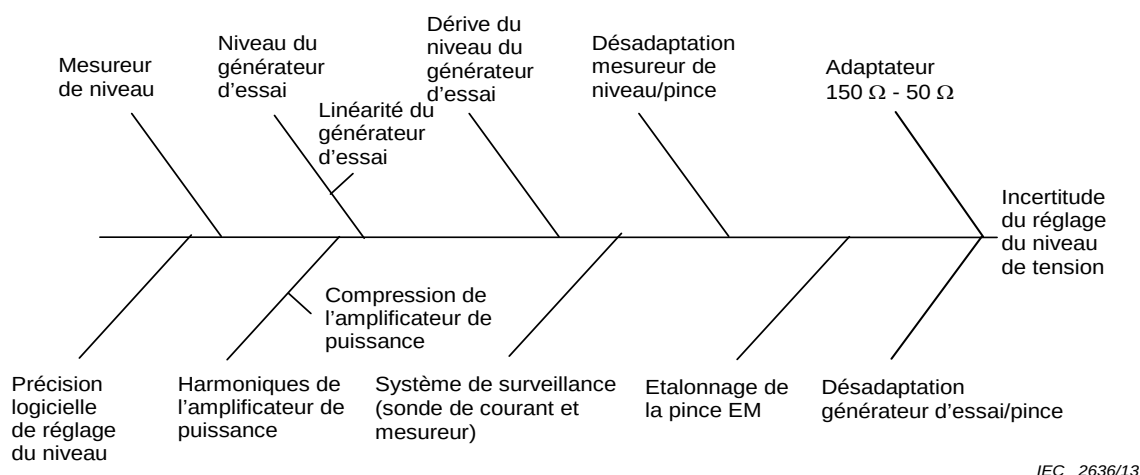


Figure G.2 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension avec pince EM

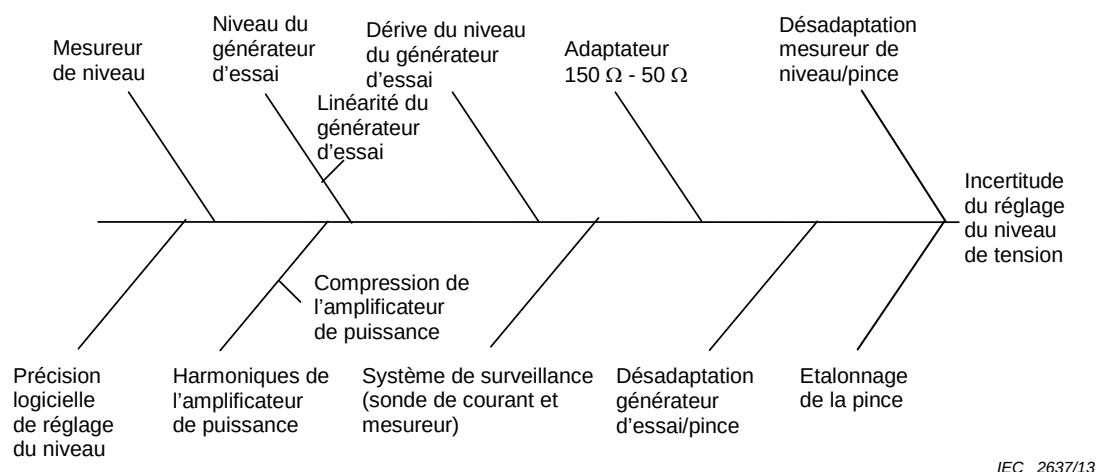


Figure G.3 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension avec pince de courant

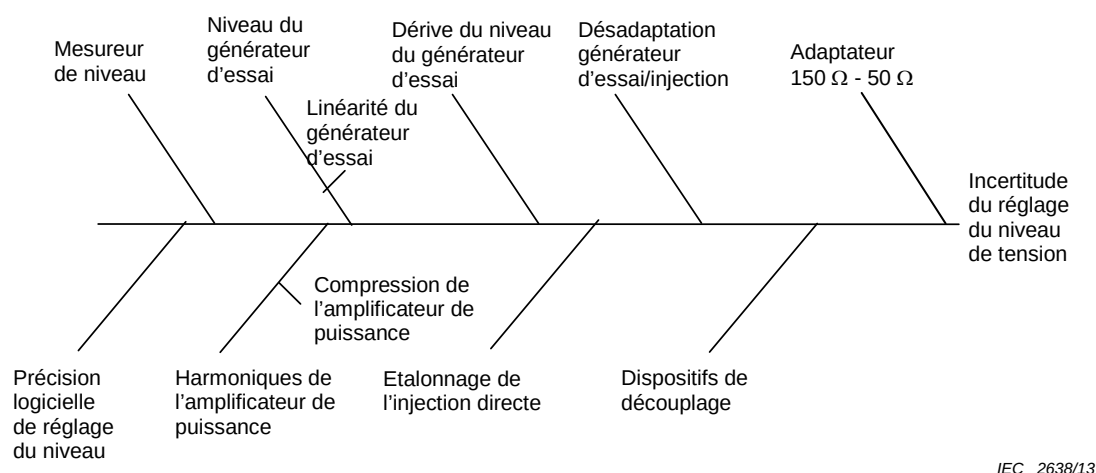


Figure G.4 – Exemple d'influences sur le niveau d'essai de tension par injection directe

G.3.3 Grandeurs d'entrée et exemples de calcul de l'incertitude élargie

Les exemples ci-dessous partent du principe que la même instrumentation est utilisée pour la procédure de réglage du niveau d'essai et pour la génération du niveau d'essai de la tension (le montage de mesure utilisé pour le réglage de niveau d'essai est celui décrit à la Figure 9c) et à la Figure G.5), à l'exception de l'équipement de mesure, non utilisé pendant l'essai. Cependant, les contributions à l'incertitude qui peuvent exister, si une instrumentation différente est utilisée, sont montrées dans les tableaux, mais leurs valeurs sont fixées à zéro (voir les notes sous les Tableaux G.1 à G.8).

Il faut donc reconnaître que les contributions qui s'appliquent au processus de réglage de niveau et à l'essai peuvent ne pas être les mêmes. Cela donne des budgets d'incertitude (légèrement) différents pour chacun des processus.

Les Tableaux G.1 à G.8 donnent des exemples de budgets d'incertitude pour le réglage du niveau de tension. Chaque budget d'incertitude est composé de deux parties, l'incertitude de réglage du niveau et l'incertitude d'essai. Le processus de réglage du niveau détermine la relation entre U_x et U_{mr} . (Voir Figure G.1.) Au cours du processus d'essai, U_x est reproduit.

Fonction modèle pour le processus de réglage du niveau de tension RCD (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques):

$$U_0 = U_{LMc} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_c + \delta RCAL + \delta SETUP + \delta SW_c + \delta ML$$

Explication des contributions:

U_{LMc} Indication de tension U_{mr} donnée par le mesureur de puissance directement exprimée en dB(μ V) ou convertie en dB(μ V).

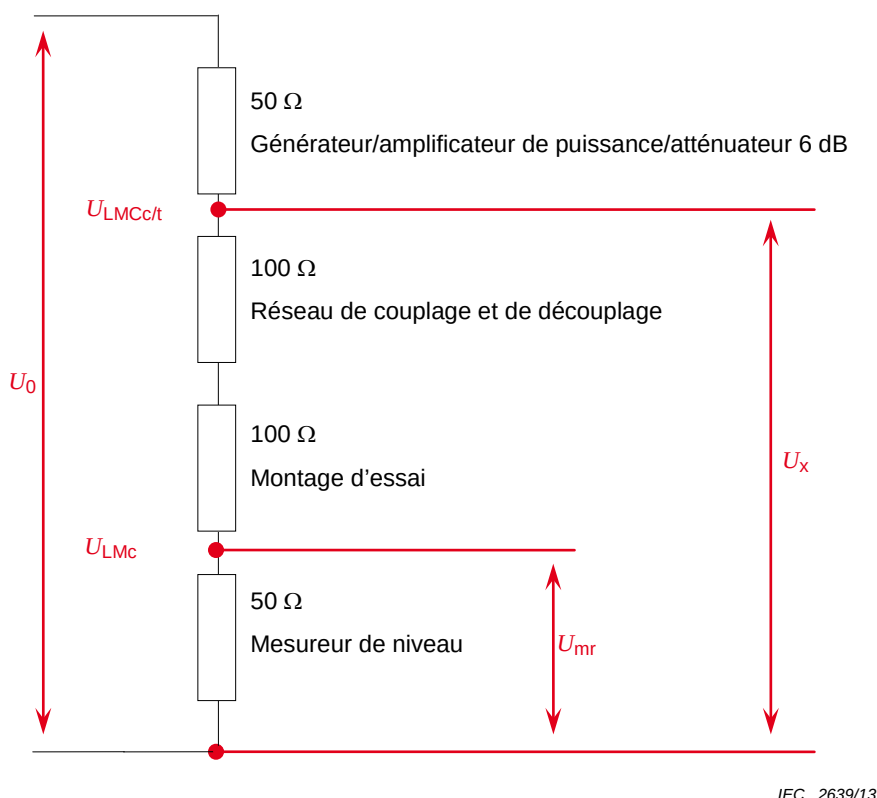
NOTE 1 Les autres symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.

