

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Integrated circuits – Measurement of electromagnetic immunity –
Part 2: Measurement of radiated immunity – TEM cell and wideband TEM cell
method**

**Circuits intégrés – Mesure de l'immunité électromagnétique –
Partie 2: Mesure de l'immunité rayonnée – Méthode de cellule TEM et cellule
TEM à large bande**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 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 Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

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.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Integrated circuits – Measurement of electromagnetic immunity –
Part 2: Measurement of radiated immunity – TEM cell and wideband TEM cell
method**

**Circuits intégrés – Mesure de l'immunité électromagnétique –
Partie 2: Mesure de l'immunité rayonnée – Méthode de cellule TEM et cellule
TEM à large bande**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 31.200

ISBN 2-8318-1087-2

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 General	6
5 Test conditions	7
6 Test equipment.....	7
6.1 General	7
6.2 Cables.....	7
6.3 RF disturbance source	7
6.4 TEM cell.....	8
6.5 Gigahertz TEM cell.....	8
6.6 50-Ω termination	8
6.7 DUT monitor.....	8
7 Test set-up	8
7.1 General	8
7.2 Test set-up details.....	8
7.3 EMC test board	10
8 Test procedure	10
8.1 General	10
8.2 Immunity measurement	10
8.2.1 General	10
8.2.2 RF disturbance signals	10
8.2.3 Test frequencies.....	11
8.2.4 Test levels and dwell time	11
8.2.5 DUT monitoring	11
8.2.6 Detail procedure	11
9 Test report.....	12
Annex A (normative) Field strength characterization procedure.....	13
Annex B (informative) TEM CELL and wideband TEM cell descriptions	21
Bibliography.....	22
Figure 1 – TEM and GTEM cell cross-section	9
Figure 2 – TEM cell test set-up	9
Figure 3 – GTEM cell test set-up.....	10
Figure 4 – Immunity measurement procedure flowchart	12
Figure A.1 – E-field characterization test fixture.....	14
Figure A.2 – The electric field to voltage transfer function.....	16
Figure A.3 – H-field characterization test fixture.....	19
Figure A.4 – The magnetic field to voltage transfer function	20

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INTEGRATED CIRCUITS – MEASUREMENT OF
ELECTROMAGNETIC IMMUNITY –****Part 2: Measurement of radiated immunity –
TEM cell and wideband TEM cell method**

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 62132-2 has been prepared by subcommittee 47A: Integrated circuits, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47A/838/FDIS	47A/843/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.

This part of IEC 62132 is to be read in conjunction with IEC 62132-1.

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.

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

INTEGRATED CIRCUITS – MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC IMMUNITY –

Part 2: Measurement of radiated immunity – TEM cell and wideband TEM cell method

1 Scope

This International Standard specifies a method for measuring the immunity of an integrated circuit (IC) to radio frequency (RF) radiated electromagnetic disturbances. The frequency range of this method is from 150 kHz to 1 GHz, or as limited by the characteristics of the TEM cell.

2 Normative references

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

IEC 60050-131:2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 131: Circuit theory*

IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 61967-2, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz – Part 2: Measurement of radiated emissions – TEM cell and wideband TEM cell method*

IEC 62132-1:2006, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic immunity, 150 kHz to 1 GHz – Part 1: General conditions and definitions*

3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the definitions in IEC 62132-1, IEC 60050-131 and IEC 60050-161, as well as the following, apply.

3.1

transverse electromagnetic mode (TEM)

waveguide mode in which the components of the electric and magnetic fields in the propagation direction are much less than the primary field components across any transverse cross-section

3.2

TEM waveguide

open or closed transmission line system, in which a wave is propagating in the transverse electromagnetic mode to produce a specified field for testing purposes.

3.3

TEM cell

enclosed TEM waveguide, often a rectangular coaxial line, in which a wave is propagated in the transverse electromagnetic mode to produce a specified field for testing purposes. The outer conductor completely encloses the inner conductor

3.4

two-port TEM waveguide

TEM waveguide with input/output measurement ports at both ends

3.5

one-port TEM waveguide

TEM waveguide with a single input/output measurement port

NOTE Such TEM waveguides typically feature a broadband line termination at the non-measurement-port end.

3.6

characteristic impedance

for any constant phase wave-front, the magnitude of the ratio of the voltage between the inner conductor and the outer conductor to the current on either conductor

NOTE The characteristic impedance is independent of the voltage/current magnitudes and depends only on the cross-sectional geometry of the transmission line. TEM waveguides are typically designed to have a 50 Ω characteristic impedance. TEM waveguides with a 100 Ω characteristic impedance are often used for transient testing.

3.7

anechoic material

material that exhibits the property of absorbing, or otherwise reducing, the level of electromagnetic energy reflected from that material

3.8

broadband line termination

termination which combines a low-frequency discrete-component load, to match the characteristic impedance of the TEM waveguides (typically 50 Ω), and a high-frequency anechoic-material volume

3.9

primary (field) component

electric field component aligned with the intended test polarization

NOTE For example, in conventional two-port TEM cells, the septum is parallel to the horizontal floor, and the primary mode electric field vector is vertical at the transverse centre of the TEM cell.

3.10

secondary (field) component

in a Cartesian coordinate system, either of the two electric field components orthogonal to the primary field component and orthogonal to each other

4 General

The IC to be evaluated for EMC performance is referred to as the device under test (DUT). The DUT shall be mounted on a printed circuit board (PCB), referred to as the EMC test board. The EMC test board is provided with the appropriate measurement or monitoring points at which the DUT response parameters can be measured.

The EMC test board is clamped to a mating port (referred to as a wall port) cut in the top or bottom of a transverse electromagnetic mode (TEM) cell. Either a two-port TEM cell or a one-port TEM cell may be used. Within this standard, a two-port TEM cell is referred to as a TEM cell while a one-port TEM cell is referred to as a wideband (Gigahertz) TEM, or GTEM, cell.

The test board is not positioned inside the cell, as in the conventional usage, but becomes a part of the cell wall. This method is applicable to any TEM or GTEM cell modified to incorporate the wall port; however, the measured response of the DUT will be affected by many factors. The primary factor affecting the DUT's response is the septum to EMC test board (cell wall) spacing.

NOTE 1 This procedure was developed using a 1 GHz TEM cell with a septum to housing spacing of 45 mm and a GTEM cell with a septum to housing spacing of 45 mm at the centre of the wall port.

The EMC test board controls the geometry and orientation of the DUT relative to the cell and eliminates any connecting leads within the cell (these are on the backside of the board, which is outside the cell). For the TEM cell, one of the 50 Ω ports is terminated with a 50 Ω load. The other 50 Ω port for a TEM cell, or the single 50 Ω port for a GTEM cell, is connected to the output of an RF disturbance generator. The injected CW disturbance signal exposes the DUT to a plane wave electromagnetic field where the electric field component is determined by the injected voltage and the distance between the DUT and the septum of the cell. The relationship is given by

$$E = V/h$$

where

E is the field strength (V/m) within the cell;

V is the applied voltage (V) across the 50 Ω load; and

h is the height (m) between the septum and the centre of the IC package.

Rotating the EMC test board in the four possible orientations in the wall port of the TEM or GTEM cell is required to determine the sensitivity of the DUT to induced magnetic fields. Dependent upon the DUT, the response parameters of the DUT may vary (e.g. a change of current consumption, deterioration in function performance, waveform jitter, etc.) The intent of this test method is to provide a quantitative measure of the RF immunity of ICs for comparison or other purposes.

NOTE 2 Additional information on the use and characterization of TEM cells for radiated immunity testing can be found in IEC 61000-4-20.

5 Test conditions

The test conditions shall meet the requirements as described in IEC 62132-1.

6 Test equipment

6.1 General

The test equipment shall meet the requirements as described in IEC 62132-1. In addition, the following test equipment requirements shall apply.

6.2 Cables

Double shielded or semi-rigid coaxial cable may be required depending on the local RF ambient conditions.

6.3 RF disturbance source

The RF disturbance source may comprise an RF signal generator with a modulation function, an RF power amplifier, and an optional variable attenuator. The gain (or attenuation) of the RF disturbance generating equipment, without the TEM or GTEM cell, shall be known with a tolerance of $\pm 0,5$ dB.

6.4 TEM cell

The TEM cell used for this test procedure is a two-port TEM waveguide and shall be fitted with a wall port sized to mate with the EMC test board. The TEM cell shall not exhibit higher order modes over the frequency range being measured. For this procedure, the recommended TEM cell frequency range is 150 kHz to the frequency of the first resonance of the lowest higher order mode (typically <2 GHz). The frequency range being evaluated shall be covered using only a single cell.

The VSWR of the TEM cell over the frequency range being measured shall be less than 1,5. However, due to the potential for error when calculating the applied E-field, a TEM cell with a VSWR of less than 1,2 is preferred. A TEM cell with a VSWR less than 1,2 does not require field strength characterization. A TEM cell with a VSWR larger than or equal to 1,2 but less than 1,5 shall be characterized in accordance with the procedure in Annex A. The raw TEM cell VSWR data (over the frequency range of the measurement) shall be included in the test report. Measurement results obtained from a TEM cell with a VSWR of less than 1,2 will prevail over data taken from a TEM cell with a higher VSWR.

6.5 Gigahertz TEM cell

The Gigahertz, or wideband, TEM (GTEM) cell used for this test procedure is a one-port TEM waveguide and shall be fitted with a wall port sized to mate with the EMC test board. The GTEM cell shall not exhibit higher order modes over the frequency range being measured. For this procedure, the recommended GTEM cell frequency range is from 150 kHz to the frequency of the first resonance of the lowest higher order mode (typically >2 GHz). The frequency range being evaluated shall be covered using a single cell.

The VSWR of the GTEM cell over the frequency range being measured shall be less than 1,5. However, due to the potential for error when calculating the applied E-field, a GTEM cell with a VSWR of less than 1,2 is preferred. A GTEM cell with a VSWR less than 1,2 does not require field strength characterization. A GTEM cell with a VSWR larger than or equal to 1,2 but less than 1,5 shall be characterized in accordance with the procedure in Annex A. The raw GTEM cell VSWR data (over the frequency range of the measurement) shall be included in the test report. Measurement results obtained from a GTEM cell with a VSWR of less than 1,2 will prevail over data taken from a GTEM cell with a higher VSWR.

6.6 50 Ω termination

A 50 Ω termination with a VSWR less than 1,1 and sufficient power handling capabilities over the frequency range of measurement is required for the TEM cell measurement port not connected to the RF disturbance generator.

6.7 DUT monitor

The performance of the DUT shall be monitored for indications of performance degradation. The monitoring equipment shall not be adversely affected by the injected RF disturbance signal.

7 Test set-up

7.1 General

The test set-up shall meet the requirements as described in IEC 62132-1. In addition, the following test set-up requirements shall apply.

7.2 Test set-up details

The EMC test board shall be mounted in the wall port of the TEM cell or GTEM cell with the DUT facing the septum as shown in Figure 1.

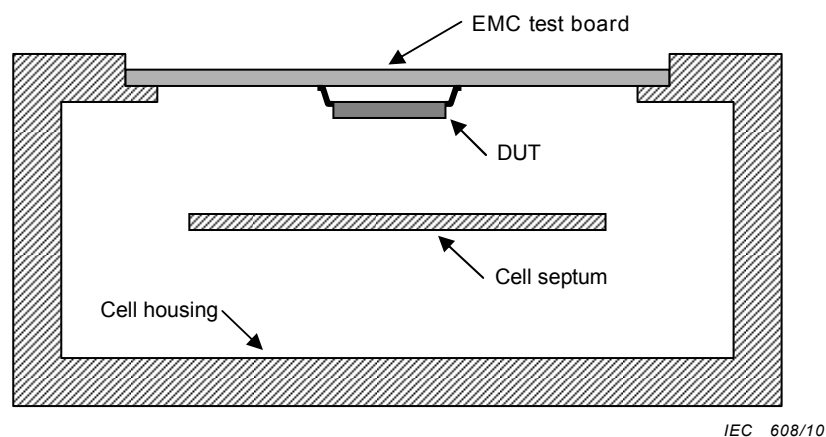


Figure 1 – TEM and GTEM cell cross-section

The test setup shall be as described in Figure 2 and Figure 3 for TEM cell and GTEM cell test configurations, respectively. One of the TEM cell measurement ports shall be terminated with a $50\ \Omega$ load. The remaining TEM cell measurement port, or the single GTEM measurement port, shall be connected to the output port of the power amplifier.

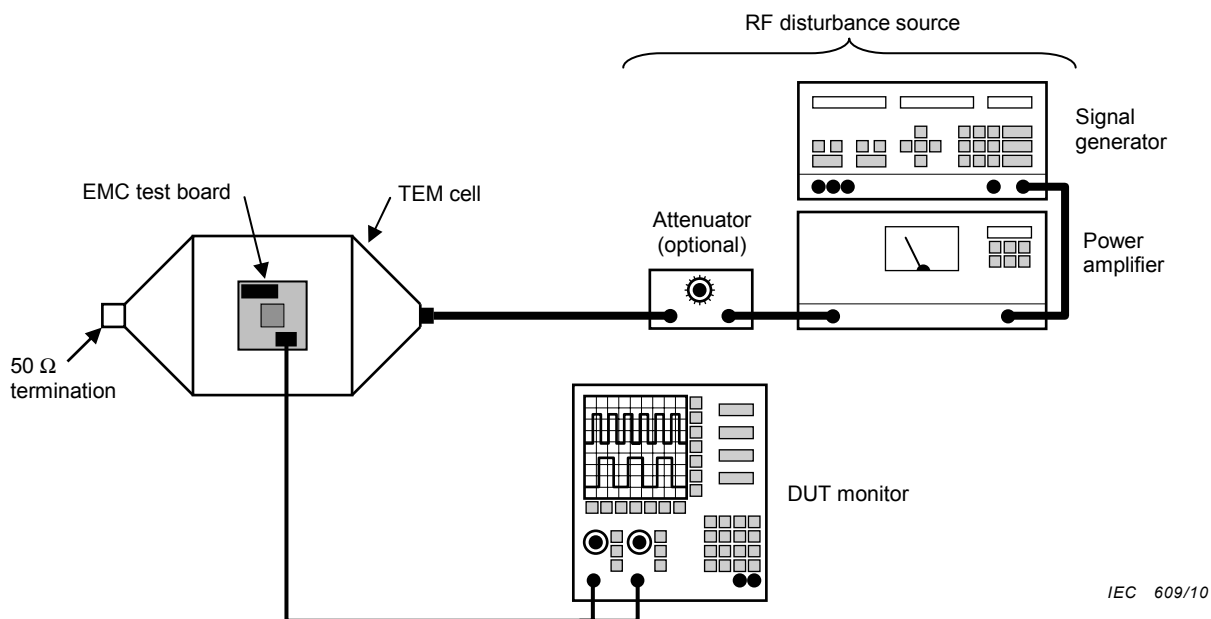


Figure 2 – TEM cell test set-up

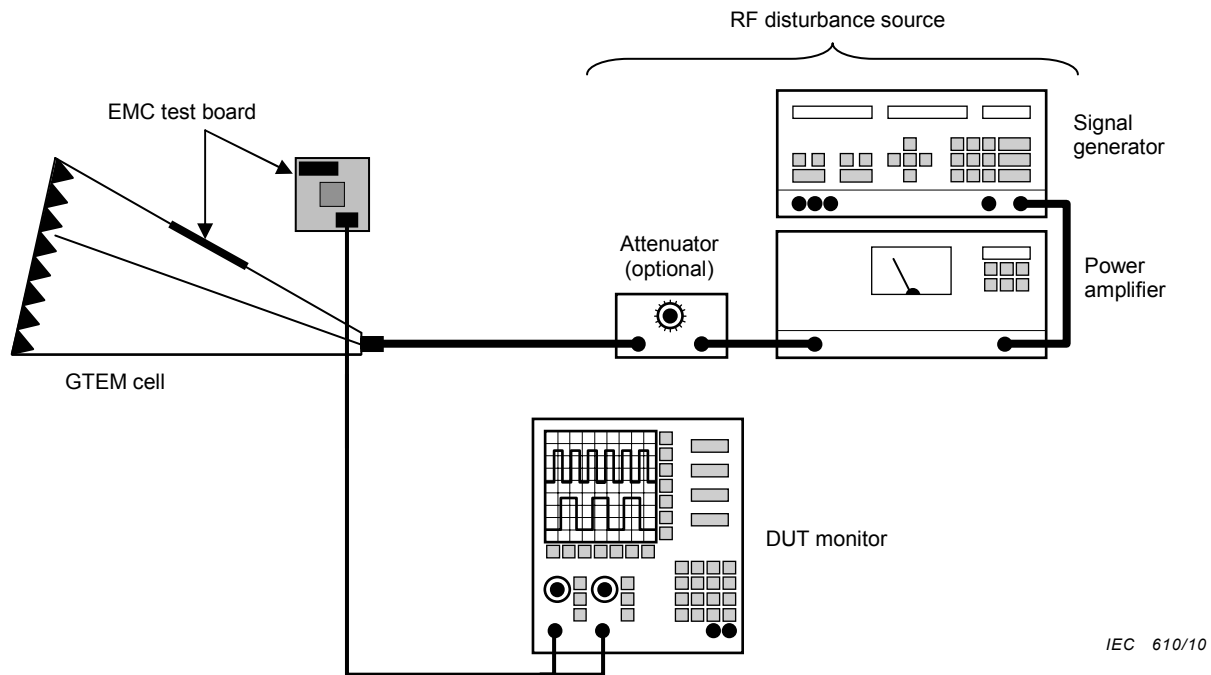


Figure 3 – GTEM cell test set-up

7.3 EMC test board

The EMC test board shall be designed in accordance with the requirements in IEC 61967-2.

8 Test procedure

8.1 General

The test procedure shall be in accordance with IEC 62132-1 except as modified herein. These default test conditions are intended to assure a consistent test environment. The following steps shall be performed:

- field strength characterization (see Annex A);
- immunity measurement (see 8.2).

If the users of this procedure agree to other conditions, these conditions shall be documented in the test report.

8.2 Immunity measurement

8.2.1 General

With the EMC test board energized and the DUT being operated in the intended test mode, measure the immunity to the injected RF disturbance signal over the desired frequency range.

8.2.2 RF disturbance signals

The RF disturbance signals shall be

- CW (continuous wave) and
- AM (amplitude modulated CW) at 80 % depth by a 1 kHz sine wave or (optionally) pulse modulated at 100 % depth with 50 % duty cycle and 1 kHz pulse repetition rate.

NOTE The optional pulse modulation requirement is typically about 6 dB more severe than the stated amplitude modulation requirement.

8.2.3 Test frequencies

The RF immunity of the DUT shall be evaluated at a number of discrete test frequencies from 150 kHz to 1 GHz, or as limited by the characteristics of the TEM cell. The frequencies to be tested shall be generated from the requirements specified in Table 2 of IEC 62132-1.

In addition, the RF immunity of the DUT shall be evaluated at critical frequencies. Critical frequencies are frequencies that are generated by, received by, or operated on by the DUT. Critical frequencies include but are not limited to crystal frequencies, oscillator frequencies, clock frequencies, data frequencies, etc.

8.2.4 Test levels and dwell time

The applied test level shall be increased in steps until a malfunction is observed or the maximum signal generator setting is reached. The step size shall be documented in the test report.

At each test level and frequency, the RF disturbance signal shall be applied for a minimum of 1 s (or at least the time necessary for the DUT to respond and the monitoring system to detect any performance degradation).

8.2.5 DUT monitoring

The DUT shall be monitored for indications of susceptibility using the appropriate test equipment and as required in IEC 62132-1.

8.2.6 Detail procedure

8.2.6.1 Field strength characterization

At each frequency to be tested, the signal generator setting to achieve the desired electric field level or levels shall be determined as described in Annex A.

8.2.6.2 Immunity measurement

The test flow, including major steps, is described in Figure 4. One of two strategies may be employed in performing this measurement as follows:

- a) the output of the RF disturbance generator shall be set at a low value (e.g. 20 dB below the desired limit) and slowly increased up to the desired limit while monitoring the DUT for performance degradation. Any performance degradation at or below the desired limit shall be recorded;
- b) the output of the RF disturbance generator shall be set at the desired performance limit while monitoring the DUT for performance degradation. Any performance degradation at the desired limit shall be recorded. The output of the RF disturbance generator shall then be reduced until normal function returns. The output of the RF disturbance generator shall then be increased until the performance degradation occurs again. This level shall also be recorded.

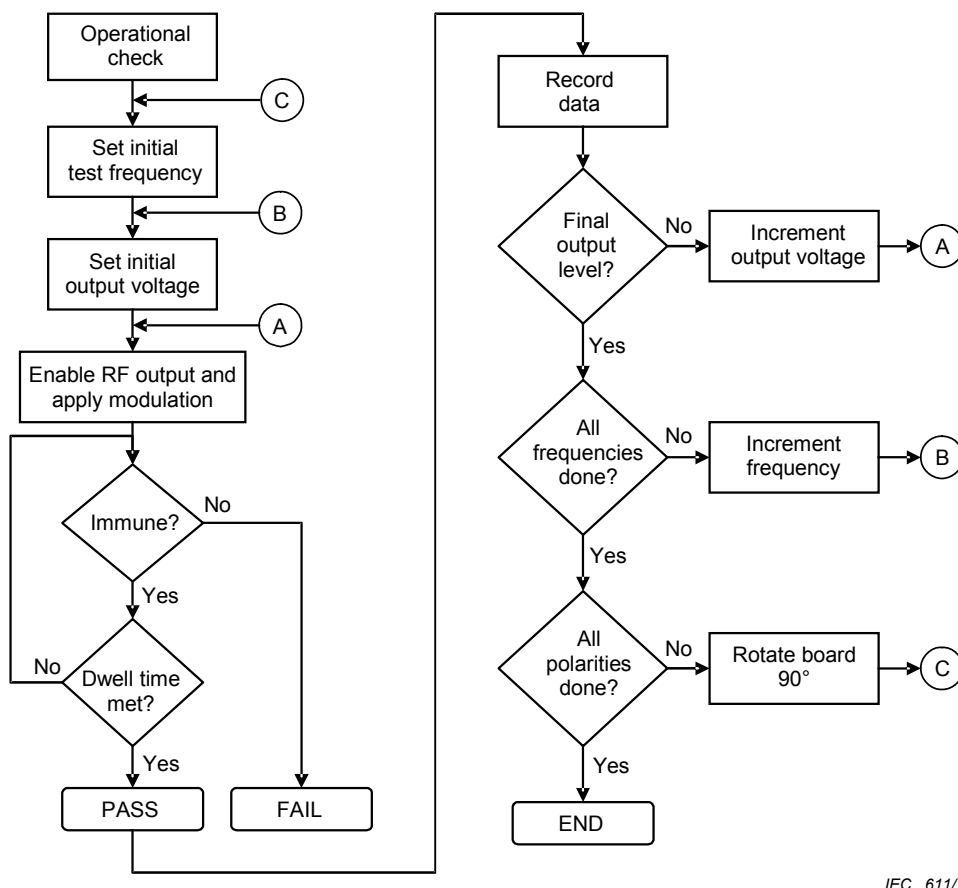
NOTE The DUT may respond differently to each of the above methods. In such a case, a method in which the interference signal is ramped up as well as down may be required.

The RF immunity measurement shall be performed in each of the four possible orientations resulting in four separate sets of data. The first measurement is made with the IC test board mounted in an arbitrary orientation of the IC in the cell wall port. The second measurement is made with the IC test board rotated 90 degrees from the orientation in the first measurement. For each of the third and fourth measurements, the test board is rotated again to ensure

immunity is measured in all four possible orientations. The four sets of data shall be documented in the test report.

9 Test report

The test report shall be in accordance with the requirements of IEC 62132-1.



IEC 611/10

Figure 4 – Immunity measurement procedure flowchart

Annex A (normative)

Field strength characterization procedure

A.1 General

The signal level setting of the RF disturbance generator required to achieve the desired electric field level within the TEM or GTEM cell shall be determined in accordance with this procedure. This measurement shall be performed at each standard frequency (either linear or logarithmic as used in the actual test) as determined in accordance with 8.2.3. The RF disturbance signal used for characterization shall be a CW signal (e.g. no modulation shall be applied).

A.2 Electric (*E*) field strength characterization

A.2.1 Electric field characterization test fixture

The electric field can be measured by using a small monopole antenna at the centre location of the characterization board as shown in Figure A.1. It is recommended that the diameter of the top plate capacitive load shall be small (e.g. an area of approximately 0,001 m² or 10 cm²) and either circular or square. The antenna top plate shall be kept parallel to the top metallic surface of the characterization board, which may be either a printed circuit board or metal plate, at a height of 3,0 mm ±0,1 mm. This top plate will yield a capacitance of about 3 pF. The centre of this plate shall be fed to a surface-mount, coaxial bulkhead connector that in turn shall be connected to the 50 Ω input impedance of an RF voltmeter or spectrum analyser. The resulting high-pass circuit results in an incremental slope of 20 dB/decade over the full frequency range up to 1 GHz.

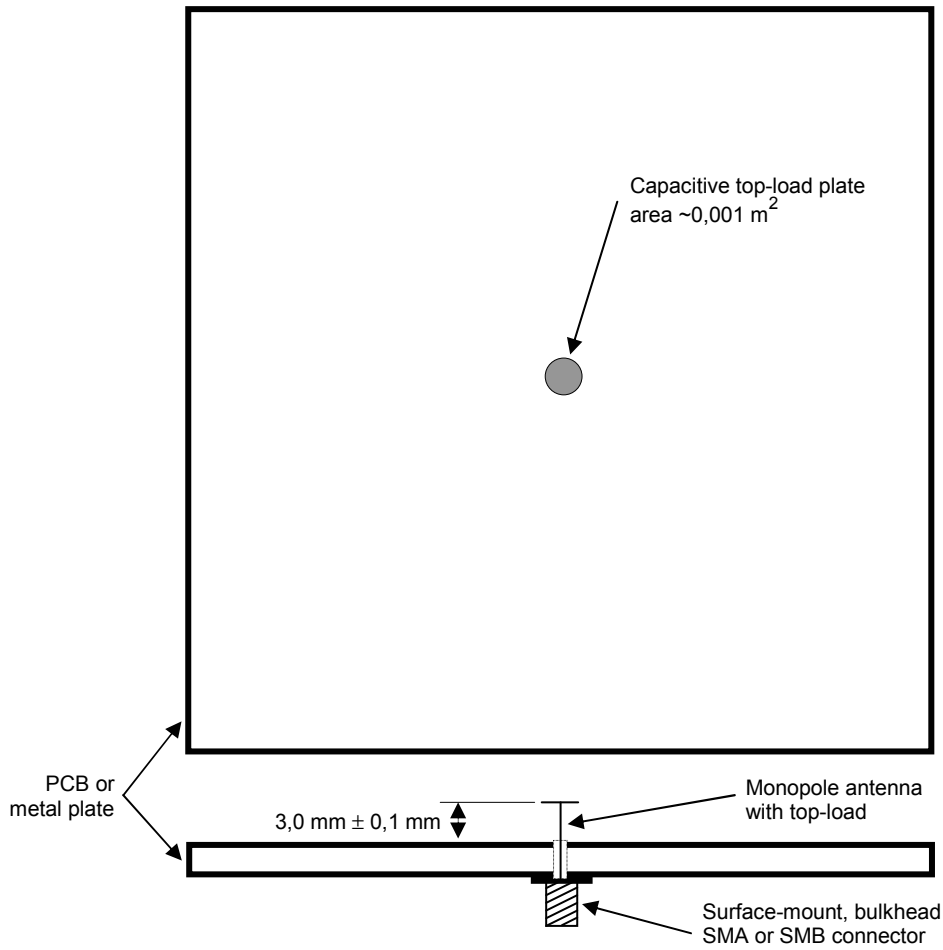
The characterization board shall be identical in size to the EMC test board to be used during the actual radiated immunity measurements as specified in IEC 62132-1. The bulkhead connector shall be a 50 Ω type, either SMA or SMB, and placed in the exact centre of the characterization board.

The PCB shall be constructed with at least one conductive layer. The conductive layer should cover the entire board forming a solid ground plane. The SMA or SMB connector should be mounted on the side of the PCB opposite the ground plane, with its outer conductor connected to the ground plane and the centre conductor passing through an unplated, through-hole penetration to the other side of the board. Additional conductive PCB layers should be assigned to ground and connected using multiple vias as shown for the EMC test board in IEC 62132-1.

NOTE Tolerances for top plate area, capacitance and board location are under development.

A.2.2 Capacitance measurement

The top plate capacitance of the monopole shall be measured separately to assure a capacitance of 3 pF. The capacitance shall be measured with the characterization test fixture inserted into the TEM cell. With the impedance reference plane set at the bulkhead coaxial connector mounted at the location where the device/IC is to be positioned, the monopole is mounted to this bulkhead connector and the impedance (i.e. capacitance) is measured at a reference frequency of 10 MHz. This measurement is made to ensure that the physical length of the wire (i.e. the inductance) does not affect the characterization.



IEC 612/10

In the case of a PCB, a ground plane is required on both sides

Figure A.1 – E field characterization test fixture

A.2.3 Electric field strength calculation

The voltage induced at the output of the monopole antenna is given by

$$V_{\text{ant}} = h_{\text{ant}} \times E_{\text{tem}} \quad (\text{A.1})$$

where

V_{ant} is the voltage at the test fixture output port, expressed in volts (V), by the internal electric field;

E_{tem} is the electric field within the TEM or GTEM cell, expressed in volts per meter (V/m);

h_{ant} is the height of the monopole antenna, expressed in meters (m).