Fonction modèle pour le processus d'essai avec RCD (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques):

$$U_0 = U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t$$

$$U_x = U_{LMc} + 20\log(5)$$

NOTE 2 Les symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.



IEC 2639/13

Figure G.5 – Circuit pour montage de réglage de niveau

Tableau G.1 – Processus de réglage de niveau avec RCD

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω , écart	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω , étalonnage	0,2	dB	normale $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
$\delta SETUP$	Montage pour réglage de niveau	0,35	dB	normale $k=1$	1	0,35	dB	1	0,35	dB	0,12
δLM_c	Mesureur de niveau	0,5	dB	rectangulaire	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta LMC_c (1,2)$	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta TG_c (1,2)$	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_c (3)$	Désadaptation générateur d'essai/RCD	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Désadaptation mesureur de niveau	0,5	dB	en U	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
$\sum u_i(y)^2$											0,40
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,63
Incertitude élargie (CAL) $U = u(y) \times k, k = 2$											1,27 dB

Tableau G.2 – Processus d'essai avec RCD

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
δCAL	Étalonnage	1,27	dB	normale $k=2$	2	0,63	dB	1	0,63	dB	0,40
$\delta LMC_t (1,2)$	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta TG_t (1,2)$	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_t (3)$	Désadaptation générateur d'essai/RCD	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\sum u_i(y)^2$											0,46
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,68
Incertitude élargie $U = u(y) \times k, k = 2$											1,36 dB

NOTE 3 Soit les contributions LMC, soit les contributions du générateur d'essai (TG) sont contenues dans les Tableaux G.1 et G.2 concernant le réglage de niveau et/ou l'essai, en fonction de l'utilisation ou non d'une boucle de commande pour le générateur de signal et le niveau de sortie de l'amplificateur. Dans cet exemple, le générateur d'essai ne contribue pas au budget d'incertitude car il fait partie de la boucle de commande. La contribution de la boucle de commande est établie par le mesureur de niveau (voir aussi Note 4). Cependant, le générateur d'essai est inclus dans les Tableaux G.1 et G.2 afin de rappeler aux laboratoires d'essai qu'ils pourraient avoir besoin de considérer ce paramètre, en fonction du montage d'essai particulier du laboratoire. Dans ce cas, une analyse plus détaillée de la contribution du générateur d'essai (TG) peut être nécessaire. Voir l'explication des termes.

NOTE 4 Si le même matériel est utilisé pour le réglage du niveau et les essais, seules les contributions de répétabilité et de linéarité sont contenues dans le Tableau G.2 pour le processus d'essai. La contribution du réglage de niveau peut être négligée.

NOTE 5 Si le même circuit est utilisé pour le réglage de niveau et les essais, ces contributions ne sont pas contenues dans les Tableaux G.1 et G.2.

Explication des termes:

RCAL – est l'incertitude de l'adaptateur 150 Ω à 50 Ω . Cette contribution peut normalement être obtenue à partir du rapport d'étalonnage. Sinon, la perte d'insertion peut être mesurée en utilisant un analyseur de réseau (voir Figure 8c)). Il convient d'inclure l'écart maximal par rapport à la perte spécifiée (9,5 dB) et son incertitude d'étalonnage dans les Tableaux G.1 et G.2. Il est recommandé d'utiliser 0,5 dB si le certificat d'étalonnage indique uniquement la conformité à la tolérance.

NOTE 6 Des écarts peuvent être corrigés dans le logiciel. Dans ce cas, l'écart maximal peut être réduit à l'incertitude d'interpolation et à l'incertitude d'étalonnage.

NOTE 7 L'impédance de l'adaptateur de 150 Ω à 50 Ω peut aussi être mesurée directement, par exemple, à l'aide d'un analyseur de réseau ou depuis le certificat d'étalonnage. Dans ce cas, il convient d'ajouter dans les Tableaux G.1 et G.2 l'écart par rapport à 100 Ω et l'incertitude d'étalonnage. Le coefficient de sensibilité c_i pour la contribution est modifié en conséquence.

SETUP – est une combinaison d'incertitudes dues au montage de réglage du niveau, c'est-à-dire le dispositif d'étalonnage, la connexion entre le RCD et son adaptateur et les effets du

plan de masse, par exemple le contact au plan de masse. Cette contribution peut venir des essais de reproductibilité du fait du changement des conditions ou être estimée sur la base de l'expérience comme c'est le cas dans l'exemple.

LM_c – est l'incertitude du mesureur de niveau, c'est-à-dire, du voltmètre ou du mesureur de puissance utilisé pour la mesure du niveau en sortie du RCD. Dans l'exemple, elle est obtenue à partir des spécifications du fabricant, mais pourrait l'être à partir d'autres sources également.

SW_c – est l'incertitude dérivée de la taille des incréments discrets du générateur de signal et des fenêtres logicielles pour le réglage du niveau au cours du processus de réglage du niveau. La fenêtre logicielle peut généralement être ajustée par le laboratoire d'essai.

LMC_c – est l'incertitude du mesureur de niveau, c'est-à-dire du voltmètre ou du mesureur de puissance utilisé pour la boucle de commande, pour le générateur de signal et le niveau de sortie de l'amplificateur. Elle peut être obtenue à partir des spécifications du fabricant ou déterminée à partir d'autres sources.

TG_c – est l'incertitude du générateur d'essai incluant le générateur de fréquence, l'amplificateur de puissance et l'atténuateur. Elle peut être obtenue à partir des spécifications du fabricant ou déterminée à partir d'autres sources.

NOTE 8 L'incertitude des composantes individuelles du générateur d'essai (par exemple, le générateur de signal, la stabilité de l'amplificateur de puissance, la variation rapide de gain de l'amplificateur de puissance, l'atténuateur, etc.) peut être évaluée séparément, particulièrement lorsque le montage d'essai n'utilise pas de boucle de commande.

MT_c – est une combinaison des désadaptations entre l'amplificateur, l'atténuateur et le RCD.

ML – est la désadaptation entre le RCD et le mesureur de niveau.

CAL – est l'incertitude élargie du niveau de tension d'essai dans le processus de réglage de niveau.

LMC_t – est l'incertitude du mesureur de niveau, par exemple, le voltmètre, utilisé en sortie de l'amplificateur de puissance, obtenue à partir de la spécification du fabricant. En variante, un mesureur de puissance peut être utilisé pour obtenir une incertitude plus faible.

TG_t – est l'incertitude du générateur d'essai incluant le générateur de fréquence, l'amplificateur de puissance et l'atténuateur. Elle peut être obtenue à partir des spécifications du fabricant ou déterminée à partir d'autres sources.

NOTE 9 L'incertitude des composantes individuelles du générateur d'essai (par exemple, le générateur de signal, la stabilité de l'amplificateur de puissance, la variation rapide de gain de l'amplificateur de puissance, l'atténuateur, etc.) peut être évaluée séparément, particulièrement lorsque le montage d'essai n'utilise pas de boucle de commande.

MT_t – est une combinaison des désadaptations entre amplificateur, atténuateur et RCD. Cette contribution peut être négligée si le même montage, c'est-à-dire atténuateur et câbles, est utilisé pour le réglage de niveau et l'essai.

SW_t – est l'incertitude dérivée de la taille des incréments discrets du générateur de signal et des fenêtres logicielles, pour le réglage du niveau au cours du processus d'essai. La fenêtre logicielle peut généralement être ajustée par le laboratoire d'essai.

Fonction modèle pour le processus de réglage du niveau de tension de la pince EM (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques):

$$U_0 = U_{LMC} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_c + \delta RCAL + \delta SETUP + \delta SW_c + \delta ML$$

Explication des contributions:

U_{LMc} indication de tension U_{mr} du mesureur de puissance directement exprimée en dB(μ V) ou convertie en dB(μ V)

NOTE 10 Les autres symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.

Fonction modèle pour le processus d'essai de la pince EM (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques)

$$U_0 = U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t + \delta AETERM$$

$$U_x = U_{LMc} + 20 \log (5)$$

NOTE 11 Les symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.

Tableau G.3 – Processus de réglage du niveau avec pince EM

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω , écart	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω , étalonnage	0,2	dB	normale $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
$\delta SETUP$	Montage pour réglage de niveau	0,35	dB	normale $k=1$	1	0,35	dB	1	0,35	dB	0,12
δLMc	Mesureur de niveau	0,5	dB	rectangulaire	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δLMC_c (8,9)	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δTG_c (8,9)	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δMT_c (10)	Désadaptation générateur d'essai/pince	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Désadaptation mesureur de niveau	0,5	dB	en U	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
$\sum u_i(y)^2$											0,40
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,63
Incertitude élargie (CAL) $U=u(y) \times k, k=2$											1,27 dB

Tableau G.4 – Processus d'essai avec pince EM

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
δCAL	Étalonnage	1,27	dB	normale $k=2$	2	0,63	dB	1	0,63	dB	0,40
δLMC_t (8,9)	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δTG_t (8,9)	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δMT_t (10)	Désadaptation générateur d'essai/pince	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta AETERM$	Terminaison EA	2,5	dB	rectangulaire	1,73	1,45	dB	1	1,45	dB	2,09
$\sum u_i(y)^2$											2,55
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											1,60
Incertitude élargie $U=u(y) \times k, k=2$											3,19 dB

NOTE 12 Soit les contributions LMC, soit les contributions du générateur d'essai (TG) sont contenues dans les Tableaux G.3 et G.4 concernant le réglage du niveau et/ou l'essai, en fonction de l'utilisation ou non d'une boucle de commande pour le générateur de signal et le niveau de sortie de l'amplificateur. Dans cet exemple, le générateur d'essai ne contribue pas au budget d'incertitude car il fait partie de la boucle de commande. La contribution de la boucle de commande est établie par le mesureur de niveau (voir aussi Note 13). Cependant, le générateur d'essai est inclus dans les Tableaux G.3 et G.4 afin de rappeler aux laboratoires d'essai qu'ils pourraient avoir besoin de considérer ce paramètre, en fonction du montage d'essai particulier du laboratoire. Dans ce cas une analyse plus détaillée de la contribution TG est nécessaire. Voir l'explication des termes.

NOTE 13 Si le même matériel est utilisé pour le réglage du niveau et l'essai, seules les contributions de répétabilité et de linéarité sont contenues dans le Tableau G.3 pour le processus d'essai. La contribution du réglage du niveau peut être négligée.

NOTE 14 Si le même circuit est utilisé pour l'ajustement du niveau et les essais, ces contributions ne sont pas contenues dans les Tableaux G.3 et G.4.

Explication des termes:

Comme pour l'exemple précédent (méthode avec RCD), en principe plusieurs points s'appliquent. Ces points ne sont pas explicités ici, pour cela il convient de se référer à l'exemple précédent.

NOTE 15 L'incertitude concernant 7.4.1 où une sonde de contrôle est utilisée et une limitation de courant appliquée, n'est pas prise en compte dans l'Annexe G. Dans ce cas, la valeur de U_0 n'est plus la même que celle qui avait été déterminée au cours de la procédure de réglage du niveau, mais est réduite à une valeur inconnue. Par conséquent, aucune incertitude ne peut être assignée à U_0 dans ce cas.

AETERM – est l'effet de l'impédance de l'EA, qu'il convient de maintenir à 150 Ω. Des écarts par rapport à cette valeur ont une influence significative, principalement dans la gamme des fréquences basses (en dessous de 10 MHz), là où la directivité de la pince EM est faible. Dans ce cas, la contribution de **AETERM** au budget d'incertitude peut être plus élevée que la valeur numérique utilisée dans les exemples. Une valeur plus faible peut être utilisée aux fréquences supérieures à 10 MHz.

Cette contribution peut faire l'objet d'une étude expérimentale à l'aide d'un analyseur de réseau. Le facteur de couplage de la pince peut être mesuré pour une impédance de l'EA de 150 Ω et comparé à différentes impédances de l'EA.

Fonction modèle pour le processus de réglage du niveau de la tension de la pince de courant (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques):

$$U_0 = U_{LMc} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_c + \delta RCAL + \delta JIG + \delta SW_c + \delta ML$$

Explication des contributions:

U_{LMc} indication de tension U_{mr} du mesureur de puissance directement exprimée en dB(μV) ou convertie en dB(μV)

NOTE 16 Les autres symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.

Fonction modèle pour le processus d'essai de la pince de courant (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques):

$$U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t + \delta AETERM$$

$$U_x = U_{LMc} + 20 \log (5)$$

NOTE 17 Les autres symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.

Tableau G.5 – Processus de réglage de niveau avec pince de courant

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω , écart	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω , étalonnage	0,2	dB	normale $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
δJIG	Montage d'essai	0,5	dB	normale $k=1$	1	0,50	dB	1	0,50	dB	0,25
δLM_c	Mesureur de niveau	0,5	dB	rectangulaire	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δLMC_c (12,13)	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δTG_c (12,13)	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δMT_c (14)	Désadaptation générateur	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Désadaptation mesureur de niveau	0,5	dB	en U	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
$\sum u_i(y)^2$											0,53
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,73
Incertitude élargie (CAL) $U=u(y) \times k, k=2$											1,46 dB

Tableau G.6 – Processus d'essai avec pince de courant

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
δCAL	Étalonnage	1,46	dB	normale $k=2$	2	0,73	dB	1	0,73	dB	0,53
δLMC_t (12,13)	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δTG_t (12,13)	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δMT_t (14)	Désadaptation générateur d'essai/p	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta AETERM$	Terminaison EA	2,5	dB	rectangulaire	1,73	1,45	dB	1	1,45	dB	2,09
$\sum u_i(y)^2$											2,68
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											1,64
Incertitude élargie $U=u(y) \times k, k=2$											3,27 dB

NOTE 18 Soit les contributions LMC, soit les contributions du générateur d'essai (TG), sont contenues dans les Tableaux G.5 et G.6 concernant le réglage de niveau et/ou l'essai, en fonction de l'utilisation ou non d'une boucle de commande pour le générateur de signal et le niveau de sortie de l'amplificateur. Dans cet exemple, le générateur d'essai ne contribue pas au budget d'incertitude car il fait partie de la boucle de commande. La contribution de la boucle de commande est établie par le mesureur de niveau (voir aussi Note 19). Cependant, le générateur d'essai est inclus dans les Tableaux G.5 et G.6 afin de rappeler aux laboratoires d'essai qu'ils peuvent considérer ce paramètre, en fonction du montage d'essai particulier du laboratoire. Dans ce cas une analyse plus détaillée de la contribution TG est nécessaire. Voir l'explication des termes.

NOTE 19 Si le même matériel est utilisé pour le réglage de niveau et l'essai, seules les contributions de répétabilité et de linéarité sont contenues dans le Tableau G.6 pour le processus d'essai. La contribution du réglage de niveau peut être négligée.

NOTE 20 Si le même circuit est utilisé pour le réglage de niveau et l'essai, ces contributions ne sont pas contenues dans les Tableaux G.5 et G.6.

Explication des termes:

Comme pour les exemples précédents (par exemple, méthode avec RCD), en principe plusieurs points s'appliquent. Ces points ne sont pas explicités ici, pour cela il convient de se référer à l'un des exemples précédents.

NOTE 21 L'incertitude concernant 7.4.1 où une sonde de contrôle est utilisée et une limitation de courant appliquée, n'est pas prise en compte dans l'Annexe G. Dans ce cas, la valeur de U_0 n'est plus la même que celle qui avait été déterminée au cours de la procédure de réglage du niveau, mais est réduite à une valeur inconnue. Par conséquent, aucune incertitude ne peut être assignée à U_0 dans ce cas.

JIG – est une combinaison des incertitudes dues au montage d'essai. Cette contribution peut être obtenue à partir d'essais de reproductibilité dans des conditions variables ou estimée à partir de l'expérience comme c'est le cas dans l'exemple.

Fonction modèle pour le processus de réglage du niveau de tension de l'injection directe (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques):

$$U_0 = U_{LMc} + 15,6 \text{ dB} + \delta LM_c + \delta RCAL + \delta SETUP + \delta SW_c + \delta ML$$

Explication des contributions:

U_{LMc} indication de tension U_{mr} du mesureur de puissance directement exprimée en dB(μV) ou convertie en dB(μV)

NOTE 22 Les autres symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.

Fonction modèle pour le processus d'essai de l'injection directe (toutes les grandeurs sont exprimées en unités logarithmiques):

$$U_0 = U_x + 20 \log (6/5) + \delta LMC_t + \delta CAL + \delta SW_t + \delta DD$$

$$U_x = U_{LMc} + 20 \log (5)$$

NOTE 23 Les autres symboles sont inclus dans l'explication des termes ci-dessous.