In addition, the electric field in the TEM or GTEM cell is also given by

$$E_{\text{tem}} = \frac{V_{\text{tem}}}{h_{\text{sep}}} \Rightarrow V_{\text{tem}} = E_{\text{tem}} \times h_{\text{sep}} \quad (\text{A.2})$$

where

V_{tem} is the voltage at the port of the TEM or GTEM cell, expressed in volts (V);

h_{sep} is the distance from the antenna top load to the inner septum of the TEM or GTEM cell, expressed in meters (m).

So that the resulting transfer function (S21) is given by

$$S_{21} = \frac{V_{\text{ant}}}{V_{\text{tem}}} = \frac{h_{\text{ant}}}{h_{\text{sep}}} \times \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + |Z_{\text{ant}}|^2}} \quad (\text{A.3})$$

where

$|Z_{\text{ant}}|$ is the magnitude of the antenna impedance, given by $|1/(j\omega C)|$ and expressed in ohms (Ω), neglecting resistance.

The antenna impedance is given by

$$|Z_{\text{ant}}| = \frac{1}{\omega C_{\text{ant_meas}}} = \frac{1}{2\pi f \times C_{\text{ant_meas}}} \quad (\text{A.4})$$

where

$C_{\text{ant_meas}}$ is the measured antenna capacitance, expressed in farads (F).

A.2.4 Example electric field strength calculation

At 10 MHz, solving for V_{ant} as a function of E_{tem} using Equation (A.1) gives

$$V_{\text{ant}} = (3 \times 10^{-3}) \times E_{\text{tem}}$$

For a monopole antenna with a measured capacitance of 3 pF, the antenna impedance is calculated from Equation (A.4):

$$|Z_{\text{ant},10\text{MHz}}| = \frac{1}{2\pi \times (10 \times 10^6 \text{ Hz}) \times (3 \times 10^{-12} \text{ F})} = 5305 \ \Omega$$

So the resulting transfer function at 10 MHz for $h_{\text{sep}} = 45 \text{ mm} - 3 \text{ mm} = 42 \text{ mm}$ is calculated using Equation (A.3) giving

$$S_{21} = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ m}}{42 \times 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + (5305)^2}} = 673,9 \times 10^{-6}$$

Converting the S21 value to decibels gives the final result as

$$S_{21\text{dB}} = 20 \cdot \log(673,9 \times 10^{-6}) = -63,43 \text{ dB}$$

The electric field to voltage transfer function given in Equation (A.3) and converted to decibels, for the parameters given above, is plotted in Figure A.2 and is suited for characterization up to 1 GHz. The value of the transfer function shall be compensated for the TEM cell septum-to-device height as given in A.4.

Due to the non-ideal nature of TEM cell and GTEM cell devices, a maximum deviation of 6 dB is allowed for 3 % of the frequencies determined in accordance with 8.2.3. For all other frequencies, the performance of the field strength shall be within 1 dB of the ideal curve given

in Figure A.2. Frequencies at which the deviation is greater than 1 dB shall be listed in the test report.

NOTE Any failure at a frequency with a deviation of greater than 1 dB should be ignored during qualification testing.

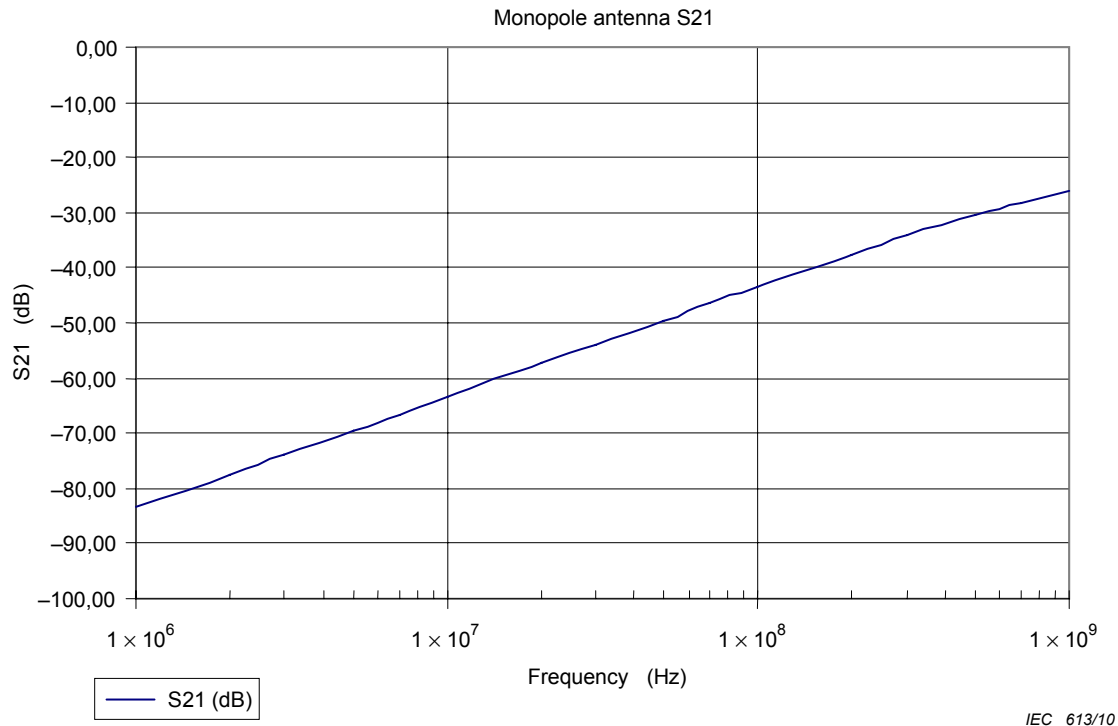


Figure A.2 – The electric field to voltage transfer function

When the characterization needs to be performed at higher frequencies (>1 GHz), the parameters of the probe shall be adjusted such that the linear behavior is extended accordingly (at the cost of sensitivity at the lower frequencies).

A.3 Magnetic (*H*) field strength characterization

A.3.1 Magnetic field strength characterization test fixture

The magnetic field can be measured by using a small loop antenna at the centre location of the EMC test board as shown in Figure A.3. A magnetic loop shall be constructed using wire with a $1\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ diameter. The loop shall have a separation height of $3,3\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ from the top conductive surface of the test fixture. The length of the loop shall be $30\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$, which results in an effective loop area of approximately 99 mm^2 .

For the characterization, the loop shall be oriented in parallel to the propagation direction of the EM wave in the TEM cell or GTEM cell.

The characterization board shall be identical in size to the EMC test board to be used during the actual radiated immunity measurements as specified in IEC 62132-1. The bulkhead connector shall be a $50\ \Omega$ type, either SMA or SMB. The bulkhead surface-mount, coaxial connector shall be mounted $15\text{ mm} \pm 1,0\text{ mm}$ off-centre of the EMC test board.

The PCB shall be constructed with at least one conductive layer. The conductive layer should cover the entire board forming a solid ground plane. The SMA or SMB connector should be mounted on the side of the PCB opposite the ground plane, with its outer conductor connected to the ground plane and the centre conductor passing through an unplated,

through-hole penetration to the other side of the board. Additional conductive PCB layers should be assigned to ground and connected using multiple vias as shown for the EMC test board in IEC 62132-1.

A.3.2 Magnetic field strength calculation

The voltage induced at the output of the loop antenna is given by

$$V_{\text{ant}} = N \times \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{A.5})$$

where

$$N = 1$$

$$\Phi(t) = \Phi \times \sin(\omega t) \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = \Phi \times \omega$$

$$\Phi = B \times A_{\text{loop}}$$

$$B = \mu_0 \times H$$

$$H = \frac{E}{Z_0}$$

$$\omega = 2\pi f$$

Substituting back into Equation (A.5) gives

$$V_{\text{ant}} = \left(\frac{E_{\text{tem}}}{Z_0} \right) \times \mu_0 \times A_{\text{loop}} \times 2\pi f \quad (\text{A.6})$$

where

- V_{ant} is the voltage at the test fixture output port, expressed in volts (V), by the internal electric field;
- E_{tem} is the electric field within the TEM or GTEM cell, expressed in volts per meter (V/m);
- Z_0 is the characteristic impedance of free space ($120 \pi \Omega$ or 377Ω);
- μ_0 is the permeability of free space ($4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$);
- A_{loop} is the area of the loop antenna, expressed in square meters (m^2);
- f is the frequency of interest, expressed in Hertz (Hz).

In addition, the electric field in the TEM or GTEM cell is also given by

$$E_{\text{tem}} = \frac{V_{\text{tem}}}{h_{\text{sep}}} \Rightarrow V_{\text{tem}} = E_{\text{tem}} \times h_{\text{sep}} \quad (\text{A.7})$$

where

- V_{tem} is the voltage at the port of the TEM or GTEM cell, expressed in volts (V);

h_{sep} is the distance from the antenna to the inner septum of the TEM or GTEM cell, expressed in meters (m).

So that the resulting transfer function (S21) is given by

$$S_{21} = \frac{V_{\text{ant}}}{V_{\text{tem}}} = \frac{\mu_0 \times A_{\text{loop}} \times 2\pi f}{Z_0 \times h_{\text{sep}}} \times \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + (|Z_{\text{ant}}|)^2}} \quad (\text{A.8})$$

where

$|Z_{\text{ant}}|$ is the magnitude of the antenna impedance, given by $|j\omega L|$ and expressed in ohms (Ω), neglecting resistance.

The antenna impedance is given by

$$|Z_{\text{ant}}| = \omega L_{\text{ant_meas}} = 2\pi f \times L_{\text{ant_meas}} \quad (\text{A.9})$$

where

$L_{\text{ant_meas}}$ is the measured inductance of the small loop antenna, expressed in henrys [H].

A.3.3 Example magnetic field strength calculation

For the specified loop antenna, the loop area is

$$A_{\text{loop}} = h_{\text{loop}} \times l_{\text{loop}} = (3,3 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (30 \times 10^{-3} \text{ m}) = 99 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

where

h_{loop} is the height of the loop over the PCB, expressed in meters (m).

l_{loop} is the length of the loop, expressed in meters (m).

At 10 MHz, solving for V_{ant} as a function of E_{tem} using Equation (A.6) gives

$$V_{\text{ant}} = \left(\frac{E_{\text{tem}}}{377} \right) \times (4\pi \times 10^{-7}) \times (99 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (2\pi \times 10 \times 10^6 \text{ Hz}) = E_{\text{tem}} \times (20,1 \times 10^{-6})$$

For a loop antenna with a measured inductance of 73 nH, the impedance is calculated using Equation (A.9) giving

$$Z_{\text{ant}, 10\text{MHz}} = 2\pi \times (10 \times 10^6 \text{ Hz}) \cdot (73 \times 10^{-9} \text{ H}) = 4,58 \Omega$$

So the resulting transfer function (S21) at 10 MHz for $h_{\text{sep}} = 45 \text{ mm} - 3,3 \text{ mm} = 41,7 \text{ mm}$ is calculated using Equation (A.8) giving

$$S_{21} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) \times (99 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (2\pi \times 10 \times 10^6 \text{ Hz})}{377 \times 41,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + (4,58)^2}} = 495,1 \times 10^{-6}$$

Converting the S21 value to decibels gives the final result as

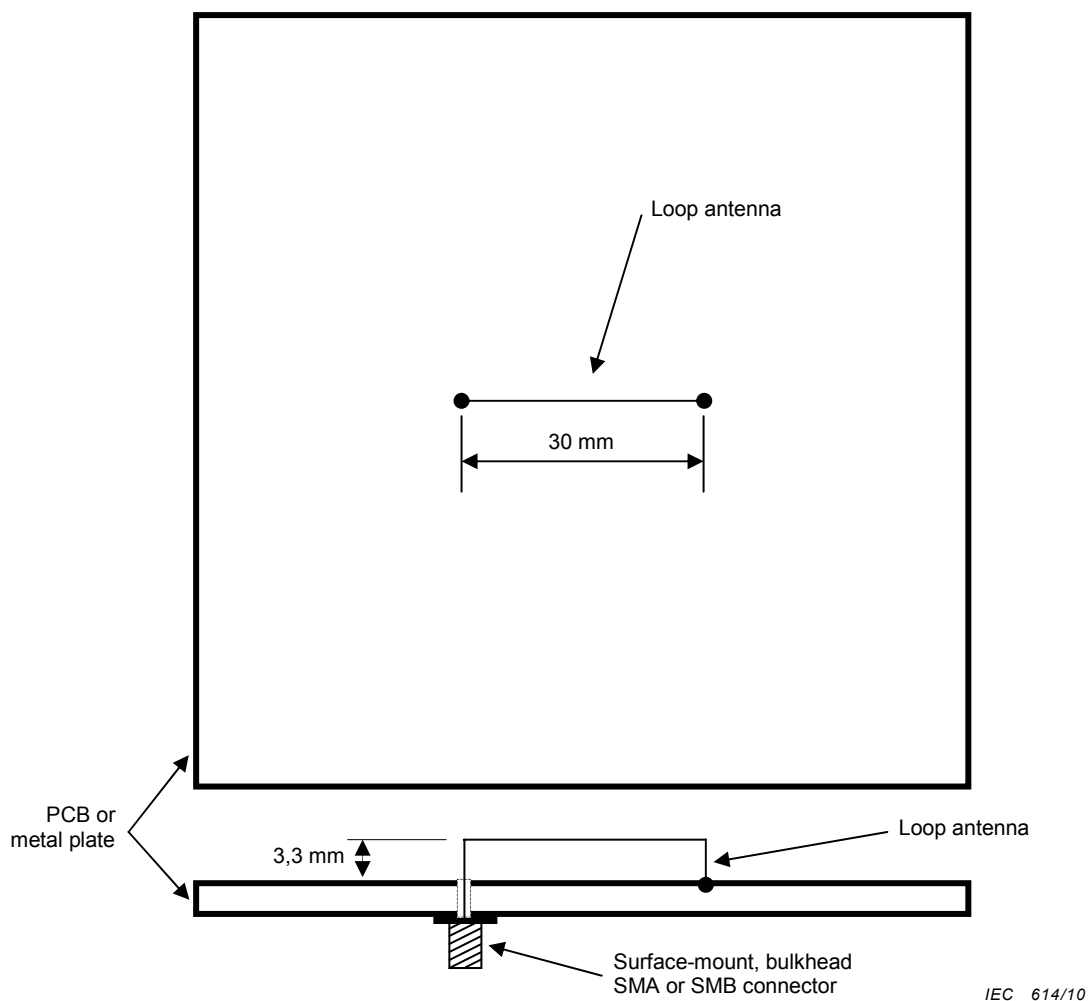
$$S_{21_{\text{dB}}} = 20 \cdot \log(495,15 \times 10^{-6}) = -66,11 \text{ dB}$$

The magnetic field to voltage transfer function given in Equation (A.8) and converted to decibels, for the parameters given above, is plotted in Figure A.4 and is suited for characterization up to 1 GHz. The value of the transfer function shall be compensated for the TEM cell septum-to-device height as given in A.4.

Due to the non-ideal nature of TEM cell and GTEM cell devices, a maximum deviation of 6 dB is allowed for 3 % of the frequencies determined in accordance with 8.2.3. For all other frequencies, the performance of the field strength shall be within 1 dB of the ideal curve given in Figure A.4. Frequencies at which the deviation is greater than 1 dB shall be listed in the test report.