Tableau G.7 – Processus de réglage du niveau par injection directe

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
$\delta RCAL$	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω, écart	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
	Adaptateur 150 Ω - 50 Ω, étalonnage	0,2	dB	normale $k=2$	2	0,10	dB	1	0,10	dB	0,01
$\delta SETUP$	Montage pour réglage de niveau	0,5	dB	normale $k=1$	1	0,50	dB	1	0,50	dB	0,25
δLM_c	Mesureur de niveau	0,5	dB	rectangulaire	1,73	0,29	dB	1	0,29	dB	0,08
δSW_c	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta LMC_c(16,17)$	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta TG_c(16,17)$	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_c(18)$	Désadaptation générateur d'essai/RCD	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δML	Désadaptation mesureur de niveau	0,5	dB	en U	1,41	0,35	dB	1	0,35	dB	0,13
$\sum u_i(y)^2$											0,53
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											0,73
Incertitude élargie (CAL) $U=u(y) \times k, k=2$											1,46 dB

Tableau G.8 – Processus d'essai par injection directe

Symbole	Source d'incertitude X_i	$U(x_i)$	Unité	Distribution	Diviseur	$u(x_i)$	Unité	c_i	$u_i(y)$	Unité	$u_i(y)^2$
δCAL	Étalonnage	1,46	dB	normale $k=2$	2	0,73	dB	1	0,73	dB	0,53
$\delta LMC_t(16,17)$	Mesureur de niveau dans boucle de commande	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
$\delta TG_t(16,17)$	Générateur d'essai	0	dB	rectangulaire	1,73	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
$\delta MT_t(18)$	Désadaptation générateur d'essai/p	0	dB	en U	1,41	0,00	dB	1	0,00	dB	0,00
δSW_t	Précision logicielle de réglage du niveau	0,3	dB	rectangulaire	1,73	0,17	dB	1	0,17	dB	0,03
δDD	Dispositifs de découplage	2,3	dB	rectangulaire	1,73	1,33	dB	1	1,33	dB	1,77
$\sum u_i(y)^2$											2,36
Incertitude composée $u(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$											1,54
Incertitude élargie $U=u(y) \times k, k=2$											3,07 dB

NOTE 24 Soit les contributions LMC, soit les contributions TG, sont contenues dans les Tableaux G.7 et G.8 concernant le réglage de niveau et/ou l'essai, en fonction de l'utilisation ou non d'une boucle de commande pour le générateur de signal et le niveau de sortie de l'amplificateur. Dans cet exemple, le générateur d'essai ne contribue pas au budget d'incertitude car il fait partie de la boucle de commande. La contribution de la boucle de commande est établie par le mesureur de niveau (voir aussi Note 25). Cependant, le générateur d'essai est inclus dans les Tableaux G.7 et G.8 afin de rappeler aux laboratoires d'essai qu'ils peuvent considérer ce paramètre, en fonction du montage d'essai particulier du laboratoire. Dans ce cas une analyse plus détaillée de la contribution TG est nécessaire. Voir l'explication des termes.

NOTE 25 Si le même matériel est utilisé pour le réglage de niveau et les essais, seules les contributions de répétabilité et de linéarité sont contenues dans le Tableau G.8 pour le processus d'essai. La contribution de réglage du niveau peut être négligée.

NOTE 26 Si le même circuit est utilisé pour le réglage de niveau et l'essai, ces contributions ne sont pas contenues dans les Tableaux G.7 et G.8.

Explication des termes:

Comme pour les exemples précédents (par exemple, méthode avec RCD), en principe plusieurs points s'appliquent. Ces points ne sont pas explicités ici, pour cela il convient de se référer à l'un des exemples précédents.

DD – est une incertitude composée des dispositifs de découplage et de la terminaison de l'EA. Un bon découplage donne peu d'effet du fait de la terminaison de l'EA, un mauvais découplage occasionne un effet important. Cette contribution peut être calculée à partir de l'impédance de l'élément de découplage.

G.4 Expression de l'incertitude de mesure calculée et de son application

L'IM est calculée en unités logarithmiques pour garantir son homogénéité avec les contributions d'incertitude à l'incertitude de niveau d'essai (par exemple spécification de l'amplitude du voltmètre et étalonnage de la perte d'insertion de l'adaptateur), généralement exprimée en dB. La meilleure estimation doit donc être aussi exprimée en unités logarithmiques (par exemple dB(μV)).

Le niveau d'essai de tension doit être reporté en termes de la meilleure estimation de la tension et de son incertitude élargie. La meilleure estimation doit être la moyenne de la tension U_0 sur la gamme de fréquences pertinente.

Un exemple de la présentation de l'incertitude de mesure est donné dans l'exemple ci-dessous:

En unités logarithmiques:

$$U_0 = 129,5 \text{ dB}(\mu\text{V}) \pm 1,36 \text{ dB (exemple pour injection par RCD)}$$

Cela correspond sur l'échelle linéaire à:

$$U_0 = 3 \text{ V} + (17 \%) - (14,5 \%)$$

La valeur de l'IM calculée peut être utilisée pour différents objectifs, par exemple, comme indiqué par des normes de produits ou pour l'accréditation de laboratoire. Il n'est pas prévu que le résultat de ce calcul soit utilisé pour ajuster le niveau d'essai qui est appliqué aux EUT au cours du processus d'essai. Il n'est pas non plus prévu pour être utilisé pour évaluer l'exigence de tolérance de tension, selon 6.4.

G.5 Documents de référence

- [1] CEI/TR 61000-1-6:2012, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-6: General – Guide to the assessment of measurement uncertainty* (disponible en anglais uniquement)
- [2] UKAS, M3003, Edition 2, 2007, *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement*, www.ukas.com.
- [3] ISO/CEI Guide 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM: 1995)*.

Annexe H (informative)

Mesure de l'impédance de l'EA

H.1 Généralités

L'Annexe H donne des informations sur la mesure de l'impédance de mode commun d'un EA général, lorsqu'il est utilisé avec un EUT. Les détails concernant le montage pour les essais de l'EUT sont décrits dans le corps principal de la présente norme. Si une unité d'EA dédiée est toujours utilisée avec un EUT, elle est aussi utilisée pendant l'essai. Dans ce cas, l'EA est considéré comme faisant partie de l'EUT et n'est pas soumis aux exigences d'impédance ci-dessous.

L'Annexe H montre des exemples sur la façon de mesurer l'impédance de l'EA et donne des indications supplémentaires sur la façon dont l'impédance de mode commun de l'EA peut se rapprocher de l'impédance idéale de 150 Ω.

H.2 Impédance de mode commun

H.2.1 Exigences d'impédance

Conformément aux montages d'essai décrits aux Articles 6 et 7, il convient que l'impédance de l'EA satisfasse aux exigences d'impédance du Tableau 3 (répétées dans le Tableau H.1 par commodité).

Tableau H.1 – Exigences d'impédance pour l'EA

	Bande de fréquences	
Paramètre	0,15 MHz à 24 MHz	24 MHz à 80 MHz
$ Z_{ce} $	$150\ \Omega \pm 20\ \Omega$	$150\ \Omega \begin{smallmatrix} +60\ \Omega \\ -45\ \Omega \end{smallmatrix}$
NOTE Lorsqu'un EA est utilisé avec une injection par pince (7.7), il est admis que cette impédance soit inférieure à celle spécifiée dans le tableau. Pour plus d'informations, consulter le texte en 7.7 relatif à la surveillance du courant lors des injections par pince.		

H.2.2 Montage de mesure à l'aide d'un analyseur d'impédance

L'impédance de l'EA est mesurée à l'aide du montage montré à la Figure 9b) de la présente norme. Tous les fils du câble de l'EA sont connectés ensemble pour fournir une faible impédance à hautes fréquences ($<< 150\ \Omega$ à $> 150\ \text{kHz}$) et sont connectés à l'analyseur de réseau d'impédance. A noter que l'EA doit être fonctionnel et connecté à l'alimentation secteur et aux autres EA (s'il y en a) pendant la mesure. L'EA peut ne pas être en mesure d'assurer un fonctionnement normal sur le câble où l'analyseur d'impédance est connecté.

NOTE Il faudrait veiller à ce que l'EA et l'analyseur d'impédance ne soient pas endommagés par des courants/tensions potentiels élevés lorsque les fils du câble de l'EA sont reliés ensemble. Les connexions peuvent être réalisées via des condensateurs d'au moins 20 nF.

H.2.3 Mesure utilisant le montage d'étalonnage de niveau

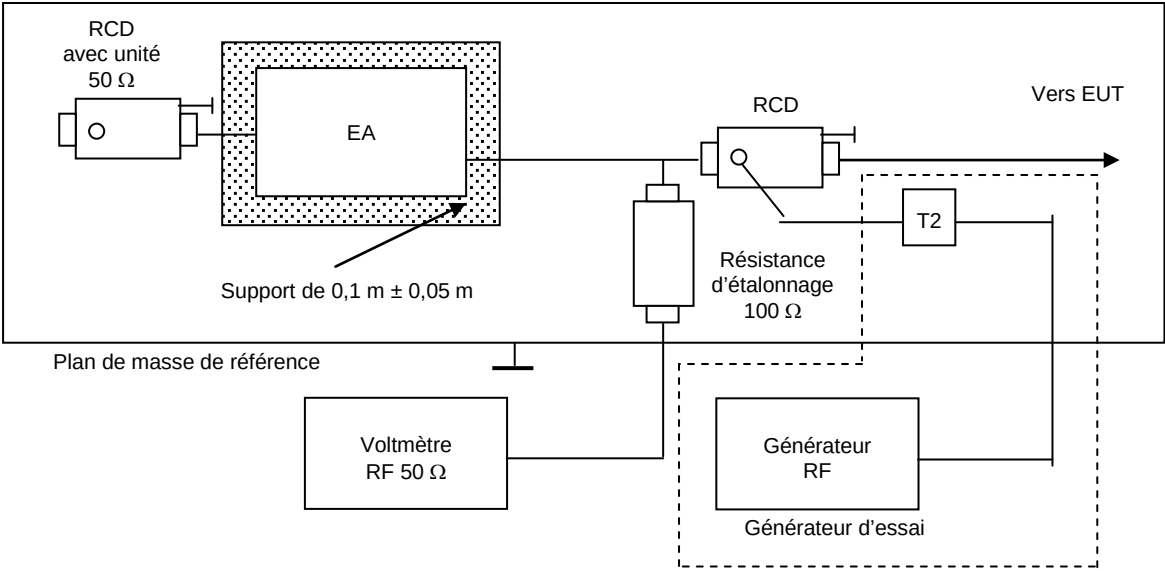
L'impédance de l'EA peut également être mesurée à l'aide du montage de réglage du niveau illustré à la Figure 9c). Dans ce cas, l'EA est connecté en parallèle avec un RCD approprié et une résistance d'étalonnage de 100 Ω en série avec une impédance de voltmètre de 50 Ω.

Pour le montage pratique et le fonctionnement de l'EA au cours des mesures, voir H.2.2.

L'impédance de l'EA est dérivée du changement du rapport de division de la tension par rapport au niveau d'essai U_0 en raison de la charge de l'EA. Les limites de la tension indiquées par le voltmètre de 50 Ω sont données dans le Tableau H.2. Voir la Figure H.1.

Tableau H.2 – Rapports de division de la tension dérivée pour les mesures d'impédance de l'EA

	Bande de fréquences	
Paramètre	0,15 MHz à 24 MHz	24 MHz à 80 MHz
$ Z_{ce} $	$150\ \Omega \pm 20\ \Omega$	$150\ \Omega \begin{smallmatrix} +60\ \Omega \\ -45\ \Omega \end{smallmatrix}$
Idéal ($ Z_{ce} = 150\ \Omega$)	$0,111 \times U_0 \quad (-19,1\ \text{dB})$	$0,111 \times U_0 \quad (-19,1\ \text{dB})$
Limite de tension supérieure	$0,116 \times U_0 \quad (-18,7\ \text{dB})$	$0,123 \times U_0 \quad (-18,2\ \text{dB})$
Limite de tension inférieure	$0,106 \times U_0 \quad (-19,5\ \text{dB})$	$0,097 \times U_0 \quad (-20,2\ \text{dB})$
NOTE Les valeurs nominales dans le Tableau H.2 ne prennent pas en compte l'incertitude de mesure et toutes les impédances sont considérées comme des résistances pures. Il s'agit d'une indication et non d'une exigence.		



IEC 2640/13

Figure H.1 – Mesure de l'impédance à l'aide d'un voltmètre

H.2.4 Mesure utilisant le montage de sonde de courant

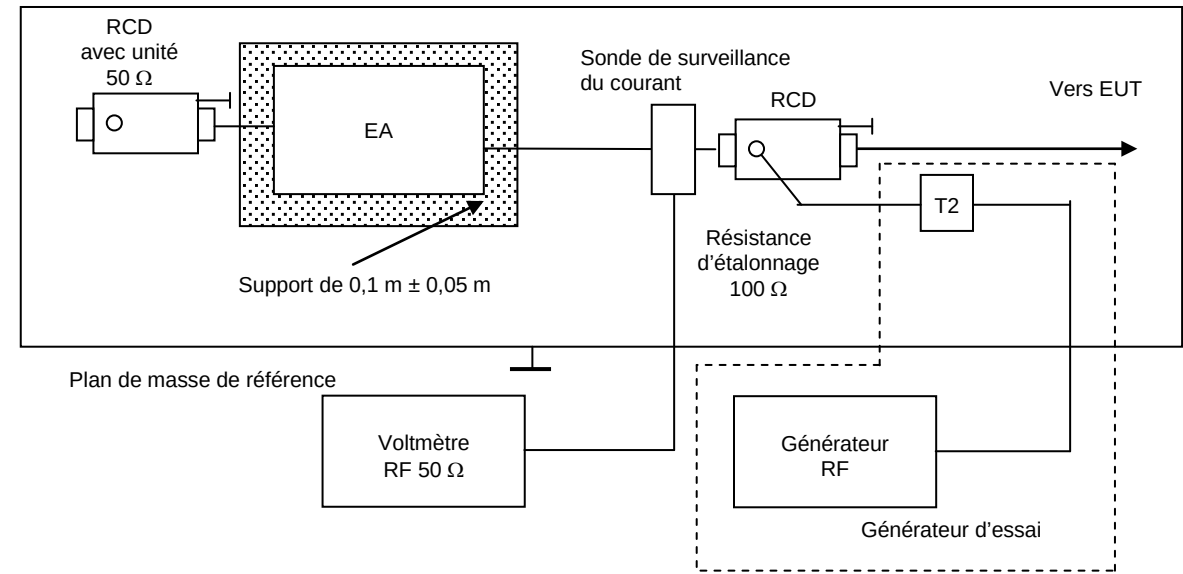
L'impédance de l'EA peut aussi être mesurée à l'aide de la sonde de contrôle du courant mentionnée en 7.7. Dans ce cas, l'EA est connecté en parallèle à un RCD approprié et le courant s'écoulant du RCD par injection est contrôlé et comparé au courant attendu d'une impédance de l'EA idéale de 150 Ω.

L'impédance de l'EA est mesurée à l'aide du montage illustré à la Figure H.2. A noter que l'EA doit être fonctionnel et connecté à l'alimentation secteur et aux autres EA (s'il y en a) pendant la mesure. L'EA peut ne pas être en mesure d'assurer le fonctionnement normal sur le câble de signal, car le RCD peut affecter la transmission du signal fonctionnel entre l'EA et l'EUT.

L'impédance de l'EA est dérivée du changement du rapport de division de la tension par rapport au niveau d'essai U_0 en raison de la charge de l'EA. Les limites de la tension indiquées par le voltmètre de 50 Ω sont données dans le Tableau H.3. A noter que les chiffres sont donnés pour une sonde de courant idéale avec un facteur de transduction de 0 dBV/A. Si le facteur de transduction de la sonde diffère de 0 dBV/A, la valeur de la tension doit être corrigée pour le facteur de transduction réel.

Tableau H.3 – Rapports de division de la tension dérivée pour les mesures d'impédance de l'EA

Paramètre	Bande de fréquences	
	0,15 MHz à 24 MHz	24 MHz à 80 MHz
$ Z_{ce} $	150 $\Omega \pm 20 \Omega$	150 $\Omega \begin{smallmatrix} +60\Omega \\ -45\Omega \end{smallmatrix}$
Idéal ($ Z_{ce} = 150 \Omega$) (pour un facteur de transduction de sonde 0 dB)	$0,003\,333 \times U_0$ (-49,5 dB)	$0,003\,333 \times U_0$ (-49,5 dB)
Limite supérieure de courant (pour un facteur de transduction de sonde 0 dB)	$0,003\,571 \times U_0$ (-48,9 dB)	$0,003\,922 \times U_0$ (-48,1 dB)
Limite inférieure de courant (pour un facteur de transduction de sonde 0 dB)	$0,003\,125 \times U_0$ (-50,1 dB)	$0,002\,778 \times U_0$ (-51,1 dB)
NOTE Les valeurs nominales dans le Tableau H.3 ne prennent pas en compte l'incertitude de mesure et toutes les impédances sont considérées comme des résistances pures. Il s'agit d'une indication et non d'une exigence.		



IEC 2641/13

Figure H.2 – Mesure de l'impédance à l'aide d'une sonde de courant

H.3 Indications pour obtenir une impédance de l'EA idéale

Le but de l'utilisation d'un EA général, et dans ce cas de réaliser une impédance de mode commun idéale de l'EA de $150\ \Omega$, est d'obtenir la reproductibilité de l'essai de l'EUT.