NOTE 1 Any failure at a frequency with a deviation of greater than 1 dB should be ignored during qualification testing.

NOTE 2 Since the magnetic field to voltage transfer function is not continuously proportional with frequency for the parameters given above, the electric field to voltage characterization given in A.2 is preferred.



In the case of a PCB, a ground plane is required on both sides

Figure A.3 – *H* field characterization test fixture

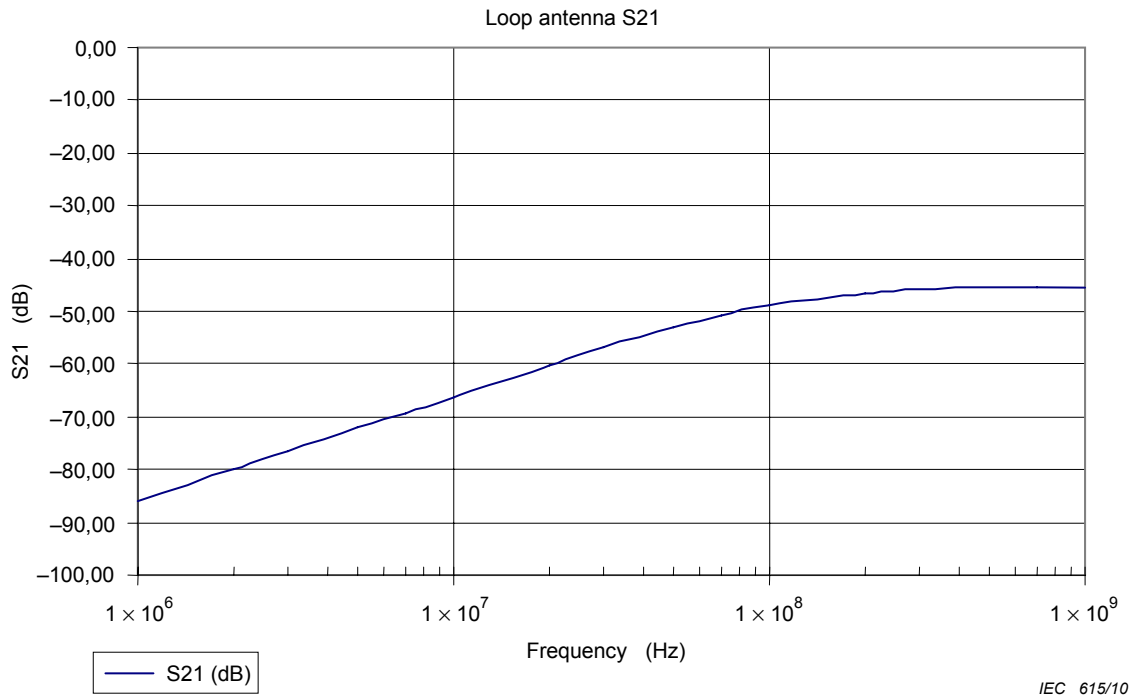


Figure A.4 – The magnetic field to voltage transfer function

A.4 Package height correction

With the above calculations, it is assumed the field strength is homogeneous over the area of integration. However, when a device/IC is packaged with the leadframe or heat spreader grounded to the test board reference plane, a small correction shall be applied for the field strength due to the change of height between septum and the “grounded” metal in the package. For a septum to device height greater than the standard 45 mm, this correction can be ignored. When the septum to device height is less than 45 mm, the local field strength is significantly affected and shall be corrected.

Example:

Septum height = 30 mm

Diepad height = 1,5 mm

E -field correction = Septum height / (Septum height – diepad height) = 105 % $\approx$ 0,5 dB

A.5 Characterization set-up

The test set-up for characterization is similar to Figure 1 and Figure 2 except that the EMC test board and the DUT monitor are replaced by the characterization board and a measurement device. The SMA or SMB connector of the characterization board is connected via a 50 Ω coaxial cable to the 50 Ω input of a measurement device such as an RF spectrum analyzer, RF voltmeter or power meter. Alternately, a vector network analyzer may be used to perform the characterization by providing both the stimulus (RF disturbance source) and measurement in a single device.

A.6 Characterization procedure

For each frequency of interest, subtract the value of the measured signal from the value of the injected signal and compare to the theoretical value given by the appropriate S21 equation. All values shall be in decibels.

Annex B (informative)

TEM CELL and wideband TEM cell descriptions

B.1 TEM cell

The TEM cell offers a broadband method of measuring either immunity of a DUT to fields generated within the cell or radiated emissions from a DUT placed within the cell. It eliminates the use of conventional antennas with their inherent measurement limitations of bandwidth, non-linear phase, directivity and polarisation. The TEM (Transverse Electromagnetic Mode) cell is an expanded transmission line that propagates a TEM wave from an external or internal source. This wave is characterised by transverse orthogonal electric (E) and magnetic (H) fields, which are perpendicular to the direction of propagation along the length of the cell or transmission line. This field simulates a planar field generated in free space with impedance of $377\ \Omega$. The TEM mode has no low frequency cut-off. This allows the cell to be used at frequencies as low as desired. The TEM mode also has linear phase and constant amplitude response as a function of frequency. This makes it possible to use the cell to generate or detect a known field intensity. The upper useful frequency for a cell is limited by distortion of the test signal caused by resonances and multi-moding that occur within the cell. These effects are a function of the physical size and shape of the cell.

For example, the 1 GHz TEM cell is of a size and shape, with impedance matching at the input and output feed points of the cell, that limits the VSWR to less than 1,5 up to its rated frequency. The cell is tapered at each end to adapt to conventional $50\ \Omega$ coaxial connectors and is equipped with an access port to accommodate the IC test board. The first resonance is demonstrated by a high VSWR over a narrow frequency range. The high Q of the cell is responsible for this high VSWR. A cell verified for field generation to a maximum frequency will also be suitable for emission measurements to this frequency.

B.2 Wideband TEM or Gigahertz TEM (GTEM) cell

The wideband TEM, or GTEM, cell is an expanded transmission line that does not transition back to a $50\ \Omega$ feed as in a conventional TEM cell but continuously expands and is terminated with a septum load and RF absorber material. This cell avoids the moding limitations of conventional TEM cells so that its usable upper frequency is limited not by its dimensions, but by the characteristics of the RF absorber and septum termination. A wideband TEM cell may be almost any practical size with a usable frequency range up to 18 GHz.

GTEM cells offer the potential to extend the upper frequency limit of a radiated immunity measurement beyond the 1 GHz to 2 GHz limitation of a TEM cell. An extended frequency limit is necessary, for example, to enable the proper evaluation of ICs that utilize clock frequencies near or above 1 GHz.

In addition, the larger size of the GTEM cell offers the ability to evaluate an IC that requires a PCB larger than the default size defined in IEC 62132-1. Like any other modification to this test method, the PCB size may be extended as agreed between the manufacturer and user and should be carefully documented in the test report.

Bibliography

- [1] Muccioli, J.P., North, T.M., Slattery, K.P., "Characterisation of the RF Immunity from a Family of Microprocessors Using a 1 GHz TEM Cell", 1997 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1997.
- [2] Engel, A., "Model of IC Immunity into a TEM Cell", 1997 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1997.
- [3] Muccioli, J.P., North, T.M., Slattery, K.P., "Investigation of the Theoretical Basis for Using a 1 GHz TEM Cell to Evaluate the Radiated Immunity from Integrated Circuits", 1996 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1996.
- [4] Goulette, R.R., Crawhall, R.J., Xavier, S.K., "The Determination of Radiated Immunity Limits for Integrated Circuits within Telecommunications Equipment", IEICE Transactions on Communications, Vol. E75-B, No. 3, March 1992.
- [5] Goulette, R.R., "The Measurement of Radiated Immunity from Integrated Circuits", 1992 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1992.
- [6] Koepke, G.H., Ma, M.T., "A New Method for Determining the Emission Characteristics of an Unknown Interference Source", Proceedings of the 5th International Zurich Symposium & Technical Exhibition on EMC, March 1983, pp. 35-40.
- [7] IEC 61000-4-3:2006, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*
Amendment 1 (2007)
- [8] IEC 61000-4-6:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*
- [9] IEC 61000-4-20:2003, *Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides*
- [10] CISPR 16-1-1:2007, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus.*
- [11] CISPR 16-1-2:2006, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Conducted disturbances*
- [12] CISPR 16-1-5:2003, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration test sites for 30 MHz to 1 000 MHz*
- [13] CISPR 16-2-1:2008, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements*
- [14] CISPR 16-2-2:2005, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-2: Methods of measurement of disturbances and immunity – Measurement of disturbance power*

- [15] CISPR 16-2-3:2006, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*
 - [16] CISPR 16-2-4:2003, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-4: Methods of measurement of disturbances and immunity – Immunity measurements*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	25
1 Domaine d'application	27
2 Références normatives	27
3 Termes et définitions	27
4 Généralités	28
5 Conditions d'essai	29
6 Equipement d'essai	29
6.1 Généralités	29
6.2 Câbles	30
6.3 Source de perturbation RF	30
6.4 Cellule TEM	30
6.5 Cellule TEM en Gigahertz	30
6.6 Terminaison de 50 Ω	30
6.7 Dispositif de surveillance du DEE	31
7 Montage d'essai	31
7.1 Généralités	31
7.2 Détails du montage d'essai	31
7.3 Carte d'essai CEM	32
8 Procédure d'essai	33
8.1 Généralités	33
8.2 Mesure de l'immunité	33
8.2.1 Généralités	33
8.2.2 Signaux de perturbation RF	33
8.2.3 Fréquences d'essai	33
8.2.4 Niveaux d'essai et durée de maintien	33
8.2.5 Surveillance du DEE	34
8.2.6 Procédure détaillée	34
9 Rapport d'essai	34
Annexe A (normative) Procédure de caractérisation de l'intensité de champ	36
Annexe B (informative) Descriptions de la cellule TEM et de la cellule TEM à large bande	46
Bibliographie	48
Figure 1 – Section des cellules TEM et GTEM	31
Figure 2 – Montage d'essai de la cellule TEM	32
Figure 3 – Montage d'essai de la cellule GTEM	32
Figure 4 – Logigramme de la procédure de mesure de l'immunité	35
Figure A.1 – Dispositif d'essai de caractérisation du champ E	37
Figure A.2 – Fonction de transfert du champ électrique à la tension	39
Figure A.3 – Dispositif d'essai de caractérisation du champ H	43
Figure A.4 – Fonction de transfert du champ magnétique à la tension	44

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CIRCUITS INTÉGRÉS – MESURE DE
L'IMMUNITÉ ELECTROMAGNÉTIQUE –Partie 2: Mesure de l'immunité rayonnée –
Méthode de cellule TEM et cellule TEM à large bande

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 propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62132-2 a été établie par le sous-comité 47A: Circuits intégrés, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47A/838/FDIS	47A/843/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.

La présente partie de la CEI 62132 doit être lue conjointement avec la CEI 62132-1.

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.

Les futures normes de cette série porteront le nouveau titre général cité ci-dessous. Le titre des normes qui existant déjà dans cette série sera mis à jour lors d'une prochaine édition.

CIRCUITS INTÉGRÉS – MESURE DE L'IMMUNITÉ ELECTROMAGNÉTIQUE –

Partie 2: Mesure de l'immunité rayonnée – Méthode de cellule TEM et cellule TEM à large bande

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale spécifie une méthode de mesure de l'immunité d'un circuit intégré (CI) aux perturbations électromagnétiques rayonnées aux fréquences radioélectriques. La gamme de fréquences de cette méthode est comprise entre 150 kHz et 1 GHz, ou dans les limites fixées par les caractéristiques de la cellule TEM.

2 Références normative

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. 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 60050-131:2002, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 131: Théorie des circuits*

CEI 60050-161:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 61967-2, *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz – Partie 2: Mesure des émissions rayonnées – Méthode de cellule TEM et cellule TEM à large bande*

CEI 62132-1:2006, *Circuits intégrés – Mesure de l'immunité électromagnétique, 150 kHz à 1 GHz – Partie 1: Conditions générales et définitions*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions de la CEI 62132-1, de la CEI 60050-131 et de la CEI 60050-161, ainsi que les suivantes, s'appliquent.

3.1

mode électromagnétique transverse (TEM)¹

mode de guide d'ondes, dans lequel les composantes des champs électriques et magnétiques dans le sens de propagation sont bien inférieures aux composantes de champ primaire à travers toute section transversale

3.2

guide d'ondes TEM

système de ligne de transmission ouverte ou fermée, dans lequel une onde se propage dans le mode électromagnétique transverse, afin de produire un champ spécifié pour les essais

¹ TEM = *transverse electromagnetic mode*.

3.3**cellule TEM**

guide d'ondes TEM fermé, souvent une ligne coaxiale rectangulaire, dans lequel une onde est propagée dans le mode électromagnétique transverse, afin de produire un champ spécifié pour les essais. Le conducteur extérieur enferme complètement le conducteur intérieur

3.4**guide d'ondes TEM à deux accès**

guide d'ondes TEM avec des accès de mesure d'entrée/sortie au niveau des deux extrémités

3.5**guide d'ondes TEM à un accès**

guide d'ondes TEM avec un seul accès de mesure d'entrée/sortie

NOTE Les guides d'ondes TEM de ce type caractérisent généralement une terminaison de ligne à large bande au niveau de l'extrémité de l'accès non dédié à la mesure.

3.6**impédance caractéristique**

pour toute surface d'onde à phase constante, amplitude du rapport de la tension entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur par rapport au courant sur l'un ou l'autre des conducteurs

NOTE L'impédance caractéristique ne dépend pas des amplitudes de tension/courant et ne dépend que de la géométrie transversale de la ligne de transmission. Les guides d'ondes TEM sont généralement conçus pour avoir une impédance caractéristique de 50 Ω . Les guides d'ondes TEM avec une impédance caractéristique de 100 Ω sont souvent utilisés pour les essais transitoires.

3.7**matériau anéchoïque**

matériau ayant une propriété d'absorption, ou de réduction, du niveau d'énergie électromagnétique réfléchi par ce matériau

3.8**terminaison de ligne à large bande**

terminaison qui combine une charge à composants discrets à basse fréquence, afin de s'adapter à l'impédance caractéristique des guides d'ondes TEM (généralement 50 Ω), et un volume de matériau anéchoïque à haute fréquence

3.9**composante (de champ) primaire**

composante de champ électrique alignée avec la polarisation d'essai prévue

NOTE Par exemple, dans les cellules TEM à deux accès conventionnelles, la cloison est parallèle au sol, et le vecteur du champ électrique de mode primaire est vertical au niveau du centre transversal de la cellule TEM.

3.10**composante (de champ) secondaire**

dans un système de coordonnées cartésien, l'une ou l'autre des deux composantes de champ électrique, perpendiculaire(s) à la composante de champ primaire, et perpendiculaires entre elles

4 Généralités

Le CI à évaluer pour la performance CEM est désigné par « dispositif en essai » (DEE). Le DEE doit être monté sur une carte de circuit imprimé (PCB)², désignée par « carte d'essai CEM ». La carte d'essai CEM contient les points de mesure ou de surveillance appropriés, au niveau desquels les paramètres de réponse du DEE peuvent être mesurés.

² PCB = *printed circuit board*.

La carte d'essai CEM est fixée à un accès d'accouplement (désigné par « accès à la paroi »), découpé sur la partie supérieure ou inférieure d'une cellule à mode électromagnétique transverse (TEM). Il est possible d'utiliser une cellule TEM à deux accès ou une cellule TEM à un accès. Dans le présent document, une cellule TEM à deux accès est désignée par « cellule TEM », tandis qu'une cellule TEM à un accès est désignée par « cellule TEM (en Gigahertz) à large bande », ou « cellule GTEM³ ». La carte d'essai n'est pas placée à l'intérieur de la cellule, comme dans l'usage conventionnel, mais devient une partie de la paroi de la cellule. Cette méthode s'applique à toute cellule TEM ou GTEM modifiée pour incorporer l'accès à la paroi; néanmoins, la réponse mesurée du DEE sera affectée par de nombreux facteurs. Le facteur principal affectant la réponse du DEE est l'espacement entre la cloison et la carte d'essai CEM (paroi de la cellule).

NOTE 1 Cette procédure a été élaborée à l'aide d'une cellule TEM de 1 GHz, avec un espacement entre la cloison et le boîtier de 45 mm, et d'une cellule GTEM, avec un espacement entre la cloison et le boîtier de 45 mm au centre de l'accès à la paroi.

La carte d'essai CEM contrôle la géométrie et l'orientation du DEE par rapport à la cellule, et élimine tous les conducteurs de connexion à l'intérieur de la cellule (ceux-ci se situent sur la face arrière de la carte, qui est à l'extérieur de la cellule). Pour la cellule TEM, l'un des accès de 50 Ω est terminé par une charge de 50 Ω. L'autre accès de 50 Ω pour une cellule TEM, ou le seul accès de 50 Ω pour une cellule GTEM, est connecté à la sortie d'un générateur de perturbation RF. Le signal de perturbation à onde entretenue (CW)⁴, injecté expose le DEE à un champ électromagnétique à onde plane, où la composante de champ électrique est déterminée par la tension injectée et la distance entre le DEE et la cloison de la cellule. La relation est donnée par:

$$E = V/h$$

où

E est l'intensité de champ (V/m) à l'intérieur de la cellule;

V est la tension appliquée (V) à travers la charge de 50 Ω; et

h est la hauteur (m) entre la cloison et le centre du boîtier du CI.

Le fait de faire pivoter la carte d'essai CEM dans les quatre orientations possibles dans l'accès à la paroi de la cellule TEM ou GTEM est nécessaire pour déterminer la sensibilité du DEE aux champs magnétiques induits. En fonction du DEE, les paramètres de réponse du DEE peuvent varier (par exemple une variation de la consommation de courant, une détérioration des performances de fonctionnement, une gigue de forme d'onde, etc.) L'objectif de cette méthode d'essai est de fournir une mesure quantitative de l'immunité RF des CI en vue de comparaisons ou à d'autres fins.

NOTE 2 Des informations complémentaires sur l'utilisation et la caractérisation des cellules TEM pour les essais d'immunité rayonnée figurent dans la CEI 61000-4-20.

5 Conditions d'essai

Les conditions d'essai doivent satisfaire aux exigences décrites dans la CEI 62132-1.

6 Equipement d'essai

6.1 Généralités

L'équipement d'essai doit satisfaire aux exigences décrites dans la CEI 62132-1. De plus, les exigences suivantes relatives à l'équipement d'essai doivent s'appliquer.

³ GTEM = *gigahertz transverse electromagnetic mode*.

⁴ CW = *continuous wave*.

6.2 Câbles

Un câble coaxial doublement écranté ou semi-rigide peut être exigé, en fonction des conditions ambiantes RF locales.

6.3 Source de perturbation RF

La source de perturbation RF peut comprendre un générateur de signal RF avec une fonction de modulation, un amplificateur de puissance RF et un atténuateur variable facultatif. Le gain (ou l'affaiblissement) de l'équipement produisant des perturbations RF, sans la cellule TEM ou GTEM, doit être connu, avec une tolérance de $\pm 0,5$ dB.

6.4 Cellule TEM

La cellule TEM utilisée pour cette procédure d'essai est un guide d'ondes TEM à deux accès et doit être pourvue d'un accès à la paroi dimensionné afin de pouvoir s'accoupler avec la carte d'essai CEM. La cellule TEM ne doit pas présenter de modes d'ordre plus élevé sur la gamme de fréquences mesurée. Pour cette procédure, la gamme de fréquences recommandée de la cellule TEM est comprise entre 150 kHz et la fréquence de la première résonance du mode d'ordre plus élevé le plus bas (généralement < 2 GHz). La gamme de fréquences évaluée doit être couverte en utilisant uniquement une seule cellule.

Le rapport d'onde stationnaire (ROS) de la cellule TEM sur la gamme de fréquences mesurée doit être inférieur à 1,5. Cependant, en raison de l'éventualité d'erreurs lors du calcul du champ E appliqué, une cellule TEM avec un ROS inférieur à 1,2 est préférée. Une cellule TEM avec un ROS inférieur à 1,2 ne nécessite pas de caractérisation de l'intensité de champ. Une cellule TEM avec un ROS supérieur ou égal à 1,2 mais inférieur à 1,5 doit être caractérisée conformément à la procédure de l'Annexe A. Les données brutes de ROS de la cellule TEM (sur la gamme de fréquences de la mesure) doivent être incluses dans le rapport d'essai. Les résultats de mesure obtenus à partir d'une cellule TEM avec un ROS inférieur à 1,2 prévaudront sur les données provenant d'une cellule TEM avec un ROS plus élevé.

6.5 Cellule TEM en Gigahertz

La cellule TEM en Gigahertz, ou à large bande (GTEM) utilisée pour cette procédure d'essai, est un guide d'ondes TEM à un accès et doit être pourvue d'un accès à la paroi dimensionné afin de pouvoir s'accoupler avec la carte d'essai CEM. La cellule GTEM ne doit pas présenter de modes d'ordre plus élevé sur la gamme de fréquences mesurée. Pour cette procédure, la gamme de fréquences recommandée de la cellule GTEM est comprise entre 150 kHz et la fréquence de la première résonance du mode d'ordre plus élevé le plus bas (généralement > 2 GHz). La gamme de fréquences évaluée doit être couverte en utilisant une seule cellule.

Le ROS de la cellule GTEM sur la gamme de fréquences mesurée doit être inférieur à 1,5. Cependant, en raison de l'éventualité d'erreurs lors du calcul du champ E appliqué, une cellule GTEM avec un ROS inférieur à 1,2 est préférée. Une cellule GTEM avec un ROS inférieur à 1,2 ne nécessite pas de caractérisation de l'intensité de champ. Une cellule GTEM avec un ROS supérieur ou égal à 1,2 mais inférieur à 1,5 doit être caractérisée conformément à la procédure de l'Annexe A. Les données brutes de ROS de la cellule GTEM (sur la gamme de fréquences de la mesure) doivent être incluses dans le rapport d'essai. Les résultats de mesure obtenus à partir d'une cellule GTEM avec un ROS inférieur à 1,2 prévaudront sur les données provenant d'une cellule GTEM avec un ROS plus élevé.

6.6 Terminaison de 50 Ω

Une terminaison de 50 Ω avec un ROS inférieur à 1,1 et une puissance maximale admissible suffisante sur la gamme de fréquences de mesure est nécessaire pour l'accès de mesure de la cellule TEM non connecté au générateur de perturbation RF.

6.7 Dispositif de surveillance du DEE

Le DEE doit être surveillé pour détecter une éventuelle dégradation de son fonctionnement. L'équipement de surveillance ne doit pas être affecté défavorablement par le signal de perturbation RF injecté.

7 Montage d'essai

7.1 Généralités

Le montage d'essai doit satisfaire aux exigences décrites dans la CEI 62132-1. De plus, les exigences suivantes relatives au montage d'essai doivent s'appliquer.

7.2 Détails du montage d'essai

La carte d'essai CEM doit être montée dans l'accès à la paroi de la cellule TEM ou de la cellule GTEM, le DEE étant face à la cloison, tel que représenté sur la Figure 1.

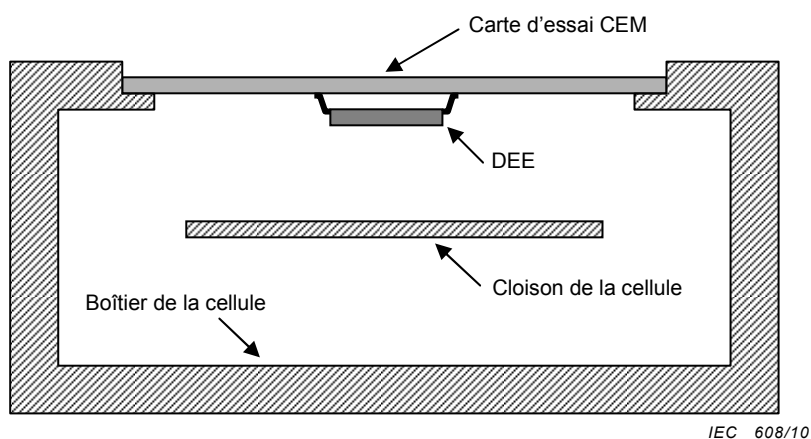


Figure 1 – Section des cellules TEM et GTEM

Le montage d'essai doit être tel que décrit sur la Figure 2 et sur la Figure 3 pour les configurations d'essai de la cellule TEM et de la cellule GTEM, respectivement. L'un des accès de mesure de la cellule TEM doit être terminé par une charge de 50 Ω . L'accès de mesure de la cellule TEM restant, ou le seul accès de mesure de la cellule GTEM, doit être connecté à l'accès de sortie de l'amplificateur de puissance.

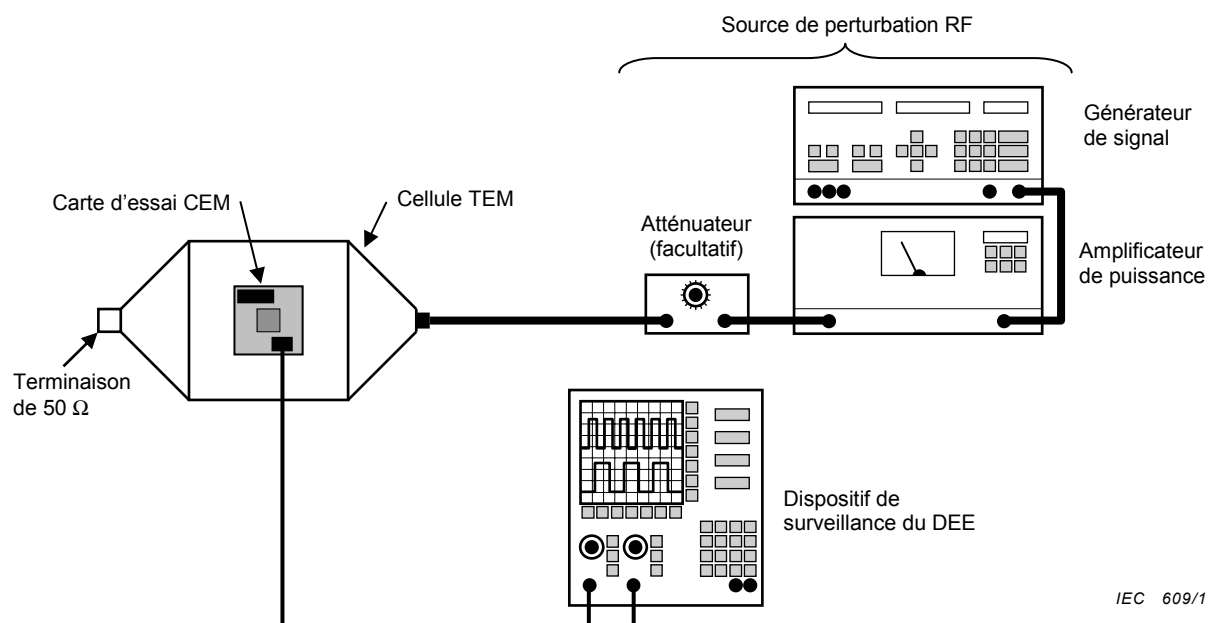


Figure 2 – Montage d'essai de la cellule TEM

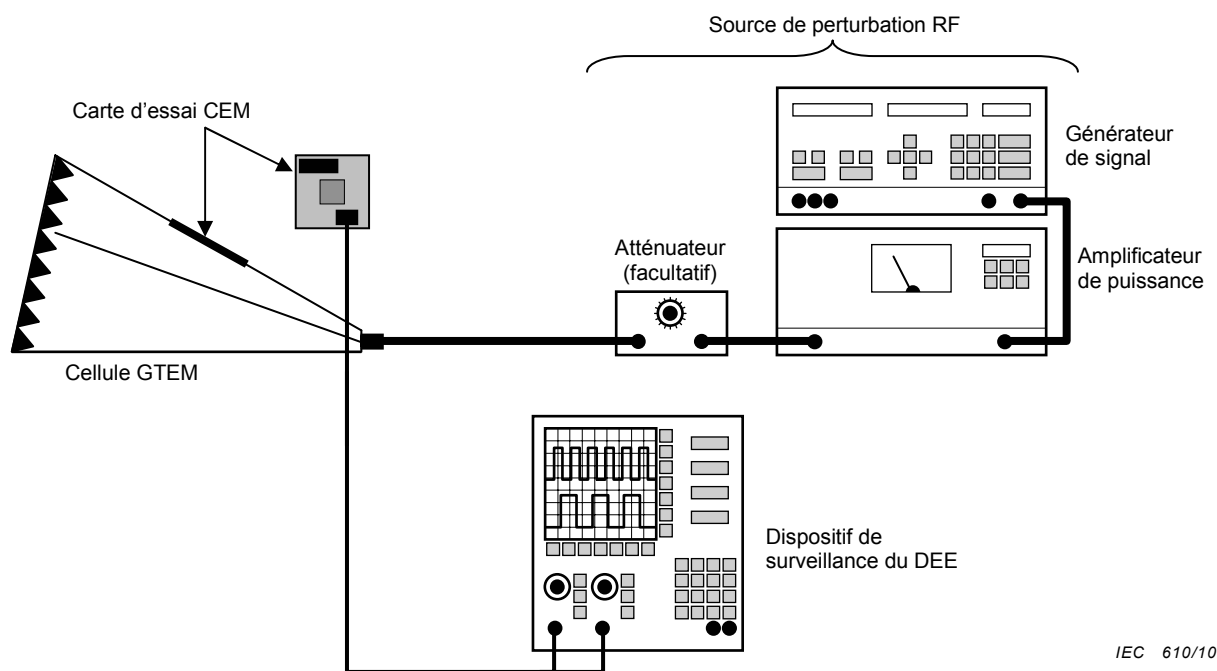


Figure 3 – Montage d'essai de la cellule GTEM

7.3 Carte d'essai CEM

La carte d'essai CEM doit être conçue conformément aux exigences de la CEI 61967-2.

8 Procédure d'essai

8.1 Généralités

La procédure d'essai doit être conforme à la CEI 62132-1, à l'exception des modifications suivantes. Ces conditions d'essai par défaut sont destinées à assurer un environnement d'essai cohérent. Les étapes suivantes doivent être effectuées:

- a) caractérisation de l'intensité de champ (voir Annexe A);
- b) mesure de l'immunité (voir 8.2).

Si les utilisateurs de cette procédure sont d'accord sur d'autres conditions, ces conditions doivent figurer dans le rapport d'essai.

8.2 Mesure de l'immunité

8.2.1 Généralités

Avec la carte d'essai CEM sous tension et le DEE mis en fonctionnement dans le mode d'essai prévu, mesurer l'immunité au signal de perturbation RF injecté sur la gamme de fréquences souhaitée.

8.2.2 Signaux de perturbation RF

Les signaux de perturbation RF doivent être

- à onde entretenue, et
- à onde entretenue modulée en amplitude (AM)⁵ à une profondeur de 80 % par une onde sinusoïdale de 1 kHz, ou (éventuellement) modulée en impulsion à une profondeur de 100 % avec un cycle de fonctionnement de 50 % et un taux de répétition des impulsions de 1 kHz.

NOTE L'exigence de modulation d'impulsion facultative est généralement environ 6 dB plus sévère que l'exigence de modulation d'amplitude indiquée.

8.2.3 Fréquences d'essai

L'immunité RF du DEE doit être évaluée à un certain nombre de fréquences d'essai discrètes de 150 kHz à 1 GHz, ou dans les limites fixées par les caractéristiques de la cellule TEM. Les fréquences à soumettre aux essais doivent être générées à partir des exigences spécifiées dans le Tableau 2 de la CEI 62132-1.

De plus, l'immunité RF du DEE doit être évaluée aux fréquences critiques. Les fréquences critiques sont les fréquences qui sont générées, reçues ou traitées par le DEE. Les fréquences critiques comprennent, sans toutefois s'y limiter, les fréquences obtenues par un quartz, les fréquences d'oscillateur, les fréquences d'horloge, les fréquences de données, etc.

8.2.4 Niveaux d'essai et durée de maintien

Le niveau d'essai appliqué doit être augmenté par paliers jusqu'à ce qu'un dysfonctionnement soit observé ou jusqu'à ce que le réglage maximal du générateur de signal soit atteint. La taille des paliers doit figurer dans le rapport d'essai.

A chaque niveau d'essai et chaque fréquence, le signal de perturbation RF doit être appliqué pendant au moins 1 s (ou au moins pendant le temps nécessaire pour que le DEE réponde et pour que le système de surveillance détecte toute dégradation de fonctionnement).

⁵ AM = *amplitude modulated*.

8.2.5 Surveillance du DEE

La sensibilité du DEE doit être surveillée à l'aide de l'équipement d'essai approprié, et selon les exigences de la CEI 62132-1.

8.2.6 Procédure détaillée

8.2.6.1 Caractérisation de l'intensité de champ

A chaque fréquence à soumettre aux essais, le réglage du générateur de signal pour atteindre le niveau ou les niveaux de champ électrique souhaités doit être déterminé, tel que décrit à l'Annexe A.

8.2.6.2 Mesure de l'immunité

Le diagramme d'essai, comprenant les étapes principales, est décrit sur la Figure 4. L'une des deux stratégies suivantes peut être utilisée pour réaliser cette mesure:

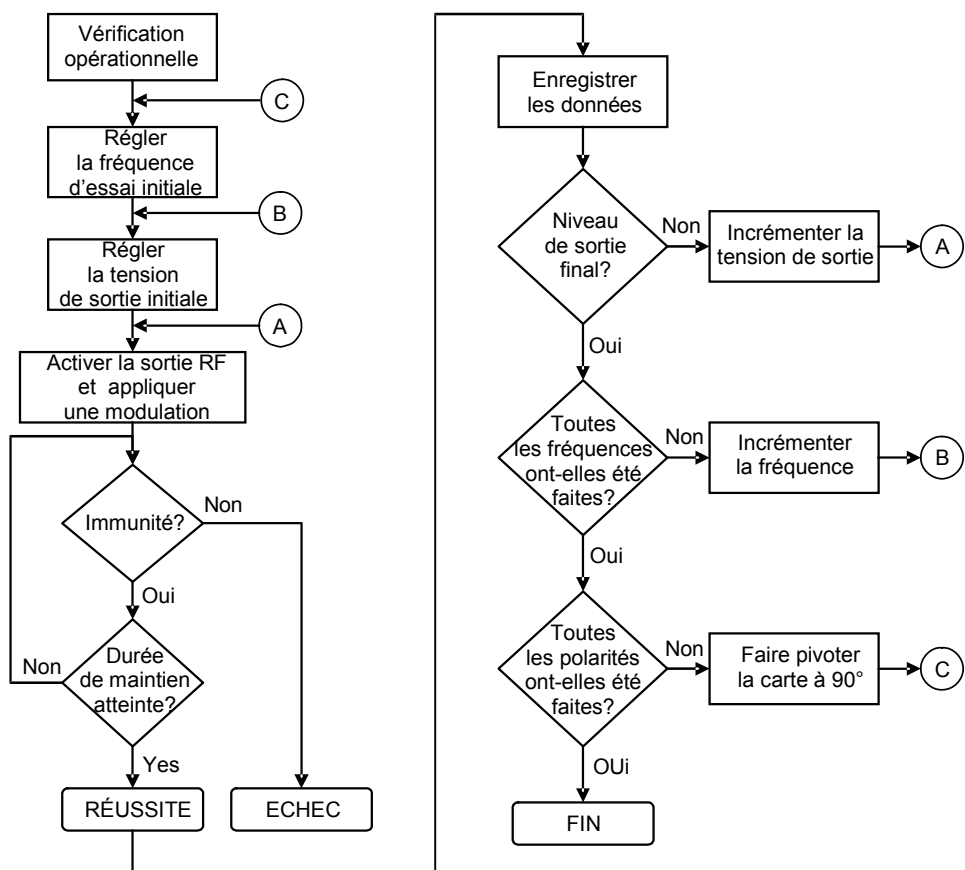
- a) la sortie du générateur de perturbation RF doit être réglée sur une valeur faible (par exemple 20 dB en dessous de la limite souhaitée) et doit être augmentée lentement jusqu'à la limite souhaitée, tout en surveillant le DEE pour détecter une éventuelle dégradation de fonctionnement. Toute dégradation de fonctionnement à la limite souhaitée ou en dessous de cette limite doit être enregistrée ;
- b) la sortie du générateur de perturbation RF doit être réglée sur la limite de fonctionnement souhaitée, tout en surveillant le DEE pour détecter une éventuelle dégradation de son fonctionnement. Toute dégradation de fonctionnement à la limite souhaitée doit être enregistrée. La sortie du générateur de perturbation RF doit ensuite être diminuée jusqu'à retour à un fonctionnement normal. La sortie du générateur de perturbation RF doit ensuite être augmentée jusqu'à ce que la dégradation de fonctionnement se produise à nouveau. Ce niveau doit également être enregistré.

NOTE Le DEE peut répondre différemment à chacune des méthodes décrites ci-dessus. Dans un tel cas, une méthode dans laquelle le signal de brouillage peut être augmenté ou diminué peut être exigée.

La mesure de l'immunité RF doit être réalisée dans chacune des quatre orientations possibles, entraînant quatre ensembles de données distincts. La première mesure est effectuée avec la carte d'essai du CI montée selon une orientation arbitraire du CI dans l'accès à la paroi de la cellule. La deuxième mesure est effectuée avec la carte d'essai du CI tournée de 90 degrés par rapport à l'orientation de la première mesure. Pour chacune des troisième et quatrième mesures, la carte d'essai est tournée à nouveau, afin de s'assurer que l'immunité est mesurée dans l'ensemble des quatre orientations possibles. Les quatre ensembles de données doivent figurer dans le rapport d'essai.

9 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit être conforme aux exigences de la CEI 62132-1.



IEC 611/10

Figure 4 – Logigramme de la procédure de mesure de l'immunité

Annexe A (normative)

Procédure de caractérisation de l'intensité de champ

A.1 Généralités

Le réglage du niveau de signal du générateur de perturbation RF exigé pour atteindre le niveau de champ électrique souhaité à l'intérieur de la cellule TEM ou GTEM doit être déterminé, conformément à cette procédure. Cette mesure doit être réalisée à chaque fréquence normalisée (linéaire ou logarithmique, telle qu'utilisée dans l'essai réel), tel que déterminé conformément à 8.2.3. Le signal de perturbation RF utilisé pour la caractérisation doit être un signal à onde entretenue (par exemple aucune modulation ne doit être appliquée).

A.2 Caractérisation de l'intensité de champ électrique (*E*)

A.2.1 Dispositif d'essai de caractérisation du champ électrique

Le champ électrique peut être mesuré à l'aide d'une petite antenne monopole au centre de la carte de caractérisation représentée sur la Figure A.1. Il est recommandé que le diamètre de la charge capacitive soit faible (par exemple une surface d'environ 0,001 m² ou 10 cm²), que sa forme soit circulaire ou carrée. L'extrémité de la plaque de l'antenne (charge capacitive) doit être maintenue parallèle à la surface métallique supérieure de la carte de caractérisation, qui peut être une carte de circuit imprimé ou une plaque métallique, à une hauteur de 3,0 mm ± 0,1 mm. Cette extrémité de la plaque atteindra une capacité d'environ 3 pF. Le centre de cette plaque doit être relié à un connecteur de traversée coaxial pour montage en surface qui, à son tour, doit être connecté à l'impédance d'entrée de 50 Ω d'un voltmètre RF ou d'un analyseur de spectre RF. Le circuit passe-haut qui en résulte entraîne une pente ascendante de 20 dB par décade sur l'ensemble de la gamme de fréquences jusqu'à 1 GHz.

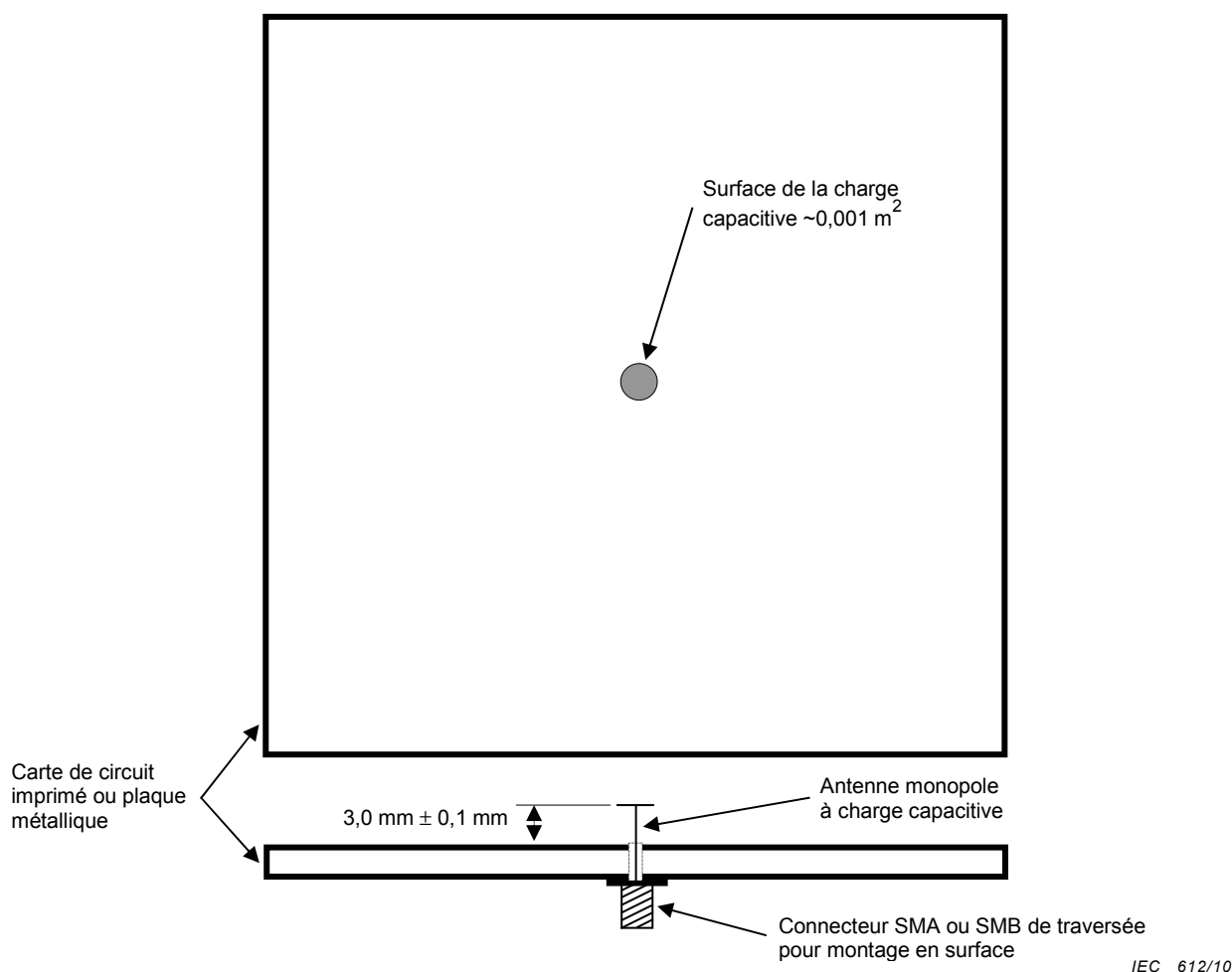
La carte de caractérisation doit avoir des dimensions identiques à celles de la carte d'essai CEM à utiliser au cours des mesures réelles de l'immunité rayonnée, tel que spécifié dans la CEI 62132-1. Le connecteur de traversée doit être du type 50 Ω, SMA ou SMB, et placé exactement au centre de la carte de caractérisation.

La carte de circuit imprimé doit être construite avec au moins une couche conductrice. Il convient que la couche conductrice recouvre l'ensemble de la carte formant un plan de masse solide. Il convient que le connecteur SMA ou SMB soit monté sur le côté de la carte de circuit imprimé opposé au plan de masse, avec son conducteur extérieur connecté au plan de masse et le conducteur central passant au travers d'un trou non métallisé pénétrant l'autre côté de la carte. Il convient que des couches conductrices de carte de circuit imprimé supplémentaires soient attribuées à la masse et connectées à l'aide de trous de liaison multiples, tel que représenté pour la carte d'essai CEM dans la CEI 62132-1.

NOTE Les tolérances pour la surface de l'extrémité de la plaque, la capacité et l'emplacement de la carte sont en cours d'établissement.

A.2.2 Mesure de la capacité

La charge capacitive de l'antenne monopole doit être mesurée séparément pour assurer une capacité de 3 pF. La capacité doit être mesurée avec le dispositif d'essai de caractérisation inséré dans la cellule TEM. Avec le plan de référence de l'impédance fixé au niveau du connecteur coaxial de traversée monté à l'emplacement où le dispositif/le CI doit être placé, l'antenne monopole est montée sur ce connecteur de traversée et l'impédance (c'est-à-dire la capacité) est mesurée à une fréquence de référence de 10 MHz. Cette mesure est réalisée pour assurer que la longueur physique du fil (c'est-à-dire l'inductance) n'affecte pas la caractérisation.



Dans le cas d'une carte de circuit imprimé, un plan de masse est exigé sur les deux côtés.

Figure A.1 – Dispositif d'essai de caractérisation du champ E

A.2.3 Calcul de l'intensité de champ électrique

La tension induite à la sortie de l'antenne monopole est donnée par:

$$V_{\text{ant}} = h_{\text{ant}} \times E_{\text{tem}} \quad (\text{A.1})$$

où

V_{ant} est la tension au niveau de l'accès de sortie du dispositif d'essai, exprimée en volts (V), par le champ électrique interne;

E_{tem} est le champ électrique à l'intérieur de la cellule TEM ou GTEM, exprimé en volts par mètre (V/m);

h_{ant} est la hauteur de l'antenne monopole, exprimée en mètres (m).

De plus, le champ électrique dans la cellule TEM ou GTEM est également donné par

$$E_{\text{tem}} = \frac{V_{\text{tem}}}{h_{\text{sep}}} \Rightarrow V_{\text{tem}} = E_{\text{tem}} \times h_{\text{sep}} \quad (\text{A.2})$$

où

V_{tem} est la tension au niveau de l'accès de la cellule TEM ou GTEM, exprimée en volts (V);

h_{sep} est la distance entre la charge capacitive et la cloison intérieure de la cellule TEM ou GTEM, exprimée en mètres (m).

La fonction de transfert résultante (S21) est alors donnée par

$$S_{21} = \frac{V_{\text{ant}}}{V_{\text{tem}}} = \frac{h_{\text{ant}}}{h_{\text{sep}}} \times \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + |Z_{\text{ant}}|^2}} \quad (\text{A.3})$$

où

$|Z_{\text{ant}}|$ est l'amplitude de l'impédance de l'antenne, donnée par $|1/(j\omega C)|$ et exprimée en ohms (Ω), en négligeant la résistance.

L'impédance de l'antenne est donnée par:

$$|Z_{\text{ant}}| = \frac{1}{\omega C_{\text{ant_meas}}} = \frac{1}{2\pi f \times C_{\text{ant_meas}}} \quad (\text{A.4})$$

où

$C_{\text{ant_meas}}$ est la capacité de l'antenne mesurée, exprimée en farads (F).

A.2.4 Exemple de calcul de l'intensité de champ électrique

A 10 MHz, la résolution de V_{ant} en fonction de E_{tem} , à l'aide de l'Equation (A.1), donne

$$V_{\text{ant}} = (3 \times 10^{-3}) \times E_{\text{tem}}$$

Pour une antenne monopole avec une capacité mesurée de 3 pF, l'impédance de l'antenne est calculée à partir de l'Equation (A.4)

$$|Z_{\text{ant}, 10\text{MHz}}| = \frac{1}{2\pi \times (10 \times 10^6 \text{ Hz}) \times (3 \times 10^{-12} \text{ F})} = 5305 \ \Omega$$

Ainsi, la fonction de transfert résultante à 10 MHz pour $h_{\text{sep}} = 45 \text{ mm} - 3 \text{ mm} = 42 \text{ mm}$ est calculée à l'aide de l'Equation (A.3), ce qui donne:

$$S_{21} = \frac{3 \times 10^{-3} \text{ m}}{42 \times 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + (5305)^2}} = 673,9 \times 10^{-6}$$

La conversion de la valeur S21 en décibels donne le résultat final suivant:

$$S_{21\text{dB}} = 20 \cdot \log(673,9 \times 10^{-6}) = -63,43 \text{ dB}$$

La fonction de transfert du champ électrique à la tension donnée dans l'Equation (A.3) et convertie en décibels, pour les paramètres donnés ci-dessus, est tracée sur la Figure A.2 et est adaptée à la caractérisation jusqu'à 1 GHz. La valeur de la fonction de transfert doit être compensée en fonction de la hauteur septum/composant sous test dans la cellule TEM, telle que donnée en A.4.

En raison de la nature non idéale des dispositifs de la cellule TEM et de la cellule G-TEM, un écart maximal de 6 dB est autorisé pour 3 % des fréquences déterminées

conformément à 8.2.3. Pour toutes les autres fréquences, la performance de l'intensité de champ doit se situer dans les limites de 1 dB de la courbe idéale donnée sur la Figure A.2. Les fréquences pour lesquelles l'écart est supérieur à 1 dB doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

NOTE Il convient que toute défaillance à une fréquence avec un écart supérieur à 1 dB soit négligée au cours des essais de qualification.

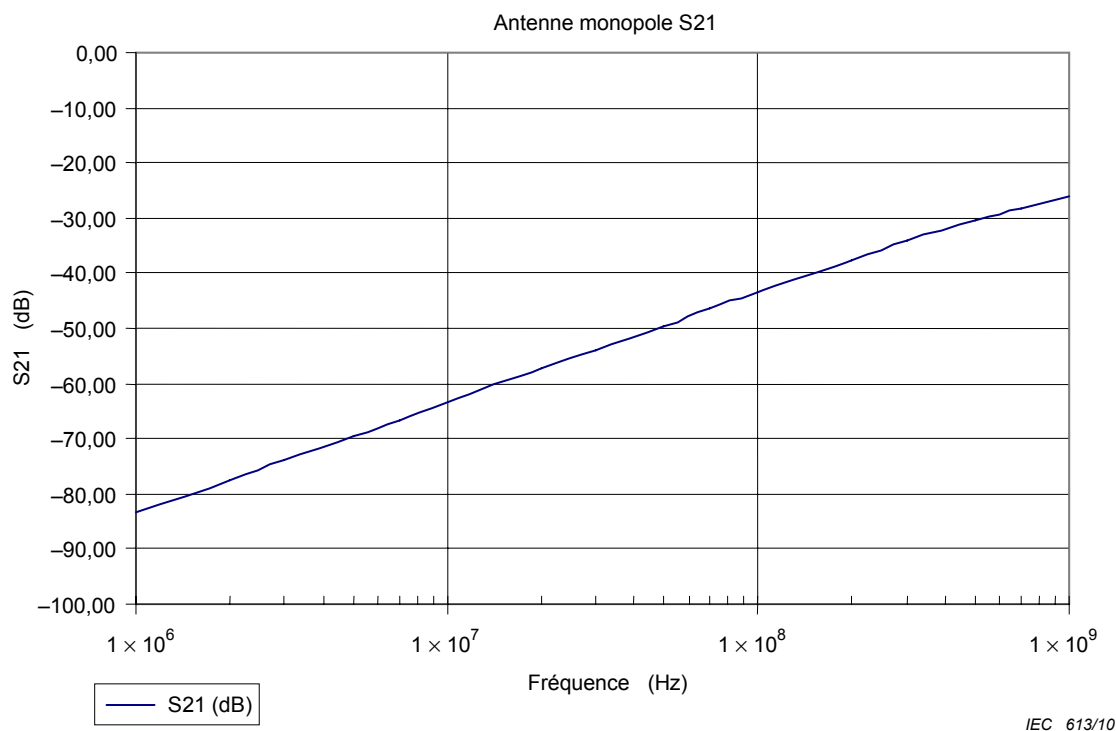


Figure A.2 – Fonction de transfert du champ électrique à la tension

Lorsqu'il est nécessaire d'effectuer la caractérisation à des fréquences plus élevées (>1 GHz), les paramètres de la sonde doivent être ajustés, de telle sorte que le comportement linéaire soit étendu en conséquence (au détriment de la sensibilité aux fréquences plus basses).

A.3 Caractérisation de l'intensité de champ magnétique (H)

A.3.1 Dispositif d'essai de la caractérisation de l'intensité de champ magnétique

Le champ magnétique peut être mesuré à l'aide d'une petite antenne cadre au centre de la carte d'essai CEM représentée sur la Figure A.3. Une boucle magnétique doit être construite en utilisant un fil de $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ de diamètre. La boucle doit avoir une hauteur de séparation de $3,3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ à partir de la surface conductrice supérieure du dispositif d'essai. La longueur de la boucle doit être de $30 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, ce qui entraîne une surface de boucle effective d'environ 99 mm^2 .

Pour la caractérisation, la boucle doit être orientée parallèlement au sens de propagation de l'onde électromagnétique dans la cellule TEM ou la cellule G-TEM.

La carte de caractérisation doit avoir des dimensions identiques à celles de la carte d'essai CEM à utiliser au cours des mesures réelles de l'immunité rayonnée tel que spécifié dans la CEI 62132-1. Le connecteur de traversée doit être du type 50Ω , SMA ou SMB. Le connecteur coaxial de traversée pour montage en surface doit être monté à $15 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$ du centre de la carte d'essai CEM.

La carte de circuit imprimé doit être construite avec au moins une couche conductrice. Il convient que la couche conductrice recouvre l'ensemble de la carte, formant un plan de masse solide. Il convient que le connecteur SMA ou SMB soit monté sur le côté de la carte de circuit imprimé opposé au plan de masse, avec son conducteur extérieur connecté au plan de masse et le conducteur central passant au travers d'un trou non métallisé, pénétrant l'autre côté de la carte. Il convient que des couches conductrices de carte de circuit imprimé supplémentaires soient attribuées à la masse et connectées à l'aide de trous de liaison multiples, tel que représenté pour la carte d'essai CEM dans la CEI 62132-1.

A.3.2 Calcul de l'intensité de champ magnétique

La tension induite à la sortie de l'antenne cadre est donnée par

$$V_{\text{ant}} = N \times \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{A.5})$$

où

$$N = 1$$

$$\Phi(t) = \Phi \times \sin(\omega t) \Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} = \Phi \times \omega$$

$$\Phi = B \times A_{\text{loop}}$$

$$B = \mu_0 \times H$$

$$H = \frac{E}{Z_0}$$

$$\omega = 2\pi f$$

En substituant dans l'Equation (A.5), on obtient:

$$V_{\text{ant}} = \left(\frac{E_{\text{tem}}}{Z_0} \right) \times \mu_0 \times A_{\text{loop}} \times 2\pi f \quad (\text{A.6})$$

où

V_{ant}	est la tension au niveau de l'accès de sortie du dispositif d'essai, exprimée en volts (V), par le champ électrique interne;
E_{tem}	est le champ électrique à l'intérieur de la cellule TEM ou GTEM, exprimé en volts par mètre (V/m);
Z_0	est l'impédance caractéristique de l'espace libre ($120 \pi \Omega$ ou 377Ω);
μ_0	est la perméabilité de l'espace libre ($4 \pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$);
A_{loop}	est la surface de l'antenne cadre, exprimée en mètres carrés (m^2);
f	est la fréquence considérée, exprimée en Hertz (Hz).

De plus, le champ électrique dans la cellule TEM ou GTEM est également donné par

$$E_{\text{tem}} = \frac{V_{\text{tem}}}{h_{\text{sep}}} \Rightarrow V_{\text{tem}} = E_{\text{tem}} \times h_{\text{sep}} \quad (\text{A.7})$$

où

V_{tem} est la tension au niveau de l'accès de la cellule TEM ou GTEM, exprimée en volts (V);

h_{sep} est la distance entre l'antenne et la cloison intérieure de la cellule TEM ou GTEM, exprimée en mètres (m).

La fonction de transfert résultante (S21) est alors donnée par

$$S_{21} = \frac{V_{\text{ant}}}{V_{\text{tem}}} = \frac{\mu_0 \times A_{\text{loop}} \times 2\pi f}{Z_0 \times h_{\text{sep}}} \times \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + (|Z_{\text{ant}}|)^2}} \quad (\text{A.8})$$

où

$|Z_{\text{ant}}|$ est l'amplitude de l'impédance de l'antenne, donnée par $|j\omega L|$ et exprimée en ohms (Ω), en négligeant la résistance.

L'impédance de l'antenne est donnée par

$$|Z_{\text{ant}}| = \omega L_{\text{ant_meas}} = 2\pi f \times L_{\text{ant_meas}} \quad (\text{A.9})$$

où

$L_{\text{ant_meas}}$ est l'inductance mesurée de la petite antenne cadre, exprimée en henrys [H].

A.3.3 Exemple de calcul de l'intensité de champ magnétique

Pour l'antenne cadre spécifiée, la surface de la boucle est

$$A_{\text{loop}} = h_{\text{loop}} \times l_{\text{loop}} = (3,3 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (30 \times 10^{-3} \text{ m}) = 99 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

où

h_{loop} est la hauteur de la boucle au-dessus de la carte de circuit imprimé, exprimée en mètres (m).

l_{loop} est la longueur de la boucle, exprimée en mètres (m).

A 10 MHz, la résolution de V_{ant} en fonction de E_{tem} , à l'aide de l'Equation (A.6), donne

$$V_{\text{ant}} = \left(\frac{E_{\text{tem}}}{377} \right) \times (4\pi \times 10^{-7}) \times (99 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (2\pi \times 10 \times 10^6 \text{ Hz}) = E_{\text{tem}} \times (20,1 \times 10^{-6})$$

Pour une antenne cadre avec une inductance mesurée de 73 nH, l'impédance est calculée à l'aide de l'Equation (A.9), ce qui donne:

$$Z_{\text{ant},10\text{MHz}} = 2\pi \times (10 \times 10^6 \text{ Hz}) \cdot (73 \times 10^{-9} \text{ H}) = 4,58 \Omega$$

Ainsi, la fonction de transfert résultante (S21) à 10 MHz pour $h_{\text{sep}} = 45 \text{ mm} - 3,3 \text{ mm} = 41,7 \text{ mm}$ est calculée à l'aide de l'Equation (A.8), ce qui donne

$$S_{21} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}) \times (99 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \times (2\pi \times 10 \times 10^6 \text{ Hz})}{377 \times 41,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \cdot \frac{50}{\sqrt{(50)^2 + (4,58)^2}} = 495,1 \times 10^{-6}$$

La conversion de la valeur S_{21} en décibels donne le résultat final suivant

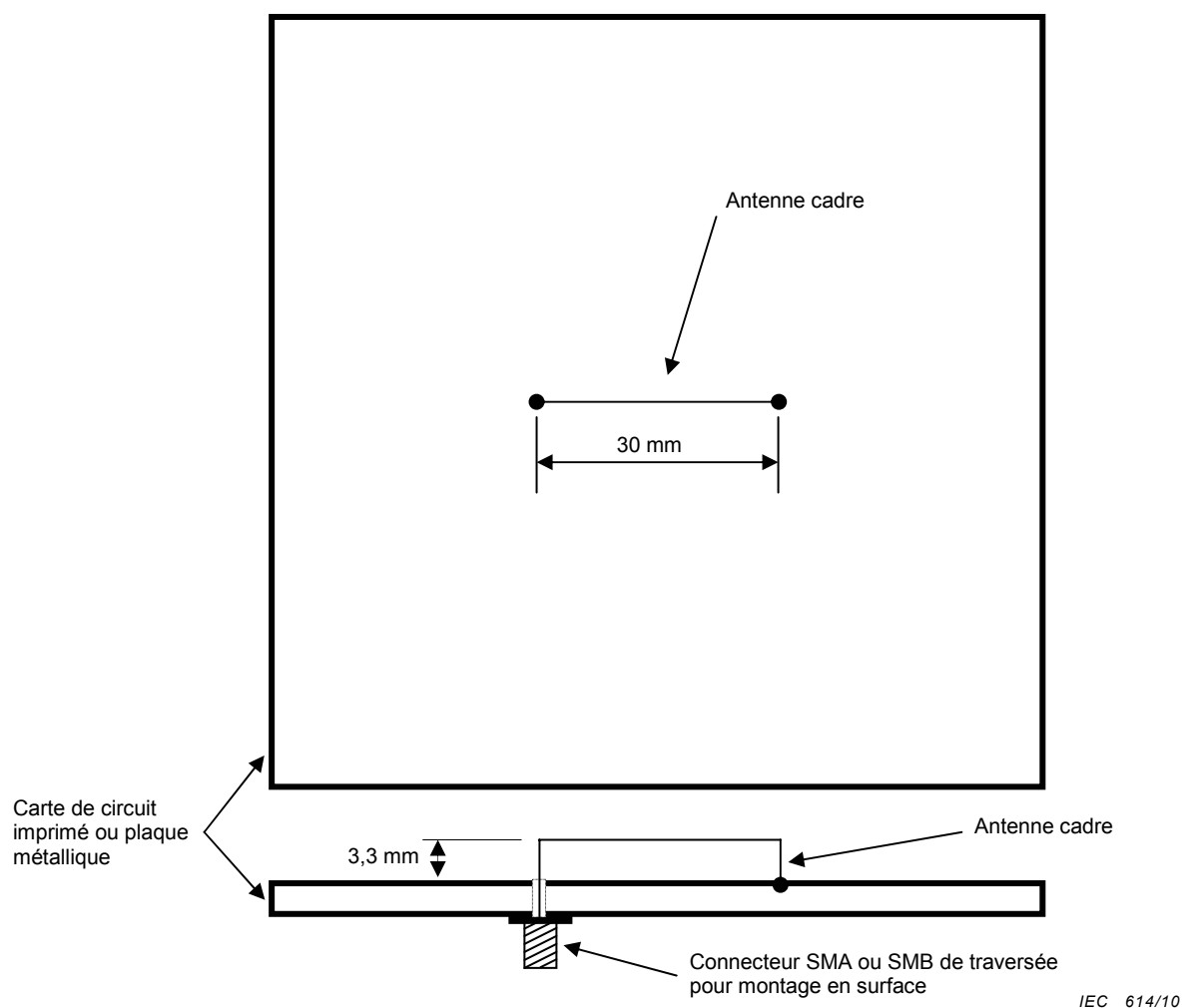
$$S_{21_{\text{dB}}} = 20 \cdot \log(495,15 \times 10^{-6}) = -66,11 \text{ dB}$$

La fonction de transfert du champ magnétique à la tension donnée dans l'Equation (A.8) et convertie en décibels, pour les paramètres donnés ci-dessus, est tracée sur la Figure A.4 et est adaptée à la caractérisation jusqu'à 1 GHz. La valeur de la fonction de transfert doit être compensée en fonction de la hauteur septum/composant sous test dans la cellule TEM, telle que donnée en A.4.

En raison de la nature non idéale des dispositifs de la cellule TEM et de la cellule G-TEM, un écart maximal de 6 dB est autorisé pour 3 % des fréquences déterminées conformément à 8.2.3. Pour toutes les autres fréquences, la performance de l'intensité de champ doit se situer dans les limites de 1 dB de la courbe idéale donnée sur la Figure A.4. Les fréquences pour lesquelles l'écart est supérieur à 1 dB doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

NOTE 1 Toute défaillance à une fréquence avec un écart supérieur à 1 dB convient de négligée au cours des essais de qualification.

NOTE 2 Etant donné que la fonction de transfert du champ magnétique à la tension n'est pas continuellement proportionnelle à la fréquence pour les paramètres donnés ci-dessus, la caractérisation du champ électrique par rapport à la tension donnée en A.2 est préférentielle.



Dans le cas d'une carte de circuit imprimé, un plan de masse est exigé sur les deux côtés.

Figure A.3 – Dispositif d'essai de caractérisation du champ H

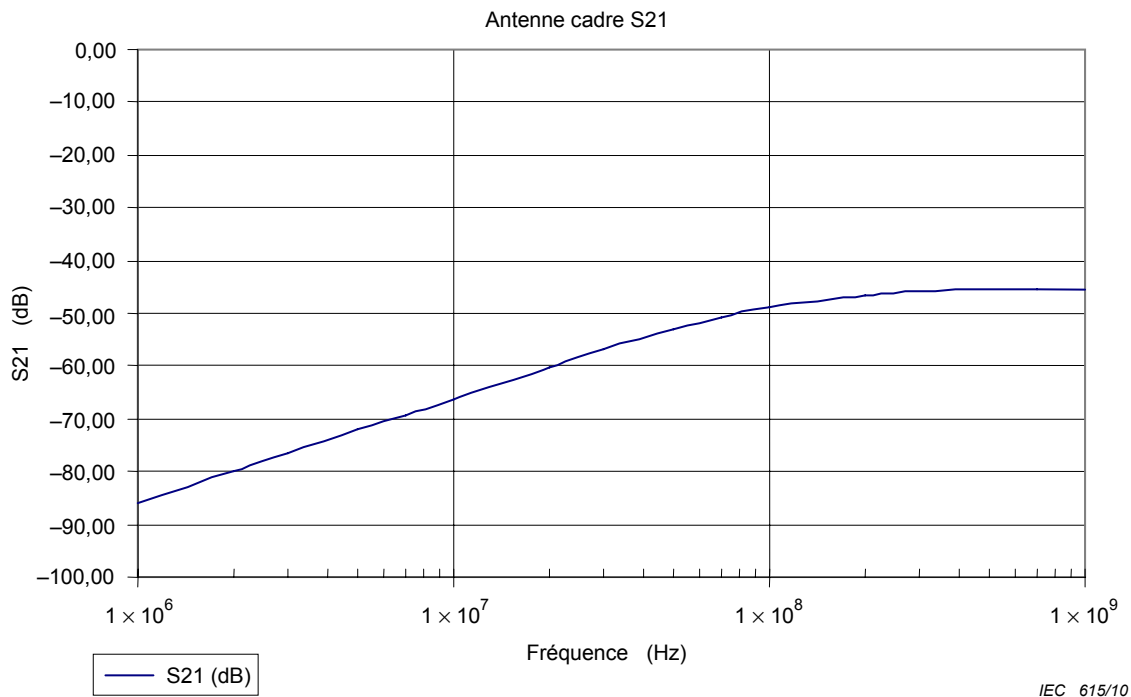


Figure A.4 – Fonction de transfert du champ magnétique à la tension

A.4 Correction de la hauteur du boîtier

Avec les calculs ci-dessus, on suppose que l'intensité de champ est homogène sur la surface d'intégration. Cependant, lorsqu'un dispositif/CI est mis en boîtier avec la grille de connexion ou le dissipateur de chaleur relié(e) à la masse du plan de référence de la carte d'essai, une petite correction doit être appliquée pour l'intensité de champ en raison de la variation de hauteur entre la cloison et le métal « mis à la masse » dans le boîtier. Pour une hauteur entre la cloison et le dispositif supérieure à la hauteur standard de 45 mm, cette correction peut être négligée. Lorsque la hauteur entre la cloison et le dispositif est inférieure à 45 mm, l'intensité de champ locale est affectée de façon significative et doit être corrigée.

Exemple:

Hauteur de la cloison = 30 mm

Épaisseur du boîtier = 1,5 mm

Correction du champ $E = \text{hauteur de la cloison} / (\text{hauteur de la cloison} - \text{épaisseur du boîtier})$
 $= 105 \% \approx 0,5 \text{ dB}$

A.5 Montage de caractérisation

Le montage d'essai pour la caractérisation est semblable à celui de la Figure 1 et de la Figure 2, sauf que la carte d'essai CEM et le dispositif de surveillance du DEE sont remplacés par la carte de caractérisation et un dispositif de mesure. Le connecteur SMA ou SMB de la carte de caractérisation est connecté par l'intermédiaire d'un câble coaxial de 50 Ω à l'entrée de 50 Ω d'un dispositif de mesure, tel qu'un analyseur de spectre RF, un voltmètre RF ou un wattmètre RF. Alternativement, un analyseur de réseau vectoriel peut être utilisé pour effectuer la caractérisation en fournissant à la fois le stimulus (source de perturbation RF) et la mesure dans un seul dispositif.

A.6 Procédure de caractérisation

Pour chaque fréquence considérée, soustraire la valeur du signal mesuré de la valeur du signal injecté et la comparer à la valeur théorique donnée par l'équation S21 appropriée. Toutes les valeurs doivent être en décibels.

Annexe B (informative)

Descriptions de la cellule TEM et de la cellule TEM à large bande

B.1 Cellule TEM

La cellule TEM propose une méthode à large bande de mesure de l'immunité d'un DEE par rapport aux champs produits dans la cellule ou des émissions rayonnées à partir d'un DEE situé dans la cellule. Elle élimine l'utilisation d'antennes conventionnelles avec leurs limites de mesure inhérentes de la largeur de bande, de la phase non linéaire, de la directivité et de la polarisation. La cellule TEM (mode électromagnétique transverse) est une ligne de transmission étendue qui propage une onde TEM provenant d'une source externe ou interne. Cette onde est caractérisée par des champs électriques (E) et magnétiques (H) orthogonaux et transversaux, qui sont perpendiculaires au sens de propagation le long de la longueur de la cellule ou de la ligne de transmission. Ce champ simule un champ planaire généré en espace libre avec une impédance de 377Ω . Le mode TEM ne présente aucune fréquence de coupure basse. Cela permet à la cellule d'être utilisée à des fréquences aussi faibles que souhaité. Le mode TEM présente également une phase linéaire et une réponse en amplitude constante en fonction de la fréquence. Cela permet d'utiliser la cellule pour générer ou détecter une intensité de champ connue. La fréquence utile supérieure pour une cellule est limitée par la distorsion du signal d'essai provoquée par des résonances et des modes multiples qui se produisent dans la cellule. Ces effets sont fonction de la taille physique et de la forme de la cellule.

Par exemple, la cellule TEM de 1 GHz a une taille et une forme, avec une adaptation d'impédance au niveau des points d'alimentation d'entrée et de sortie de la cellule, qui limitent le ROS à moins de 1,5 jusqu'à sa fréquence assignée. La cellule est conique à chaque extrémité afin de s'adapter à des connecteurs coaxiaux de 50Ω conventionnels, et est équipée d'un accès pour loger la carte d'essai du CI. La première résonance est démontrée par un ROS élevé sur une gamme de fréquences étroite. La valeur Q élevée de la cellule est responsable de ce ROS élevé. Une cellule vérifiée pour l'établissement de champ jusqu'à une fréquence maximale sera également adaptée à des mesures d'émission pour cette fréquence.

B.2 Cellule TEM à large bande ou cellule TEM en Gigahertz (GTEM)

La cellule TEM à large bande, ou la cellule GTEM, est une ligne de transmission étendue qui ne revient pas à une alimentation de 50Ω comme dans une cellule TEM conventionnelle, mais qui s'étend continuellement et est terminée par une charge de cloison et un matériau absorbant RF. Cette cellule évite les limites de modes des cellules TEM conventionnelles de telle sorte que sa fréquence supérieure exploitable soit limitée, non par ses dimensions, mais par les caractéristiques de l'absorbant RF et de la terminaison de la cloison. Une cellule TEM à large bande peut avoir presque toutes les dimensions pratiques avec une gamme de fréquences exploitable allant jusqu'à 18 GHz.

Les cellules GTEM permettent d'étendre la limite supérieure de fréquence d'une mesure de l'immunité rayonnée au-delà de la limite 1 GHz à 2 GHz d'une cellule TEM. Une limite de fréquence étendue est nécessaire, par exemple, pour permettre l'évaluation correcte des CI qui utilisent des fréquences d'horloge proches de 1 GHz ou supérieures à 1 GHz.

De plus, les dimensions supérieures de la cellule GTEM permettent d'évaluer un CI qui exige une carte de circuit imprimé ayant des dimensions supérieures aux dimensions par défaut définies dans la CEI 62132-1. Comme toute autre modification apportée à cette méthode d'essai, la taille de la carte de circuit imprimé peut être étendue selon accord entre le

fabricant et l'utilisateur, et il convient qu'elle soit documentée soigneusement dans le rapport d'essai.

Bibliographie

- [1] Muccioli, J.P., North, T.M., Slattery, K.P., Characterisation of the RF Immunity from a Family of Microprocessors Using a 1 GHz TEM Cell, 1997 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1997.
- [2] Engel, A., Model of IC Immunity into a TEM Cell, 1997 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1997.
- [3] Muccioli, J.P., North, T.M., Slattery, K.P., Investigation of the Theoretical Basis for Using a 1 GHz TEM Cell to Evaluate the Radiated Immunity from Integrated Circuits, 1996 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1996.
- [4] Goulette, R.R., Crawhall, R.J., Xavier, S.K., The Determination of Radiated Immunity Limits for Integrated Circuits within Telecommunications Equipment, IEICE Transactions on Communications, Vol. E75-B, No. 3, March 1992.
- [5] Goulette, R.R., The Measurement of Radiated Immunity from Integrated Circuits, 1992 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1992.
- [6] Koepke, G.H., Ma, M.T., A New Method for Determining the Emission Characteristics of an Unknown Interference Source, Proceedings of the 5th International Zurich Symposium & Technical Exhibition on EMC, March 1983, pp. 35-40.
- [7] CEI 61000-4-3:2006, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*
Amendement 1 (2007)
- [8] CEI 61000-4-6:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs radioélectriques*
- [9] CEI 61000-4-20:2003, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-20: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'émission et d'immunité dans les guides d'ondes TEM*
- [10] CISPR 16-1-1:2007, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*
- [11] CISPR 16-1-2:2006, *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*
- [12] CISPR 16-1-5:2003, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'essai pour l'étalonnage des antennes de 30 MHz à 1 000 MHz*
- [13] CISPR 16-2-1:2008, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites*

- [14] CISPR 16-2-2:2005, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-2: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesure de la puissance perturbatrice*
 - [15] CISPR 16-2-3:2006, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-3: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations rayonnées*
 - [16] CISPR 16-2-4:2003, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-4: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures de l'immunité*
-

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