Quand il n'y a pas de RCD applicable, alors il convient que l'EA ait une impédance de mode commun de $150\ \Omega$ afin d'obtenir des résultats reproductibles et corrects. Ce peut être atteint quand les câbles de l'EA connectés à l'EUT ont les propriétés suivantes:

- soit un câble écrané, l'écran étant connecté au châssis métallique de l'EA (ou au plan de masse de son PCB (circuit imprimé));
- soit un câble non écrané, mais avec certains fils connectés ou ayant un couplage capacitif élevé au châssis ou au plan de masse du PCB;

Les suggestions suivantes sont faites en vue d'établir l'impédance de $150\ \Omega$ utilisant un EA ayant un châssis métallique:

- connecter le châssis de l'EA au plan de référence via $150\ \Omega$;
- utiliser un transformateur d'isolement secteur de faible capacité ($< 100\ \text{pF}$) pour alimenter l'EA en puissance. Le cordon de terre de protection ne doit pas être connecté directement à la terre. Pour des raisons de sécurité une self de choc RF $> 280\ \mu\text{F}$ peut être utilisée. La même procédure s'applique si une alimentation en courant continu (avec isolement galvanique) est requise ou si une alimentation par batterie est utilisée;
- utiliser aussi peu de câbles externes que possible;
- rassembler en faisceau les câbles de l'EA à proximité de l'EA et placer l'EA sur un support isolant de 300 mm pour réduire le couplage au plan de masse de référence;
- utiliser des convertisseurs de signal à fibre optique pour la connexion à d'autres matériels auxiliaires.

Les suggestions suivantes permettent d'établir l'impédance de $150\ \Omega$ à l'aide d'un EA lorsque le châssis est constitué de matériaux non conducteurs:

- connecter le blindage d'un câble écrané au plan de masse de référence via $150\ \Omega$, ou connecter le plan de masse du PCB au plan de masse de référence via $150\ \Omega$;
- connecter ensemble tous les fils du câble de l'EA à un point commun via des condensateurs et connecter ce point au plan de référence via $150\ \Omega$. Il convient de veiller à ce que l'EA ne soit pas endommagé par des tensions/courants élevés quand des fils de l'EA sont reliés ensemble. Les connexions peuvent être faites avec des condensateurs d'au moins $20\ \text{nF}$.

Si malgré les mesures ci-dessus, $Z_{\text{AE}} \leq 150\ \Omega$ ne peut pas être approché, tenter alors de réduire Z_{AE} en appliquant si possible des RCD chargés supplémentaires à l'EA. Voir aussi la note dans le Tableau H.1.

Annexe I (informative)

Injection d'accès à accès

I.1 Généralités

L'expérience montre que certains EUT spécifiques peuvent réagir de façon plus sensible aux signaux RF, lorsque l'injection est réalisée sur un seul accès et qu'un autre accès identique est chargé. Les comités de produits peuvent décider d'utiliser la méthode décrite dans l'Annexe I au lieu de la procédure décrite dans la partie principale de la présente norme.

L'Annexe I donne des informations sur les essais des accès quand un EUT en comporte plusieurs identiques. L'Annexe I introduit la méthode d'injection suivante: le signal RF est injecté sur l'un de ces accès identiques et l'impédance de terminaison est placée sur un autre de ces accès, au lieu d'être placée sur l'accès choisi conformément à 7.5.

Les essais sont réalisés en complément des cas d'essai spécifiés en 7.5 afin d'évaluer l'immunité de l'EUT aux signaux RF induits sur un accès et acheminés vers un autre accès identique.

Des exemples d'accès identiques peuvent comprendre, sans toutefois s'y limiter: Réseau local (Ethernet, etc.), entrées de température Pt100, entrées/sorties analogiques, entrées/sorties numériques, entrées de compteur de tachymètre.

I.2 Montage d'essai pour injection sur accès identiques

I.2.1 Sélection des accès

L'injection est réalisée entre 2 types identiques d'accès. Les 2 accès choisis pour les essais sont deux accès placés le plus près possible l'un de l'autre. Plusieurs groupes d'ensembles identiques d'accès peuvent exister sur l'EUT; dans ce cas, des ensembles de chaque type d'accès sont sélectionnés pour les essais.

NOTE Un comité de produit peut spécifier que les essais ne sont exigés que pour les types spécifiques d'interface ou de câbles, ou que les essais ne sont exigés que pour les accès avec des câbles dépassant une certaine longueur. L'Annexe I ne s'applique qu'aux accès choisis pour les essais.

I.2.2 Procédure d'injection d'accès à accès

Un accès est choisi comme accès d'injection. L'autre accès est choisi comme accès de terminaison, sur lequel est connectée la terminaison 50 Ω sur le RCD. Voir la Figure I.1.

Conformément au corps principal de la présente norme, tous les autres accès EUT sont équipés de RCD utilisés comme dispositifs de découplage, la terminaison 50 Ω n'étant pas connectée, comme spécifié dans le corps principal de la présente norme.

Si plusieurs types d'accès sont disponibles pour l'objet en essai, les essais sont également répétés sur un ensemble de ces types d'accès restants.

Si les essais sur les accès identiques ne peuvent être réalisés à l'aide des RCD, les règles générales de l'Article 7 s'appliquent à l'injection sur les accès identiques. La Figure 12 donne des indications pour sélectionner la méthode d'injection.

Les essais sur les accès et le traitement des résultats d'essai sont réalisés de la façon décrite dans le corps principal de la présente norme.

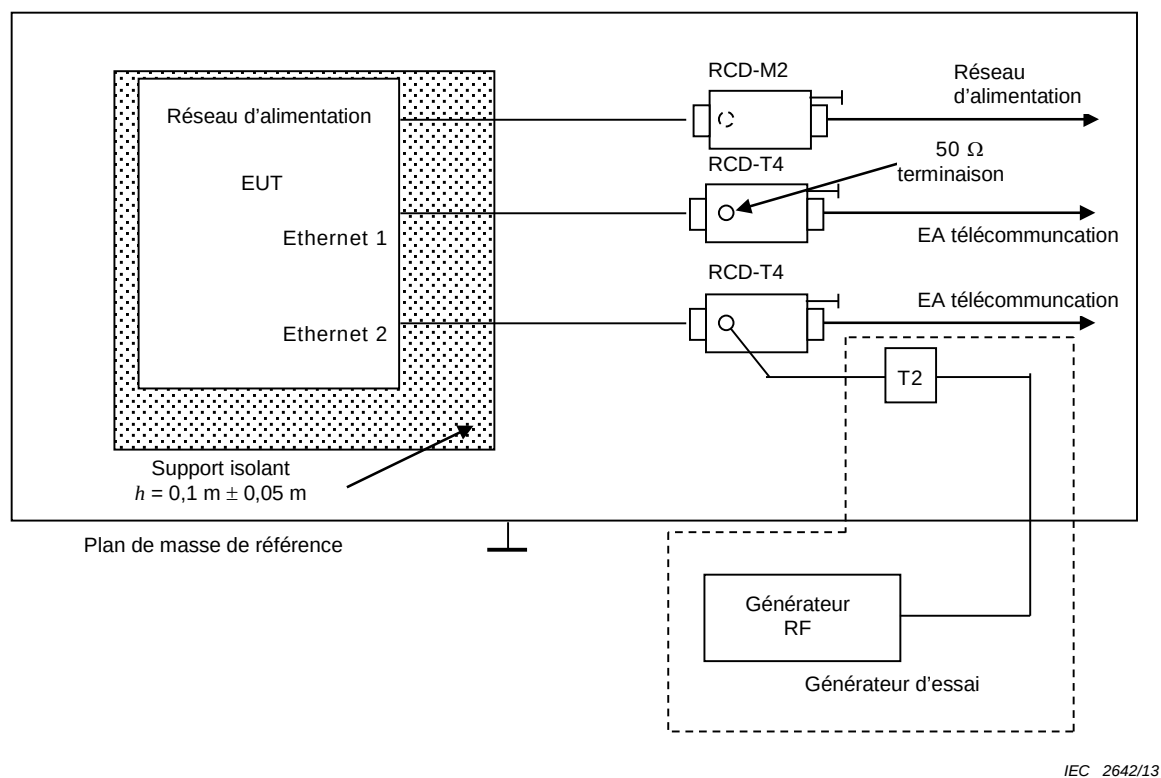


Figure I.1 – Exemple de montage, injection accès à accès

Annexe J (informative)

Compression et non linéarité d'amplificateur

J.1 Objectif de la limitation de la distorsion de l'amplificateur

La non-linéarité de l'amplificateur peut contribuer à l'incertitude du signal de perturbation appliqué au matériel en essai (EUT). L'objectif est de maintenir la non linéarité de l'amplificateur à un niveau suffisamment bas pour qu'il ne domine pas l'incertitude. La présente annexe a pour but d'aider les laboratoires d'essai à comprendre et à limiter la distorsion de l'amplificateur.

J.2 Problèmes possibles causés par les harmoniques et la saturation

Le fonctionnement d'un amplificateur saturé peut conduire aux situations suivantes:

- a) Les harmoniques peuvent contribuer de façon significative aux valeurs mesurées pendant l'étalonnage du niveau d'essai lorsque le mesureur de puissance mesure la puissance totale de la composante fondamentale et de ses harmoniques. Par exemple, si l'on considère que les harmoniques de deuxième et troisième rangs sont 15 dB en dessous de la fréquence fondamentale à la borne d'entrée de la pince EM, tous les autres harmoniques peuvent être ignorés. On considère ensuite que le facteur de la pince EM effective est inférieur de 5 dB à la fréquence de l'harmonique de troisième rang par rapport à la fréquence fondamentale. Le niveau de tension de la fréquence fondamentale n'est alors que de 10 dB supérieur au niveau de l'harmonique de troisième rang. Si l'amplitude totale de 10 V est mesurée, la fréquence fondamentale peut contribuer de seulement 9,5 V. Il peut s'agir d'une erreur acceptable lorsqu'elle est inférieure à l'incertitude d'étalonnage de la pince EM. Cette erreur de mesure ne survient pas avec un dispositif de sélection de fréquence, tel qu'un analyseur de spectre.
- b) Les harmoniques peuvent provoquer une défaillance de l'EUT lorsque ce dernier est robuste à la fréquence fondamentale prévue mais non robuste à la fréquence harmonique. La mauvaise défaillance serait enregistrée de façon incorrecte et pourrait conduire à une re-conception incorrecte.
- c) Les harmoniques peuvent aussi affecter le résultat de l'essai, même si ils sont facilement supprimés dans certaines situations. Par exemple, si un récepteur 60 MHz est soumis à l'essai, même les harmoniques très faibles d'un signal de 20 MHz peuvent surcharger l'entrée du récepteur. Une situation similaire peut également se produire si le générateur de signal produit des signaux non associés aux harmoniques. Des filtres passe-bas ou coupe-bande spéciaux peuvent être utilisés pour protéger les EUT sensibles.
- d) La saturation peut exister sans harmoniques mesurables. Ceci se produit si l'amplificateur a un filtre de sortie passe-bas qui supprime les harmoniques et/ou des circuits internes qui en associant la technologie peuvent supprimer les harmoniques aux extrémités des bandes. Cette situation peut aussi donner lieu à des résultats incorrects.
 - 1) Si cela se produit lors de l'étalonnage, des données d'étalonnage erronées sont dérivées, l'hypothèse de la linéarité étant utilisée dans l'algorithme décrit en 6.4.2.
 - 2) Au cours d'un essai, ce type de saturation donne lieu à un indice de modulation incorrecte et à des harmoniques de la fréquence de modulation (généralement 1 kHz).

Les exemples ci-dessus montrent bien qu'aucune limite numérique pour la distorsion de l'amplificateur ne peut être donnée, l'effet de la distorsion dépendant fortement du type d'EUT soumis à l'essai.

J.3 Limitation du contenu harmonique dans le signal de perturbation

Le contenu harmonique du signal de perturbation peut être limité par l'utilisation d'un filtre passe-bas ajustable/asservi/accordable à la sortie de l'amplificateur.

Pour toutes les fréquences auxquelles les harmoniques se produisent à la sortie de l'amplificateur, il convient que les harmoniques dans le signal de sortie de l'amplificateur soient inférieurs de 15 dB à la fondamentale. Cela est considéré comme adapté, à l'exception de la situation décrite en J.2, point c).

Cela peut limiter à 10 % la valeur de l'erreur de niveau de la tension de perturbation. Par exemple, un signal de 10 V mesuré en large bande peut être causé par un écart de 9 V par rapport à la fondamentale et par un écart de 4,5 V par rapport aux harmoniques. Cette situation peut être acceptable pour l'incertitude d'étalonnage.

Pour les amplificateurs contenant un filtre passe-bas fixe à leur sortie, la fréquence fondamentale supérieure concernée est d'environ 1/3 de la fréquence maximale spécifiée de l'amplificateur.

Pour les situations dans lesquelles un filtre passe-bas supprime les harmoniques d'un amplificateur saturé, il convient de ne jamais dépasser le point de compression de 2 dB de l'amplificateur, quelles que soient les conditions (par exemple, fréquence la plus défavorable, niveau de tension de perturbation maximal en modulation). Une fois le point de compression de 2 dB atteint, l'amplitude de crête (en tension) serait réduite de 20 %. Cela ferait passer l'indice de modulation d'amplitude de 80 % à 64 %, c'est-à-dire une réduction de 20 % d'une tension redressée dans l'EUT.

J.4 Effet des caractéristiques de linéarité sur l'essai d'immunité

J.4.1 Généralités

Les caractéristiques de linéarité de l'amplificateur, les harmoniques et la saturation de l'amplificateur ont une influence sur le résultat de l'essai d'immunité.

La procédure d'étalonnage de pince et/ou de RCD décrite en 6.4.2 suppose que l'amplificateur utilisé doit générer une sortie linéaire proportionnelle au signal d'entrée.

Il convient de vérifier la linéarité de l'amplificateur, afin de s'assurer que l'amplificateur utilisé génère le niveau de tension de perturbation correct au niveau de la tension d'étalonnage ou à des niveaux calculés inférieurs.

La linéarité de l'amplificateur a également une influence sur la profondeur de modulation en amplitude (MA), qu'il convient donc de vérifier aussi.

J.4.2 Evaluation des caractéristiques de linéarité de l'amplificateur

J.4.2.1 Etendue du niveau d'évaluation

Il convient d'évaluer les caractéristiques de linéarité de l'amplificateur sur la gamme de l'amplificateur utilisée pour les essais. Cette gamme doit s'étendre du niveau minimal comprenant l'augmentation due à la modulation jusqu'au niveau maximal comprenant l'augmentation due à la modulation.

Le niveau maximal est le niveau maximal du signal à ondes entretenues à mesurer après l'avoir augmenté de 5,1 dB, ce qui permet de tenir compte de la contribution de la modulation.

Lors du calcul des différents niveaux de tension de perturbation d'essai, sur la base d'un seul processus d'ajustement de niveau du dispositif de couplage, la gamme d'évaluation de la linéarité doit s'étendre de la valeur minimale à la valeur maximale de la sortie de l'amplificateur, utilisée pour l'essai. Par exemple, si un essai à 1 V est effectué à l'aide des données obtenues lors d'un processus d'ajustement de niveau de 10 V, la gamme d'évaluation de la linéarité est définie comme les sorties d'amplificateur de puissance exigées pour couvrir les valeurs comprises entre un minimum de 1,8 V et 18 V (f.é.m).

Différents dispositifs de couplage peuvent nécessiter différentes puissances de sortie d'amplificateur pour obtenir le niveau de perturbation exigé; cela doit aussi être pris en compte. Par exemple, une sonde de courant peut nécessiter plus de puissance qu'un RCD pour obtenir un niveau d'essai de perturbation de 10 V.

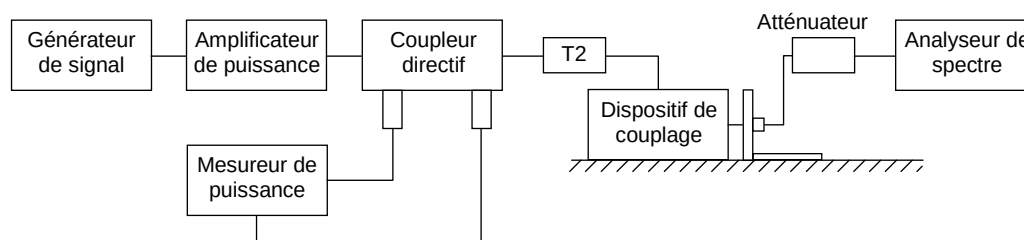
NOTE Le processus d'étalonnage des dispositifs de couplage décrit en 6.4.2 spécifie que le laboratoire d'essai doit confirmer une tolérance de 2 dB lorsque la puissance de sortie maximale de l'amplificateur est augmentée de 5,1 dB. Ce processus s'applique uniquement pour confirmer le statut de saturation de l'amplificateur et non pour évaluer les caractéristiques de linéarité définies dans l'Annexe J.

J.4.2.2 Processus d'évaluation

Pour évaluer la linéarité de l'amplificateur, il est important d'utiliser les conditions environnementales et de charge réelles, comme le dispositif de couplage et le système d'essai utilisés pour l'essai de l'EUT. La disposition de l'essai est montrée à la Figure J.1.

La linéarité de l'amplificateur doit être évaluée au moins pour les gammes de fréquences minimale, moyenne et maximale, disponibles pour l'amplificateur. Par exemple, un amplificateur avec une gamme de fréquences de 0,15 MHz à 80 MHz doit être évalué à 0,15 MHz, 40 MHz et 80 MHz.

NOTE L'évaluation des données d'essai obtenues avec l'amplificateur peut être utilisée pour justifier la sélection des différents points de fréquence.



IEC 2643/13

Figure J.1 – Montage de mesure de la linéarité de l'amplificateur

L'essai de linéarité doit être effectué conformément à la procédure suivante pour chaque fréquence, comme spécifié en J.4.2.1.

- 1) Déterminer le réglage du générateur de signal nécessaire pour produire les niveaux à la fois minimal et maximal (voir J.4.2.1) pour le montage du dispositif de couplage approprié.
- 2) Définir le générateur de signal sur la valeur minimale déterminée à l'étape 1) et enregistrer la sortie du générateur de signal et la puissance directe de l'amplificateur.
- 3) Augmenter le réglage du générateur de signal de 1 dB et enregistrer la sortie du générateur de signal et la puissance directe de l'amplificateur.
- 4) Répéter les étapes 2) et 3) jusqu'à atteindre la valeur maximale définie du générateur de signal, déterminée à l'étape 1).
- 5) Répéter les étapes 1) à 4) pour les fréquences restantes.

J.4.2.3 Critères de linéarité

Pour les résultats obtenus en J.4.2.2, la sortie mesurée de l'amplificateur doit augmenter de 1 dB (± 1 dB) pour chaque augmentation de 1 dB de la sortie du générateur de signal (c'est-à-dire que la tolérance de la linéarité de l'amplificateur de puissance est ± 1 dB). Voir l'exemple de la Figure J.2.

Si les données mesurées obtenues par le processus défini en J.4.2.2 satisfont à la spécification de ± 1 dB, l'amplificateur utilisé par le laboratoire d'essai satisfait alors aux critères de linéarité. Si les données dépassent cette spécification de linéarité, les dispositions de J.4.2.4 et J.4.2.5 doivent aussi s'appliquer.

La Figure J.2 montre un exemple définissant la tolérance de +1 dB, -1 dB sur la base de la sortie de l'amplificateur à une seule fréquence. Dans cet exemple, la sortie du générateur de signal varie entre un niveau minimal de -30 dBm et un niveau maximal de 0 dBm. Dans cet exemple, l'amplificateur dépasse la tolérance.

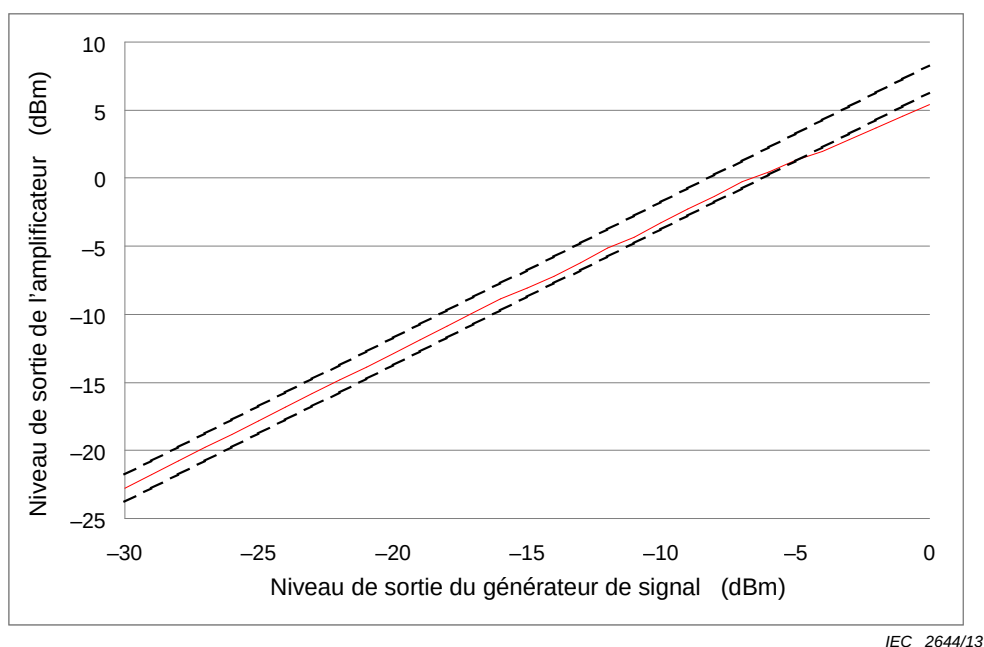
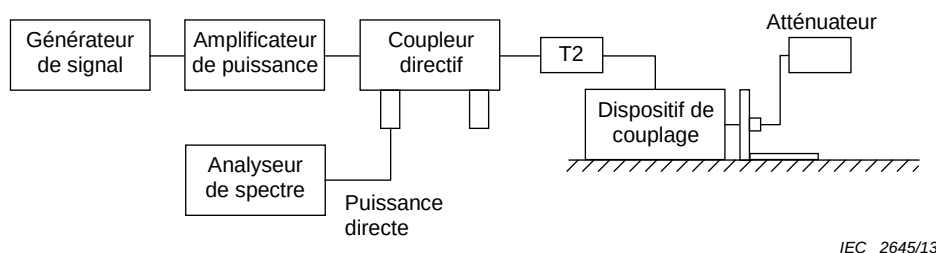


Figure J.2 – Caractéristiques de linéarité

J.4.2.4 Confirmation de la modulation en amplitude (MA)

Lorsque le résultat de l'évaluation obtenu selon J.4.2.3 dépasse ± 1 dB du critère de linéarité, il est nécessaire que le laboratoire d'essai confirme la modulation en amplitude (MA) en suivant la procédure ci-dessous. La disposition de l'essai est montrée à la Figure J.3.

La fréquence d'essai doit être toute fréquence défaillante établie en J.4.2.3.



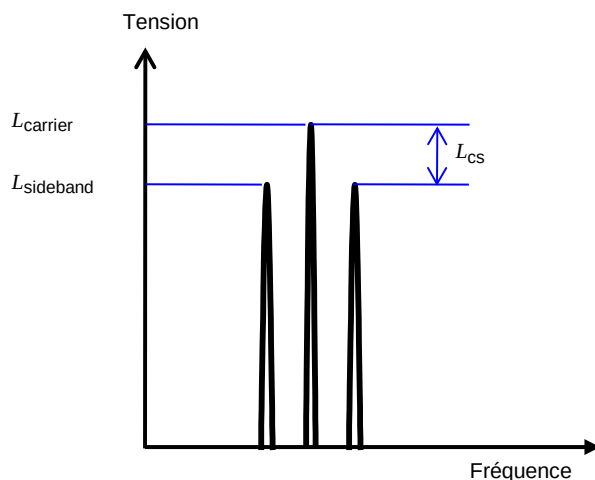
IEC 2645/13

Figure J.3 – Montage de mesure de la profondeur de modulation

- 1) Définir la sortie du générateur de signal sur la valeur maximale déterminée en J.4.2.1 à la fréquence appropriée et activer la modulation en amplitude.
- 2) Définir la fréquence centrale de l'analyseur de spectre montré à la Figure J.3 sur la fréquence de sortie de signal, définie à l'étape 1).
- 3) Ajuster l'analyseur de spectre pour afficher le spectre de la porteuse et le spectre de bande latérale supérieure et inférieure à l'écran. Par exemple, RMB = 100 Hz, étendue = 10 kHz.
- 4) Enregistrer la différence d'amplitude (L_{CS}) entre le niveau de la porteuse ($L_{carrier}$) et le niveau de bande latérale supérieure ou inférieure ($L_{sideband}$). (Voir Figure J.4.)

$$L_{CS} = L_{carrier} - L_{sideband}$$

Si L_{CS} est supérieure à 10 dB ($m < 64\%$) ou si L_{CS} est inférieure à 6 dB, il convient d'inclure les résultats dans le rapport d'essai.



IEC 2646/13

Figure J.4 – Spectre du signal modulé en amplitude

J.4.2.5 Essai d'immunité lorsque les caractéristiques de linéarité de l'amplificateur dépassent les critères

Lorsque les résultats de l'évaluation de J.4.2.3 ne satisfont pas aux critères de linéarité de ± 1 dB mais qu'ils satisfont aux critères de J.4.2.4, il est nécessaire d'ajuster la puissance directe au cours de l'essai de l'EUT réel à l'aide des méthodes suivantes.

Une première méthode consiste à utiliser un système avec rétroaction, dans lequel un mesureur de puissance est utilisé pour surveiller la puissance de sortie du générateur d'essai.

Une deuxième méthode consiste à utiliser un système sans rétroaction: il est nécessaire de réaliser l'étalonnage de la puissance directe pour chaque niveau d'essai désiré.

Dans les deux cas, les exigences de 6.1 doivent être satisfaites.

Bibliographie

CEI 61000-4-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3 : Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

CISPR 16-1-2, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-2: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Matériels auxiliaires – Perturbations conduites*

CISPR 16-1-4, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées*

CISPR 20, *Récepteurs de radiodiffusion et de télévision et équipements associés – Caractéristiques d'immunité – Limites et méthodes de mesure*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch