

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



**Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz –**

**Part 6: Measurement of conducted emissions – Magnetic probe method**

**Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz –  
Partie 6: Mesure des émissions conduites – Méthode de la sonde magnétique**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 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](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://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](http://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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto:csc@iec.ch)

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



**Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz –**

**Part 6: Measurement of conducted emissions – Magnetic probe method**

**Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz –**

**Partie 6: Mesure des émissions conduites – Méthode de la sonde magnétique**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

## CONTENTS

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                     | 5  |
| 1 Scope.....                                                                      | 7  |
| 2 Normative references .....                                                      | 7  |
| 3 Definitions .....                                                               | 7  |
| 4 General .....                                                                   | 7  |
| 4.1 Measurement philosophy.....                                                   | 7  |
| 4.2 Measurement principle .....                                                   | 8  |
| 5 Test conditions .....                                                           | 8  |
| 5.1 General.....                                                                  | 8  |
| 5.2 Frequency range .....                                                         | 8  |
| 6 Test equipment.....                                                             | 8  |
| 6.1 General.....                                                                  | 8  |
| 6.2 Magnetic probe .....                                                          | 8  |
| 6.3 Probe spacing fixture and placement.....                                      | 8  |
| 7 Test set-up .....                                                               | 11 |
| 7.1 General.....                                                                  | 11 |
| 7.2 Probe calibration .....                                                       | 11 |
| 7.3 Modifications to standardized IC test board .....                             | 11 |
| 7.3.1 Layer arrangement .....                                                     | 11 |
| 7.3.2 Layer thickness .....                                                       | 11 |
| 7.3.3 Decoupling capacitors .....                                                 | 11 |
| 7.3.4 I/O pin loading .....                                                       | 12 |
| 8 Test procedure .....                                                            | 16 |
| 8.1 General.....                                                                  | 16 |
| 8.2 Test technique.....                                                           | 16 |
| 9 Test report.....                                                                | 16 |
| 9.1 General.....                                                                  | 16 |
| 9.2 Documentation.....                                                            | 16 |
| Annex A (normative) Probe calibration procedure – Microstrip line method .....    | 18 |
| Annex B (informative) Measurement principle and calibration factor.....           | 21 |
| Annex C (informative) Spatial resolution of magnetic probe .....                  | 25 |
| Annex D (informative) Angle pattern of probe placement.....                       | 26 |
| Annex E (informative) Advanced magnetic probe .....                               | 27 |
| Bibliography.....                                                                 | 44 |
| Figure 1 – Magnetic probe .....                                                   | 9  |
| Figure 2 – Magnetic probe 1st and 3rd layers .....                                | 9  |
| Figure 3 – Magnetic probe 2nd layer .....                                         | 10 |
| Figure 4 – Magnetic probe – layer construction.....                               | 10 |
| Figure 5 – Standardized IC test board (sectional view 1).....                     | 12 |
| Figure 6 – Standardized IC test board (sectional view 2 – measurement line) ..... | 12 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 7 – Power line pattern on the standardized IC test board – Bottom layer .....                                    | 13 |
| Figure 8 – I/O signal line pattern on the standardized IC test board – Bottom layer .....                               | 14 |
| Figure 9 – Multi-power lines on the standardized IC test board – Bottom layer .....                                     | 14 |
| Figure 10 – Measurement set-up .....                                                                                    | 15 |
| Figure 11 – Measurement circuit schematic .....                                                                         | 15 |
| Figure 12 – Transfer constant for current calculation as a function of insulator<br>thickness of microstrip board. .... | 17 |
| Figure A.1 – Cross-sectional view of a microstrip line for calibration .....                                            | 18 |
| Figure A.2 – Measurement set-up for probe calibration .....                                                             | 20 |
| Figure B.1 – Cross-sectional view of a microstrip line .....                                                            | 21 |
| Figure B.2 – Measurement of magnetic probe output .....                                                                 | 23 |
| Figure B.3 – Example of calibration factor for the magnetic probe<br>specified in figures 1, 2, 3, and 4 .....          | 24 |
| Figure C.1 – Diagram for measuring a magnetic field distribution .....                                                  | 25 |
| Figure C.2 – Magnetic field distribution across the microstrip line (800 MHz) .....                                     | 25 |
| Figure D.1 – Diagram for measuring an angle pattern of probe placement .....                                            | 26 |
| Figure D.2 – Probe output to angle $\varphi$ .....                                                                      | 26 |
| Figure 1 – Magnetic probe .....                                                                                         | 9  |
| Figure 2 – Magnetic probe – First and third layers .....                                                                | 9  |
| Figure 3 – Magnetic probe – Second layer .....                                                                          | 10 |
| Figure 4 – Magnetic probe – Layer construction .....                                                                    | 10 |
| Figure 5 – Standardized IC test board – Sectional view 1 .....                                                          | 12 |
| Figure 6 – Standardized IC test board – Sectional view 2 – Measurement line .....                                       | 12 |
| Figure 7 – Power line pattern on the standardized IC test board – Bottom layer .....                                    | 13 |
| Figure 8 – I/O signal line pattern on the standardized IC test board – Bottom layer .....                               | 14 |
| Figure 9 – Multi-power lines on the standardized IC test board – Bottom layer .....                                     | 14 |
| Figure 10 – Measurement set-up .....                                                                                    | 15 |
| Figure 11 – Measurement circuit schematic .....                                                                         | 15 |
| Figure 12 – Transfer constant for current calculation as a function of insulator<br>thickness of microstrip board ..... | 17 |
| Figure A.1 – Cross-sectional view of a microstrip line for calibration .....                                            | 18 |
| Figure A.2 – Measurement set-up for probe calibration .....                                                             | 20 |
| Figure B.1 – Cross-sectional view of a microstrip line .....                                                            | 21 |
| Figure B.2 – Measurement of magnetic probe output .....                                                                 | 23 |
| Figure B.3 – Example of calibration factor for the magnetic probe specified in figures 1,<br>2, 3, and 4 .....          | 24 |
| Figure C.1 – Diagram for measuring a magnetic field distribution .....                                                  | 25 |
| Figure C.2 – Magnetic field distribution across the microstrip line (at 800 MHz) .....                                  | 25 |
| Figure D.1 – Diagram for measuring an angle pattern of probe placement .....                                            | 26 |
| Figure D.2 – Probe output to angle $\varphi$ .....                                                                      | 26 |
| Figure E.1 – Illustration of the assembled advanced magnetic probe .....                                                | 29 |
| Figure E.2 – Enlarged view of part A of Figure E.1<br>(an example of connection construction) .....                     | 29 |

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure E.3 – Main pattern (layer 2 to 4) of advanced magnetic probe .....                                                                                                     | 30 |
| Figure E.4 – Layer 1 (ground pattern) of advanced magnetic probe .....                                                                                                        | 30 |
| Figure E.5 – Layer 2 and 4 (ground pattern) of advanced magnetic probe .....                                                                                                  | 31 |
| Figure E.6 – Layer 3 (signal pattern) of advanced magnetic probe .....                                                                                                        | 31 |
| Figure E.7 – Layer 5 (ground pattern) of advanced magnetic probe .....                                                                                                        | 32 |
| Figure E.8 – Construction of advanced magnetic probe .....                                                                                                                    | 32 |
| Figure E.9 – Measurement set-up .....                                                                                                                                         | 33 |
| Figure E.10 – Definition of loop center .....                                                                                                                                 | 33 |
| Figure E.11 – Error graph of the measured voltage versus measurement distance .....                                                                                           | 34 |
| Figure E.12 – Set-up for measuring magnetic field distribution .....                                                                                                          | 34 |
| Figure E.13 – Magnetic field distribution across microstrip line (1 GHz) .....                                                                                                | 35 |
| Figure E.14 – Set-up for measuring an angle pattern of probe placement .....                                                                                                  | 35 |
| Figure E.15 – Probe output amplitude as function of angle $\varphi$ ( $D_m$ is 0,47 mm) .....                                                                                 | 36 |
| Figure E.16 – Current models of strip conductor of microstrip line .....                                                                                                      | 38 |
| Figure E.17 – Calibration factor for different board parameters .....                                                                                                         | 39 |
| Figure E.18 – Example of measured ( $C_{f\_dB} - C_{h\_distributed\_dB}$ ) at microstrip line under the same condition ( $W=1,0$ mm, $h=0,6$ mm) as shown in Figure E.9 ..... | 39 |
| Figure E.19 – Cross-sectional view of a microstrip line for calibration (example) .....                                                                                       | 41 |
| Figure E.20 – Measurement set-up for probe calibration .....                                                                                                                  | 42 |
| Figure E.21 – Example of IC test board – Bottom layer .....                                                                                                                   | 43 |
| Figure E.22 – Example of measurement pattern of $V_{DD1}$ .....                                                                                                               | 43 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INTEGRATED CIRCUITS –  
MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS,  
150 kHz TO 1 GHz –****Part 6: Measurement of conducted emissions –  
Magnetic probe 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61967-6 has been prepared by subcommittee 47A: Integrated circuits, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

This consolidated version of IEC 61967-6 consists of the first edition (2002) [documents 47A/645/FDIS and 47A/653/RVD], its amendment 1 (2008) [documents 47A/781/FDIS and 47A/784/RVD] and its corrigendum 1 of August 2010.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 1.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

Annex A forms an integral part of this standard.

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

This standard should be read in conjunction with IEC 61967-1.

IEC 61967 consists of the following parts, under the general title *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz*:

Part 1: General conditions and definitions

Part 2: Measurement of radiated emissions – TEM-cell method<sup>1</sup>

Part 3: Measurement of radiated emissions – Surface scan method (technical specification)<sup>1</sup>

Part 4: Measurement of conducted emissions – 1  $\Omega$ /150  $\Omega$  direct coupling method<sup>2</sup>

Part 5: Measurement of conducted emissions – Workbench Faraday cage method<sup>2</sup>

Part 6: Measurement of conducted emissions – Magnetic probe method

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

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

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

<sup>1</sup> Under consideration.

<sup>2</sup> To be published.

## INTEGRATED CIRCUITS – MEASUREMENT OF ELECTROMAGNETIC EMISSIONS, 150 kHz TO 1 GHz –

### Part 6: Measurement of conducted emissions – Magnetic probe method

#### 1 Scope

This part of the IEC 61967 specifies a method for evaluating RF currents on the pins of an integrated circuit (IC) by means of non-contact current measurement using a miniature magnetic probe. This method is capable of measuring the RF currents generated by the IC over a frequency range of 0,15 MHz to 1 000 MHz. This method is applicable to the measurement of a single IC or a chip set of ICs on the standardized test board for characterization and comparison purposes. It is also usable to evaluate the electromagnetic characteristics of an IC or group of ICs on an actual application PCB for emission reduction purposes. This method is called the "magnetic probe method".

#### 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 61967-1, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz – Part 1: General conditions and definitions*

IEC 61967-4, *Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz – Part 4: Measurement of conducted emissions – 1  $\Omega$ /150  $\Omega$  direct coupling method*<sup>3</sup>

#### 3 Definitions

For the purposes of this part of IEC 61967 the definitions found in IEC 61967-1 apply.

#### 4 General

##### 4.1 Measurement philosophy

The emissions radiated from a PCB are, in part, caused by RF current generated by the onboard IC which drives PCB traces, PCB ground and supply planes, and cables connected to the PCB. All of these can act as RF antennas to radiate the emissions. The emission level is proportional to the driving RF current, and is also affected significantly by PCB design, radiation effectiveness of the pseudo-antennas, and noise coupling path coefficients from the IC to the pseudo-antennas.

For this emission mechanism, the driving force of the IC can be a significant parameter for both users and manufacturers to estimate and predict the electromagnetic characteristics of a PCB, module, or system. A measure of the emission driving force can be obtained by measuring the RF currents generated by the IC under test. Thus, the measured RF noise current can be regarded as an indicator of the undesirable electromagnetic emission driving force generated by the IC.

---

<sup>3</sup> To be published.

## 4.2 Measurement principle

Using this test method, the RF current on the power supply pins and I/O pins of an IC under test can be measured using a miniature triplate-structured magnetic probe. This probe measures the magnetic field at a specified height over a power supply or I/O strip conductor on the standardized test board in a controlled manner. The RF current is calculated from the measured magnetic field using the formula described in 8.2. With accurate mechanical placement of the magnetic probe, this method provides a high degree of repeatability. In addition, the frequency range of this method can be extended subject to the limitations described in 5.2. Higher frequencies can be obtained without a substantial influence on accuracy. The estimation of the RF current over the power supply or I/O strip conductor is an easy and handy way of characterizing and comparing the ICs.

## 5 Test conditions

### 5.1 General

General test conditions are described in IEC 61967-1.

### 5.2 Frequency range

The effective frequency range of this measurement method is 0,15 MHz to 1 000 MHz. The maximum frequency can be extended, if desired, subject to the limitations of the test set-up. The upper limit of the frequency range is directly related to high frequency characteristics of the magnetic probe and its distance from the line under test as described in annex B. At a low frequency region of 0,15 MHz to 10 MHz, however, it may be advisable to use a low noise pre-amplifier to improve dynamic range of the measurement.

## 6 Test equipment

### 6.1 General

For general information on test equipment see IEC 61967-1.

### 6.2 Magnetic probe

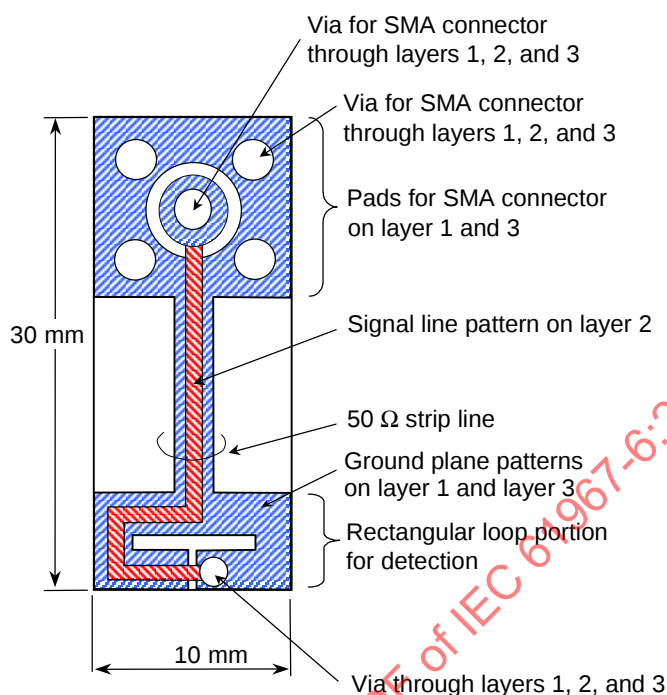
The magnetic probe shall be a triplate-structured strip line composed of a three-layer PCB. Recommended probe construction details are shown in figures 1, 2, 3 and 4.

An SMA connector is attached at the edge of the PCB opposite to the rectangular loop portion of the probe as shown in the figures. Attachment pads for the SMA connector are on layers 1 and 3, which are connected to each other through four vias. The strip conductor pattern is on layer 2, which is connected to the centre pin of the SMA connector.

### 6.3 Probe spacing fixture and placement

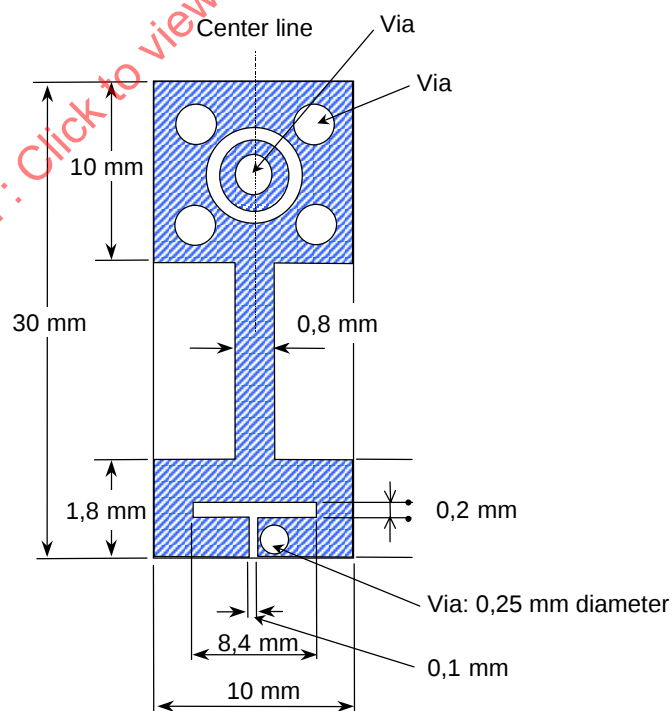
The probe output voltage depends on the distance between the probe tip and the strip conductor under measurement. This makes it very critical to maintain a 1 mm space between the strip conductor and the magnetic probe tip during this measurement. Therefore, a probe spacing fixture shall be used to maintain  $1,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  spacing between the bottom of the rectangular loop portion of the probe and strip line on the IC test board, or the entire probe can be molded into a piece of fixing block which houses the probe so as to maintain the specified space precisely as shown in figure 10.

In addition, the probe output voltage depends on probe placement angle ( $\phi$ ) to direction of microstrip line under measurement. According to an experimental measurement on angle patterns of probe directional placement, the angle shall be less than  $15^\circ$  for amplitude error to be less than  $-2$  dB. See annex D for details.



IEC 1468/02

**Figure 1 – Magnetic probe**



IEC 1469/02

**Figure 2 – Magnetic probe – First and third layers**

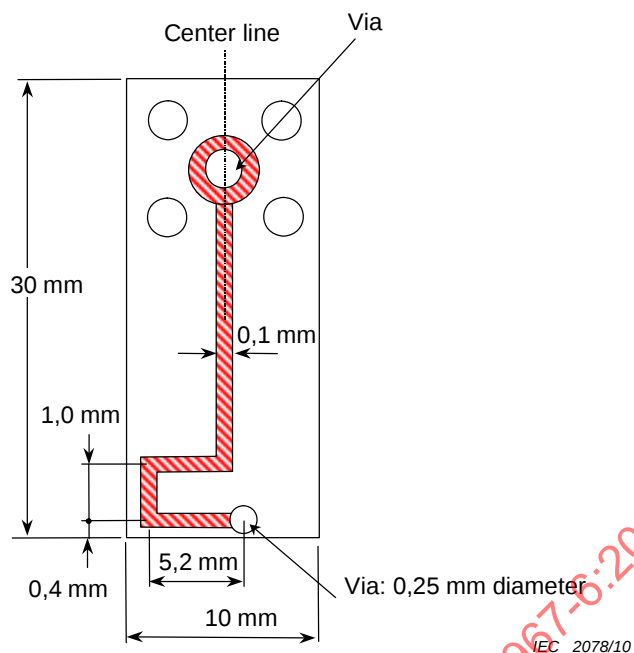


Figure 3 – Magnetic probe – Second layer

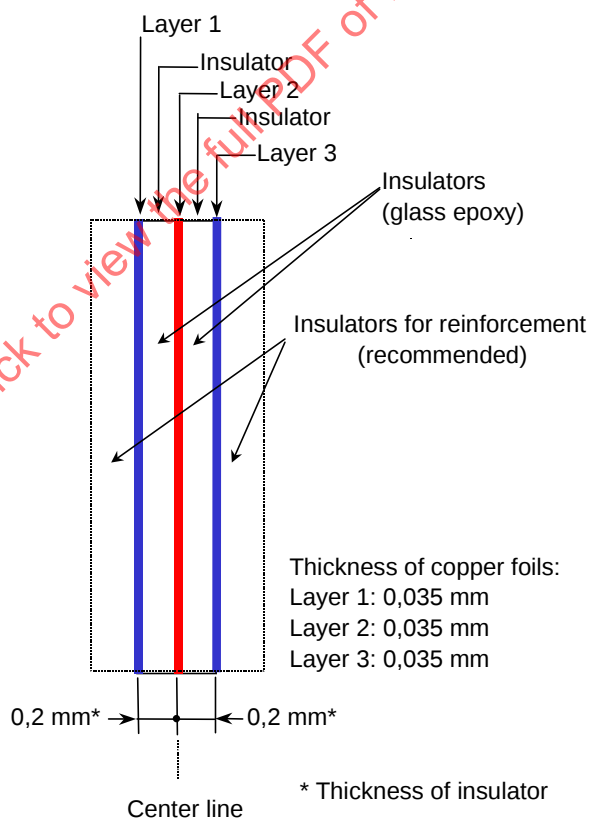


Figure 4 – Magnetic probe – Layer construction

## 7 Test set-up

### 7.1 General

General test set-up requirements are described in IEC 61967-1.

The measurement set-up and circuit schematic of the magnetic probe measurement method are shown in figures 10 and 11, respectively.

### 7.2 Probe calibration

The magnetic probe used shall be calibrated to obtain accurate correlation between the measured magnetic field intensity and the estimated RF current. The probe calibration shall be in accordance with the method described in annex A (microstrip line method).

### 7.3 Modifications to standardized IC test board

The standardized IC test board described in IEC 61967-1 shall be used. However, it shall be adapted as shown in figures 5, 6, 7, 8, and 9.

#### 7.3.1 Layer arrangement

The IC test board shall have a minimum of four layers. It is recommended to use a four-layer IC test board as shown in figures 5 and 6. If necessary, additional layers may be inserted between the top layer and the microstrip ground layer to accommodate additional signal and/or power routing. The construction of the IC test board shall be as specified in IEC 61967-1, except as noted below in the case of  $n$  layers in general.

- 1) Top layer (layer 1): The IC under test shall be put on layer 1. See IEC 61967-1.
- 2) Layer next to the bottom layer (layer  $n-1$ ): A ground plane area shall be formed on layer  $n-1$  to provide a reference for the microstrip structures on the bottom layer. The ground plane can cover the entire layer or can be limited to the area under the microstrip structures as shown in the dotted line area of figures 7 and 8. This ground plane area shall have a minimum width of 11 mm and a minimum length of 14 mm.
- 3) Bottom layer (layer  $n$ ): The microstrip conductor lines for measurement and peripheral ground planes shall be on layer  $n$ . The microstrip conductor lines shall be in accordance with figures 7 and 8 for power lines and I/O lines, respectively. The width of the strip conductor line shall be 1,0 mm at maximum to achieve a high spatial resolution. See annex C for details. The length of the microstrip conductor lines should be between 14 mm and 25 mm in length to avoid standing waves.

#### 7.3.2 Layer thickness

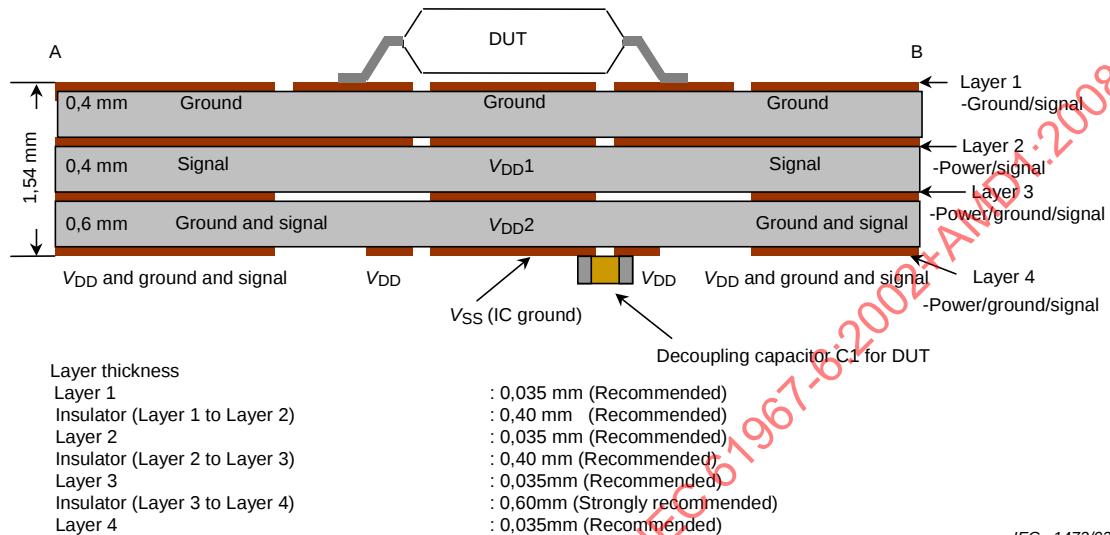
The PCB insulator thickness of 0,6 mm between layer  $n-1$  and layer  $n$  is strongly recommended. The coplanar gap between the measurement line and coplanar ground planes shall be at least 2,0 mm and shall be at least three times the insulator thickness.

#### 7.3.3 Decoupling capacitors

Decoupling capacitors ( $C_1$ ,  $C_2$ ) shall be used between the power supply lines and ground planes on the test board as shown in figure 11. The capacitor ( $C_2$ ) shall be placed as close as possible to the measurement area of the power supply line to provide low RF impedance. The distance between  $C_2$  and the via to the  $V_{DD}$  land shall be no more than 25 mm as shown in figure 7. The capacitor ( $C_1$ ) shall be placed between the IC  $V_{DD}$  land and the IC ground as shown in figure 9.

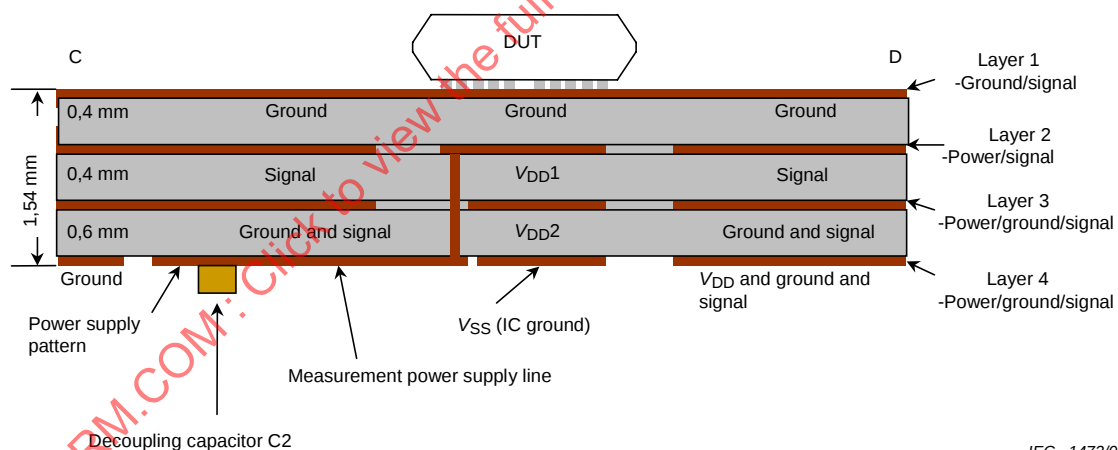
### 7.3.4 I/O pin loading

This measurement can be used to measure the RF current of a single I/O pin. The I/O pin current shall be measured pin by pin. The layout of the pin loading shall be in accordance with figures 8 and 9. This pin should be loaded with an impedance matching network with a resistance of  $150\ \Omega$  as shown in figure 11. The impedance matching network should be loaded by a  $50\ \Omega$  resistor (R3) or a  $50\ \Omega$  input impedance of normal measurement equipment (receiver).



IEC 1472/02

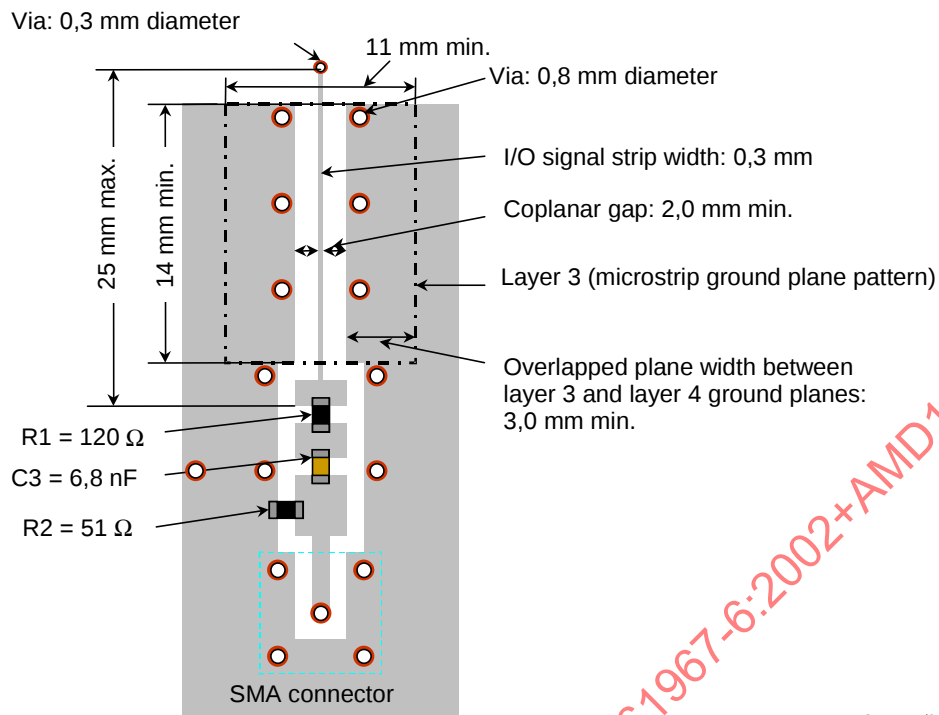
Figure 5 – Standardized IC test board – Sectional view 1



IEC 1473/02

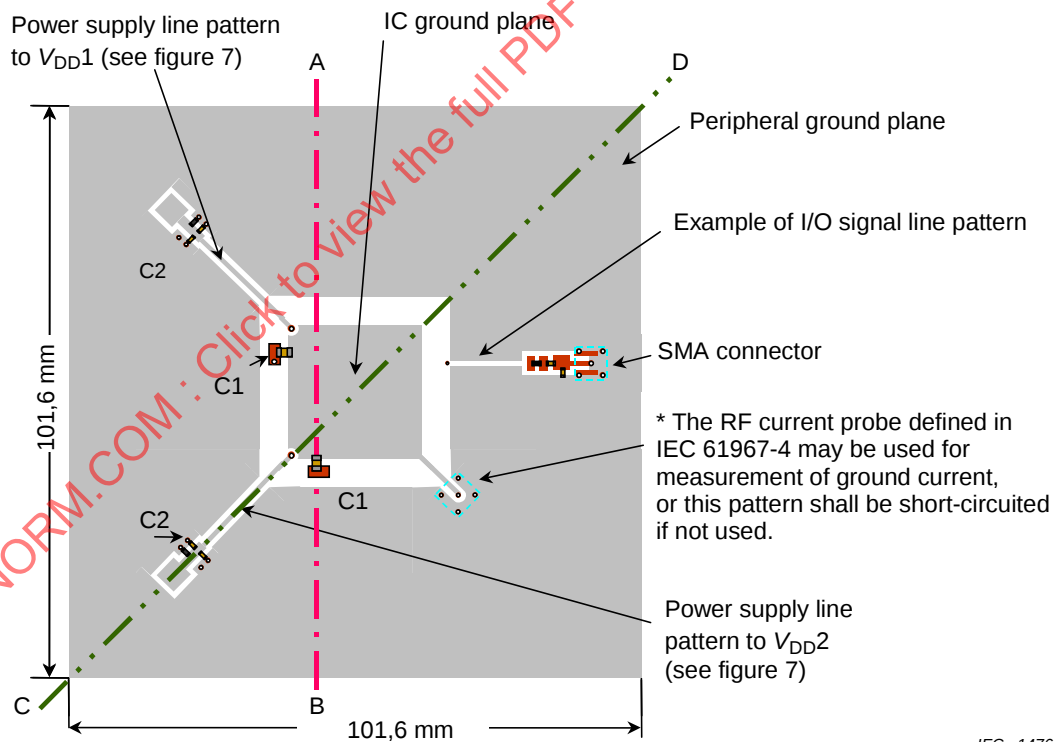
Figure 6 – Standardized IC test board – Sectional view 2 – Measurement line





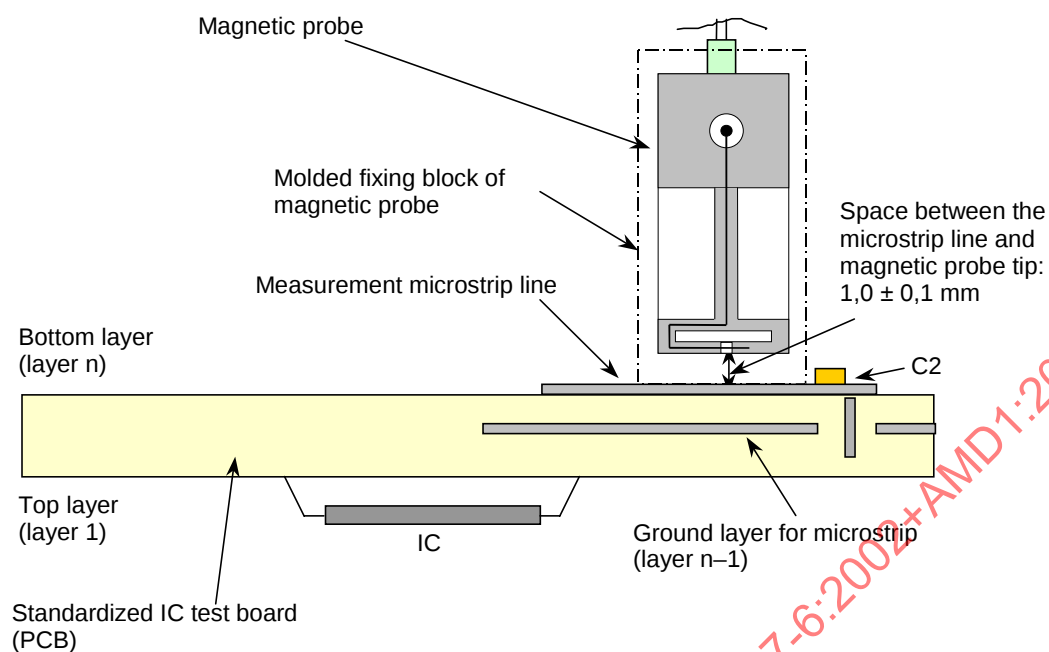
IEC 1475/02

Figure 8 – I/O signal line pattern on the standardized IC test board – Bottom layer



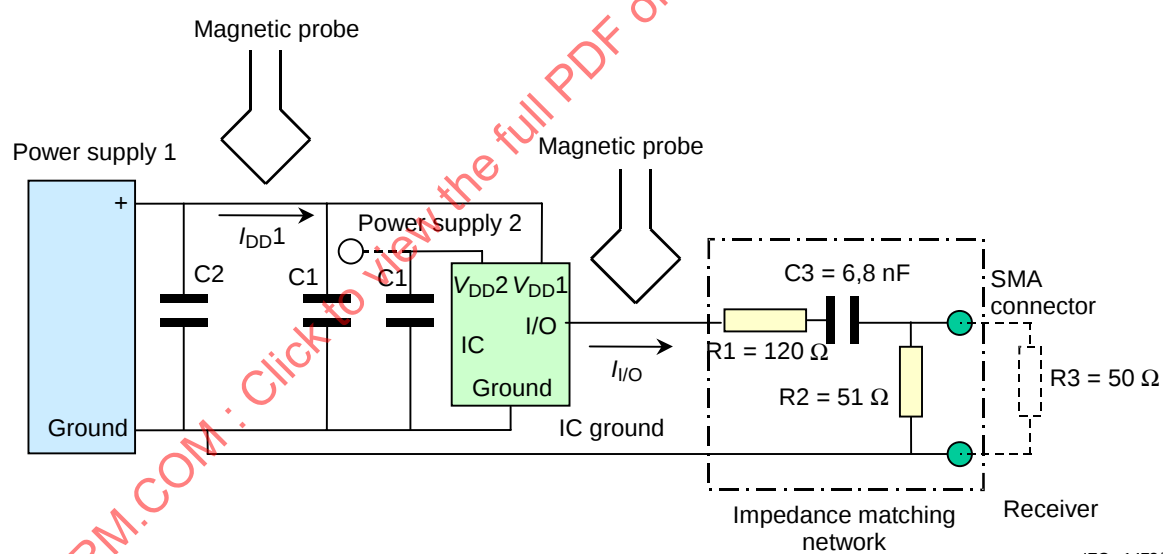
IEC 1476/02

Figure 9 – Multi-power lines on the standardized IC test board – Bottom layer



IEC 1477/02

Figure 10 – Measurement set-up



IEC 1478/02

Figure 11 – Measurement circuit schematic

## 8 Test procedure

### 8.1 General

The general requirements for the test procedure are described in IEC 61967-1.

### 8.2 Test technique

The magnetic probe shall be placed at a distance above the surface of the line under test on the test board as described in 6.3. The output voltage ( $V_p$ ) of the magnetic probe is measured by a spectrum analyzer or measuring receiver as described in IEC 61967-1. The magnetic field ( $H_{x\_dB}$ ) is calculated from the measured value of the  $V_p$  as corrected by  $C_f$  (calibration factor of magnetic probe, see annexes A and B) with the following equation (B.12) taken from annex B:

$$H_{x\_dB} = C_{f\_dB} + V_{p\_dB} \quad (\text{dB A/m}) \quad (\text{B.12})$$

RF current ( $I_{dB}$ ) is then obtained using the following equation (B.13) with a transfer constant ( $C_h$ ) for a typical example of the test board as described in annex B:

$$I_{dB} = V_{p\_dB} + C_{f\_dB} - C_{h\_dB} \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.13})$$

where

$V_{p\_dB} = V_p$  value in dB (dB V);

$C_{f\_dB} = C_f$  value in dB (dB S/m);

$C_{h\_dB} = C_h$  value in dB (dB 1/m).

The  $C_{h\_dB}$  value depends on the insulator thickness of the microstrip board as shown in figure 12. The insulator thickness between layer  $n - 1$  and layer  $n$  should be between 0,1 mm and 1,6 mm. For the recommended insulator thickness ( $h = 0,6$  mm), the  $C_{h\_dB}$  value is 30 (dB 1/m). For the microstrip board with a different insulator thickness, the RF current is calculated according to equation (B.13), using an appropriate  $C_{h\_dB}$  value as shown in figure 12.

## 9 Test report

### 9.1 General

The test report shall be as described in IEC 61967-1.

The test report shall contain all specific requirements.

### 9.2 Documentation

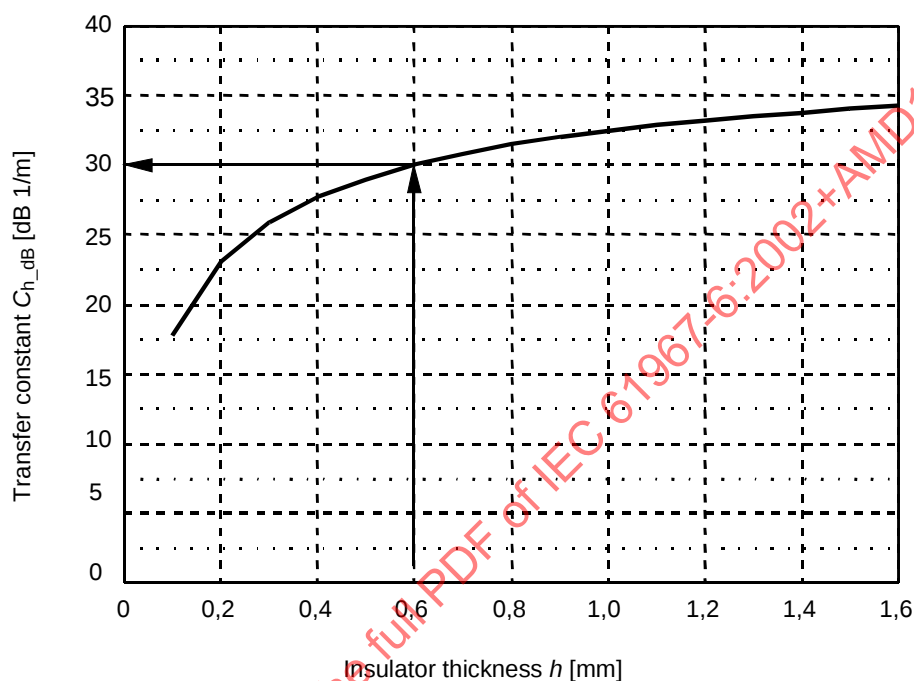
The measurement data and parameters shall be documented in the test report, which shall include the following information:

- test board material and its specification,
- thickness of insulator between layer  $n - 1$  and layer  $n$ ,
- microstrip line conductor width, coplanar gap, and characteristic impedance,
- decoupling capacitors (capacitance values, physical dimensions, number of pieces used, and locations placed).

Also description of the IC test board used (schematic, parts list, picture or copy of artwork, etc.) shall accompany the test report. The measured data of RF currents shall be added.

Data shall be presented as a matrix of the frequency and the corresponding measured amplitude data at each measurement point and/or as a plot of this matrix.

A description of any data processing used shall be a part of the test report.



IEC 1479/02

**Figure 12 – Transfer constant for current calculation as a function of insulator thickness of microstrip board**

## Annex A (normative)

### Probe calibration procedure – Microstrip line method

The magnetic probe used for the measurement shall be calibrated in accordance with the procedure described below. The calibration factor of the magnetic probe can be obtained by using the microstrip line method, which has the advantage in that the probe can be calibrated under the normal operating conditions for the magnetic probe method. The probe calibration on a reference microstrip line on a PCB is shown in figure A.2. This calibration can be performed with the same measurement set-up as the normal IC emission measurement on a test board. This requires an accurate space placement of the probe that definitely minimizes measuring errors and assures a highly repeatable emission measurement.

NOTE The microstrip line method is further described in [5] <sup>4</sup>.

#### A.1 Pre-amplifier

Use a pre-amplifier as specified in IEC 61967-1, if necessary.

#### A.2 Spectrum analyzer set-up

Use manufacturer's recommended procedures for calibration of the spectrum analyzer. Set attenuation at an appropriate level and video bandwidth at a minimum of three times the resolution bandwidth to prevent video averaging of the signal.

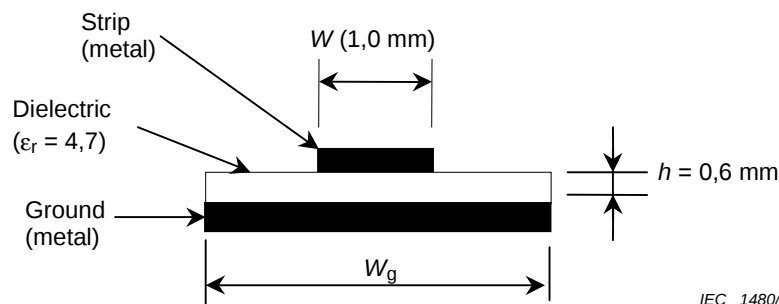
#### A.3 Microstrip line

Use a microstrip line structure shown in figure A.1. The insulator thickness ( $h$ ) of the microstrip board used shall be 0,6 mm, and the characteristic impedance shall be  $50 \Omega \pm 5 \Omega$ .

In the case of dielectric constant  $\epsilon_r = 4,7$ , the strip conductor width ( $W$ ) is 1,0 mm. The ground plane width ( $W_g$ ) of the microstrip line should be at least 50 mm. The microstrip line should be long enough (for example, 101,6 mm) and should have a sufficiently high frequency performance.

In order to check the characteristic impedance, RF measurement equipment such as a network analyzer or a TDR oscilloscope should be used.

NOTE Power required to obtain a sufficient signal to noise (S/N) ratio may be determined in advance over frequency range of interest.



IEC 1480/02

Figure A.1 – Cross-sectional view of a microstrip line for calibration

<sup>4</sup> Numbers in square brackets refer to the bibliography.

#### A.4 Calibration

- a) Measure the gain or loss of the test set-up. Include the pre-amplifier in this measurement, if used.
- b) Place the probe over the microstrip line so that the plane of the loop is perpendicular to the ground plane and parallel to the longitudinal axis of the microstrip line. The centre of the probe shall be located within  $\pm 0,4$  mm distance from the centre of the microstrip line. The face angle of the probe shall be within a  $5^\circ$  deviation from the axis of the microstrip line. The distance from the microstrip line surface to the probe tip shall be maintained within  $1,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ . These restrictions on the probe placement shall be maintained to obtain calibration factors as accurately as possible. The maximum error for calibration factors under these restrictions is estimated to be less than  $\pm 1,6 \text{ dB}$ .

Sensitivity deviations of the probes with the dimensions specified in this document are regarded as less than  $\pm 1,0 \text{ dB}$ . Further information about the dependency on these placement factors is shown in annexes B, C and D, respectively.

- c) Connect a signal generator to one end of the microstrip line while a  $50 \Omega$  terminal to the other end. Also, connect the cable from the magnetic probe connector to a spectrum analyzer as shown in figure A.2.
- d) Establish a field excitation around the reference microstrip line by the signal generator at one frequency in the frequency band of interest, and record the level of the RF signal induced in the probe as measured with the spectrum analyzer.
- e) Repeat the procedure above at other frequencies over the frequency range. These data can be used to plot a calibration curve for the probe under test. See reference [5] in the bibliography for details.
- f) The calibration factor can be calculated by the following equation (A.1):

$$C_{f\_dB} = 20 \log \left[ \frac{h}{\pi Y(Y + 2h)} \right] - V_{p\_dB} + V_{s\_dB} - 34 \quad (\text{dB S/m}) \quad (\text{A.1})$$

where

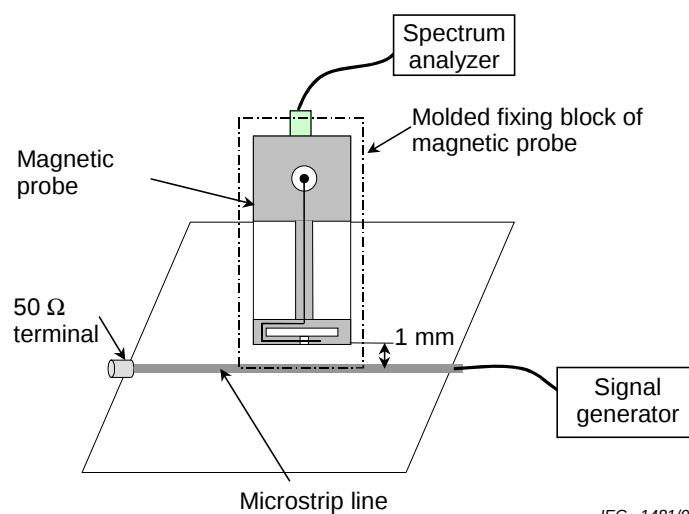
$C_{f\_dB}$  is the calibration factor for the magnetic field (dB S/m),

$Y$  is the distance (m) between the strip conductor and the centre of the loop of the magnetic probe,

$h$  is the insulator thickness (m) of the microstrip board used for calibration,

$V_{p\_dB}$  is the output voltage of the magnetic probe (dB V),

$V_{s\_dB}$  is the output voltage of the signal generator (dB V).



IEC 1481/02

NOTE A transmission loss of the microstrip line should be half the overall loss when the magnetic probe is placed in the centre of the microstrip line.

**Figure A.2 – Measurement set-up for probe calibration**

## Annex B (informative)

### Measurement principle and calibration factor

It is well known that magnetic flux density ( $B$ ) around current ( $I$ ) which flows in an infinitely long straight conductor is given by the following equation (B.1):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{T}) \quad (\text{B.1})$$

where

$B$  is the magnetic flux density (T);

$\mu_0$  is the permeability of vacuum;

$I$  is the current (A);

$\pi$  is the circular constant (ratio of a circle's circumference to its diameter);

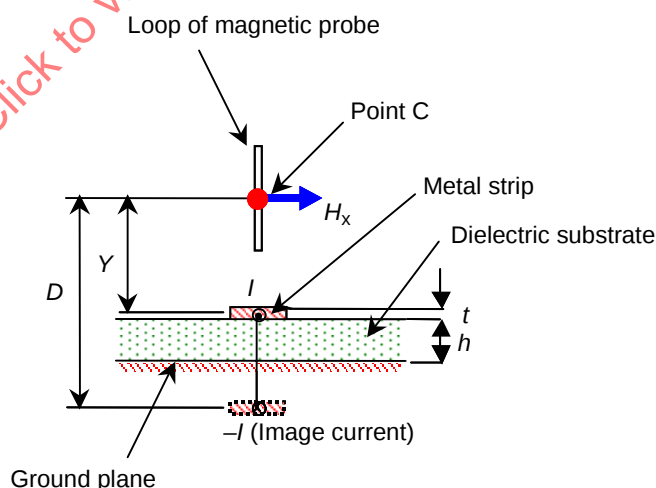
$r$  is the shortest distance between line current and observing point.

The relationship between  $B$  and the magnetic field ( $H$ ) can be defined by the following equation (B.2). Equation (B.2) holds when  $t \ll h < Y \ll \text{wavelength of the current}$ .

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{I}{2\pi r} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.2})$$

where  $H$  is the magnetic field (A/m).

In the following example shown in figure B.1, the magnetic field ( $H$ ) over a microstrip line can be obtained by applying equation (B.2).



IEC 1482/02

**Figure B.1 – Cross-sectional view of a microstrip line**

At an observation point, (C), defined at the centre of the loop of the magnetic probe at a distance of  $Y$  from the axis of the strip conductor, the horizontal component ( $H_x$ ) is obtained by summing up the magnetic fields generated by the current  $I$ , which is flowing in the strip conductor and by the image current  $-I$ . Thus, the magnetic field ( $H_x$ ) can be expressed by equation (B.3) below:

$$H_x = \frac{I}{2\pi Y} - \frac{I}{2\pi D} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.3})$$

where

$$D = Y + 2h + t \quad (\text{m}) \quad (\text{B.4})$$

$Y$  is the distance between the strip conductor and the observing point C (m);

$D$  is the distance between the image current and the observing point C (m);

$h$  is the thickness of the dielectric substrate (m);

$t$  is the thickness of the strip conductor (m).

Substituting equation (B.4) into equation (B.3) yields the following formula, which determines the magnetic field ( $H_x$ ) over the microstrip line. Equation (B.5) holds when  $t \ll h < Y \ll$  wavelength of the current.

$$H_x = \frac{(2h + t) I}{2\pi Y (Y + 2h + t)} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.5})$$

If it is assumed that  $t \ll h$ ,  $t \ll Y$ , then equation (B.5) becomes:

$$H_x = C_h I = \frac{h I}{\pi Y (Y + 2h)} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.6})$$

Thus, the relationship between  $H_x$  and  $I$  with  $C_h$  to be a transfer constant is clarified and the current ( $I$ ) is given by the following equation (B.7):

$$I = H_x \frac{\pi Y (Y + 2h)}{h} \quad (\text{A}) \quad (\text{B.7})$$

When substituting the following recommended values of the standardized test board described in this standard into equation (B.7), then equation (B.8) is obtained as follows:

$$t = 3,50 \times 10^{-5} \text{ (m)}, \quad Y = 0,0019175 + t_r = 1,93 \times 10^{-3} \text{ (m)}, \quad h = 6,00 \times 10^{-4} \text{ (m)}$$

where  $t_r$  is the thickness of the resist. However, this value is so small that it may be ignored in most current calculations.

Accordingly

$$H_x = 31,7 \times I \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.8})$$

Consequently

$$H_{x\_dB} = 20 \log H_x = 30 + I_{\_dB} \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.9})$$

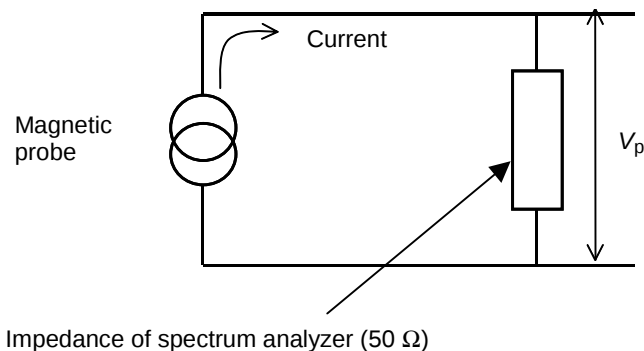
$$I_{\_dB} = H_{x\_dB} - 30 \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.10})$$

where  $I_{\_dB}$  is the  $I$  value in dB (dB A).

Thus, subtracting 30 from  $H_{x\_dB}$  yields current ( $I_{\_dB}$ ). This is a fundamental equation to correlate the magnetic field intensity measured with the RF current on each measurement strip conductor to be evaluated.

For the microstrip board with a different insulator thickness ( $h$ ), an appropriate transfer constant ( $C_h$ ) shown in figure 12 should be used instead of 30 in equations (B.9) and (B.10).

Practically, the magnetic field ( $H_x$ ) is measured by the probe output voltage as illustrated in figure B.2. The output of the magnetic probe (current source) is connected to the input impedance ( $50\ \Omega$ ) of a spectrum analyzer. The current from the magnetic probe is measured by the voltage across the impedance.



IEC 1483/02

**Figure B.2 – Measurement of magnetic probe output**

Therefore, the relationship between the magnetic field ( $H_x$ ) and output voltage of the magnetic probe ( $V_p$ ) can be expressed by the following equation (B.11):

$$H_x = C_f V_p \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.11})$$

where

$C_f$  is the calibration factor for the magnetic field (S/m);

$V_p$  is the voltage across the impedance (V).

In the logarithmic expression, the magnetic field ( $H_{x\_dB}$ ) is given by the following equation (B.12):

$$H_{x\_dB} = C_{f\_dB} + V_{p\_dB} \quad (\text{dB A/m}) \quad (\text{B.12})$$

The calibration factor ( $C_{f\_dB}$ ), which is a measured value and is obtained by the calibration method in annex A for the magnetic probe specified in this standard, is shown in figure B.3.

Substituting equation (B.12) into equation (B.10) yields the following equation (B.13):

$$I_{\_dB} = V_{p\_dB} + C_{f\_dB} - C_{h\_dB} \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.13})$$

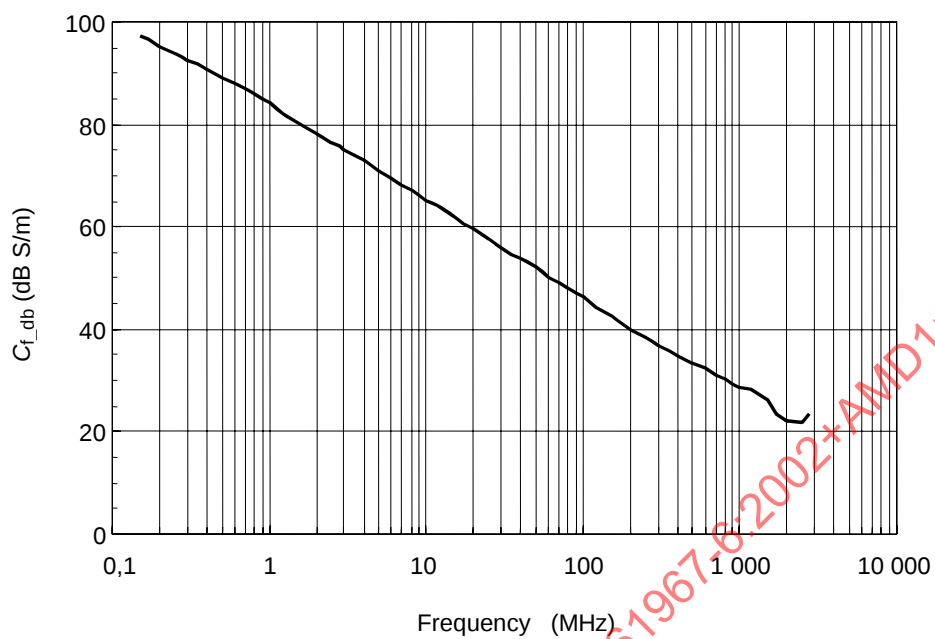
where

$V_{p\_dB} = V_p$  value in dB (dB V);

$C_{f\_dB} = C_f$  value in dB (dB S/m);

$C_{h\_dB} = C_h$  value in dB (dB 1/m).

Thus, in practice, the RF current ( $I_{\_dB}$ ) is calculated.



**Figure B.3 – Example of calibration factor for the magnetic probe specified in figures 1, 2, 3, and 4**

## Annex C (informative)

### Spatial resolution of magnetic probe

The diagram for measuring the magnetic field distribution across a microstrip line is shown in figure C.1. The design of this magnetic probe is based on using a multi-layer board and achieves high spatial resolutions as seen in figure C.2.

In a standardized test board, spacing between two adjacent traces is about 2 mm. At a distance of 1 mm (at 800 MHz), the spatial resolution is about 1,2 mm (–6 dB drop point). Therefore, the magnetic field from an adjacent trace gives little influence and can be neglected.

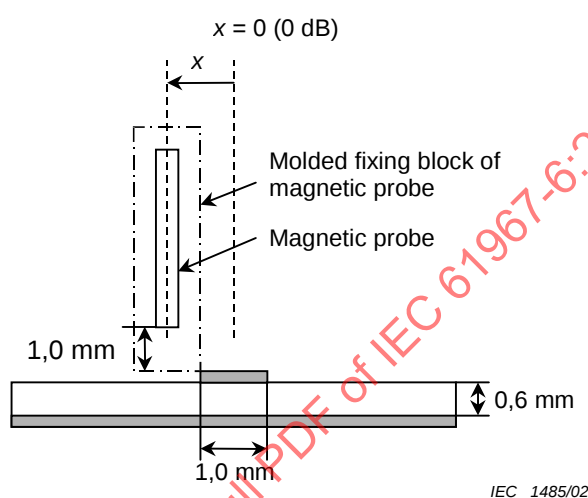


Figure C.1 – Diagram for measuring a magnetic field distribution

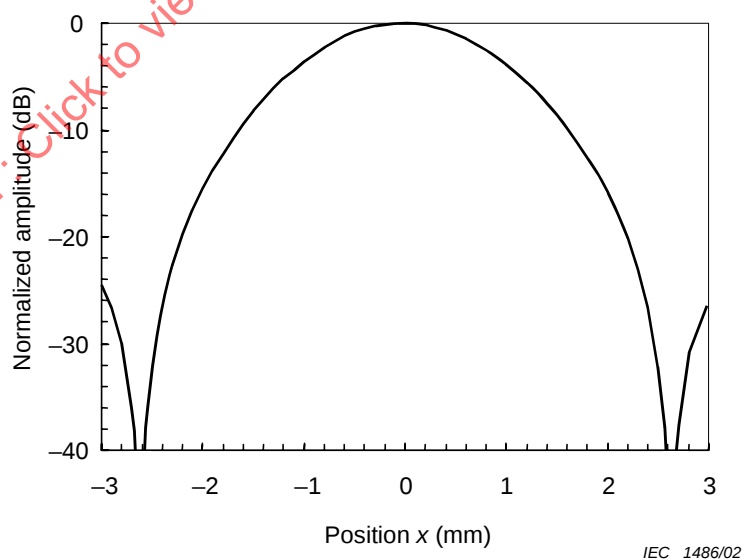
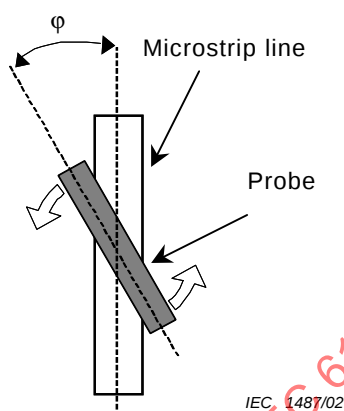


Figure C.2 – Magnetic field distribution  
across the microstrip line (at 800 MHz)

## Annex D (informative)

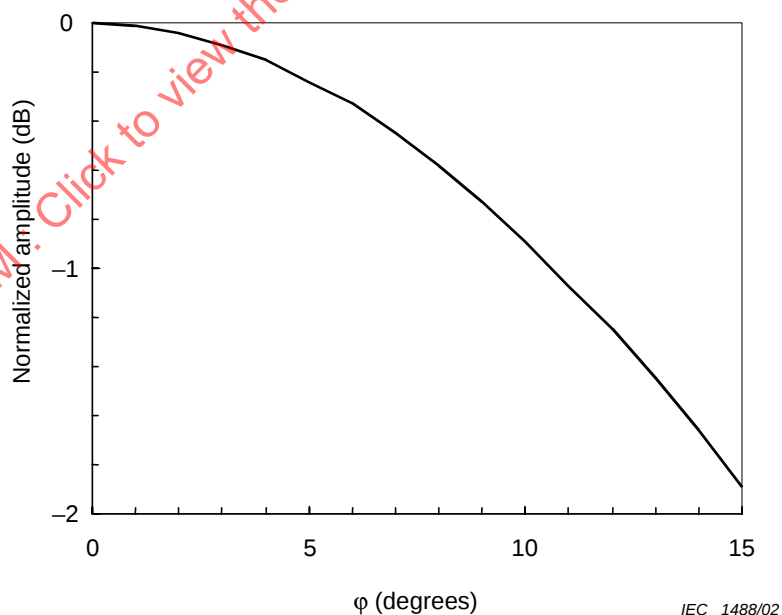
### Angle pattern of probe placement

The diagram for measuring a magnetic probe placement angle ( $\phi$ ) with respect to the direction of a microstrip line is shown in figure D.1.



**Figure D.1 – Diagram for measuring an angle pattern of probe placement**

The probe output voltage depends on the probe placement angle ( $\phi$ ) to the direction of a microstrip line under measurement as seen in the following figure D.2.



**Figure D.2 – Probe output to angle  $\phi$**

## **Annex E** (informative)

### **Advanced magnetic probe**

#### **E.1 General**

The miniature magnetic probe (advanced magnetic probe) has a high spatial resolution, and it enables accurate measurement of near magnetic fields of IC packages and dense PCBs. It should be made of a low temperature co-fired ceramics (LTCC) board and its detecting part (detecting loop) should be about 2 mm wide and 1 mm thick. The miniaturization may cause a decrease of probe sensitivity of magnetic field, due to the reduction of loop size. The details of probe design are shown in Figures E.1, E.2, E.3 and E.4. However, the lower sensitivity to magnetic field is compensated by the decrease of necessary gain, resulting from the possibility of placement of the new probe loop edge closer to the microstrip line than it was before.

#### **E.2 Advanced magnetic probe fixture**

The previous model of magnetic field probe is a shielded loop probe, made by using multilayer FR4-PCB. The loop part of the previous magnetic field probe cannot be made small enough to measure current at short trace on PCB. The new model is made by precise glass ceramic multi-layer board, enabling both compactness and high spatial resolution.

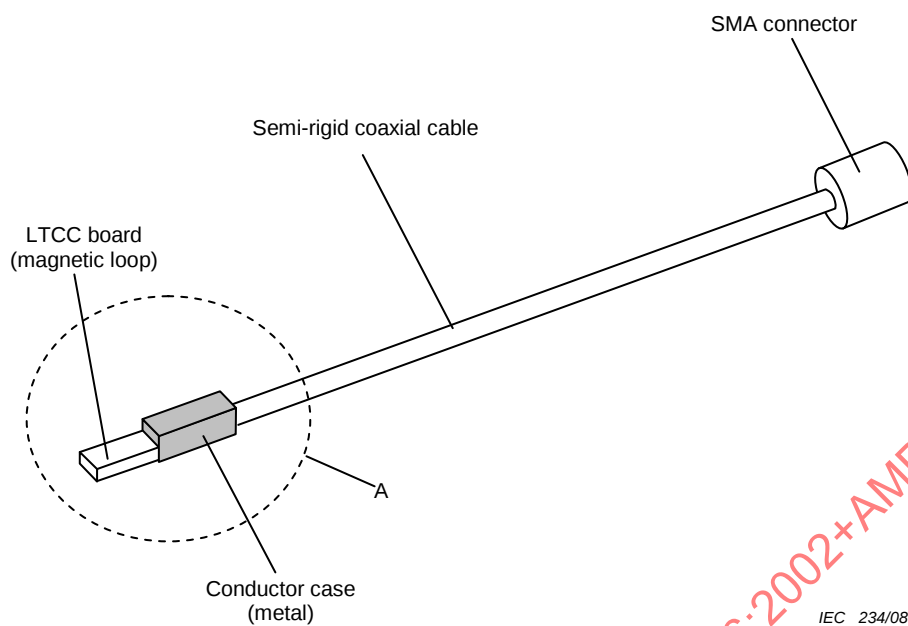
Figures E.1 and E.2 show an external view of the probe. The size of the magnetic detecting loop is reduced to 2 mm width x 1 mm thickness. The advanced magnetic probe should be a tri-plate strip line composed of a three-layer LTCC board. Recommended probe construction details are shown in Figures E.3, E.4, E.5, E.6, E.7 and E.8. In all figures, braces ( ) indicate that the enclosed values are examples. Other dimensions shall be within tolerances described below. If the loop part does not fall within tolerance limits, measurement error will increase. A semi-rigid cable can be attached at the junction area which is shown as Figures E.1 and E.2. Junction for the connection should have characteristic impedance of 50  $\Omega$  up to 3 GHz. The connection construction which is shown in the figures is one example of connection between LTCC board and semi-rigid coaxial cable. Other constructions which provide good high-frequency connectivity are acceptable.

In Figures E.4, E.5, E.6 and E.7, the relative dielectric constant of the board material is 7,1, and the printed pattern on an LTCC board is formed with Ag-Pd paste. In these figures, finished dimensions of printed pattern of loop portion may have a tolerance rating of  $\pm 2,5$  percent. Dimensions with braces also may have a tolerance rating of  $\pm 10$  percent. The conductors are 15  $\mu\text{m}$  thick with a tolerance of  $\pm 5 \mu\text{m}$ . The insulators (dielectric) are 120  $\mu\text{m}$  thick with a tolerance rating of  $\pm 10$  percent. The ground pads on the first layer and the fifth layer are coated with about 30  $\mu\text{m}$  (thickness) of gold (Au) plating. Therefore the thickness of the ground pad may be increased, so as to solder the pads to conductor case. Unless otherwise specified, dimensions of printed pattern may have a tolerance rating of  $\pm 10$  percent.

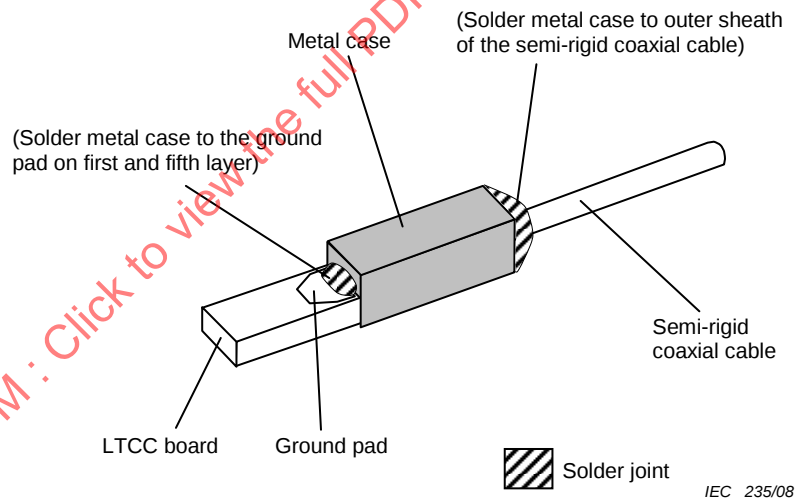
Shielded loop structure is used for detecting part for magnetic field. This part shall be fabricated precisely using precise LTCC process. Figure E.3 shows the superimposed main pattern of the magnetic field detector made by using a 5-layer glass ceramic board. The second and forth layers are ground layers corresponding to the outer sheath of a coaxial cable; the third layer is the signal layer, equivalent to the core conductor. The loop and lead portion of the multilayer board of the new probe is symmetrical about the third layer except via and signal pattern. The strip line was designed to have a characteristic impedance of  $50\ \Omega$ , in consideration of impedance matching with the measurement system. The end of the signal line is passed through a via-hole and connected to ground.

The previous probe has apertures in the sides of the tri-plate strip line (lead portion), but both sides of the ground pattern on the second layer are connected to the fourth layer by via-hole as shown in Figure E.3. The via-hole shall be formed with a pitch of 0,25 mm or less. The loop serving as the magnetic field detector is a rectangle 0,2 mm x 1 mm, and the spatial resolution can be raised to 250  $\mu\text{m}$  (typical) at the 6 dB degrading point. If the target of measurement is a straight trace such as a microstrip line, the current calibration coefficient can be used to convert measured magnetic field over a trace into current. About the pattern on each layer of the LTCC board, the amount of deviation from perfect alignment shall be within 10  $\mu\text{m}$ . The performance of the probe will decrease when the alignment error increases, because the characteristic impedance of the strip line of the probe deviates from  $50\ \Omega$ . Taking screening test by x-rays, nonconforming items where the alignment error exceeds 10  $\mu\text{m}$  shall be rejected. Furthermore, the front end face of the LTCC board shall be precisely cut and polished flat.

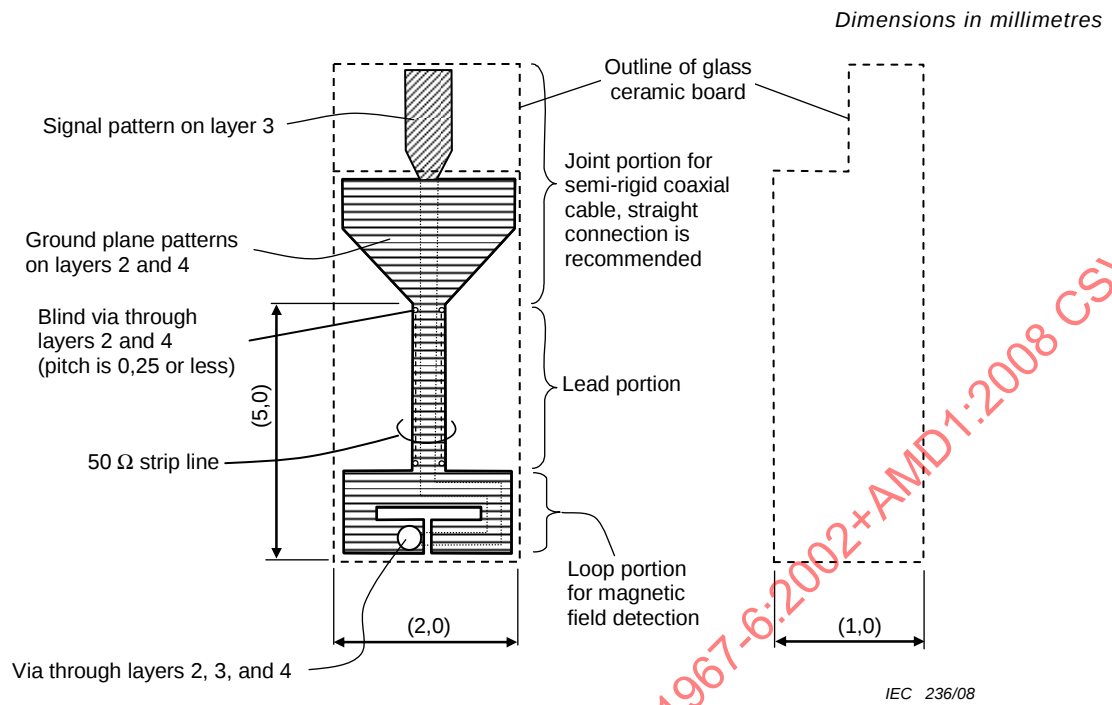
The ground pads on the first layer and the fifth layer are shown in Figures E.4 and E.7. The pad of the first layer is connected to the second layer by via-holes and the pad of the fifth layer is connected to the fourth layer by enough number of vias, respectively. The ground pad on the fifth layer is extended, when compared to that on the first layer. As shown in Figures E.5 to E.6, the trace width is tapered down to a narrow trace. As shown in Figures E.4 and E.7, the ground patterns are also tapered, because the second and fourth layer patterns are tapered. Figure E.8 shows the configuration for connection of the LTCC board and the semi-rigid coaxial cable. The joint construction consists of conductor case, step part of LTCC board and semi-rigid coaxial cable. As shown in Figure E.8, the central conductor of the semi-rigid coaxial cable is connected to the signal pad on the third layer of the LTCC board by solder. LTCC board has a step, so the signal pattern on the third layer is exposed. The central conductor of the semi-rigid cable can be mounted on signal pattern in parallel with signal pattern. The outer conductor of the semi-rigid coaxial cable is contacted with the rear edge of the LTCC board. Further, the conductor case (Cu) is connected to the ground pads on the first and the fifth layers by solder so as to cover and surround a joint part of the central conductor. The conductor case shall be connected to the outer conductor by solder. Here, the ground pad, the outer conductor and the conductor case may preferably be solder-connected to one another without any clearance. The shield performance of the joint section is enhanced by the conductor case, so that electromagnetic interference of a sensor output signal with an outcoming noise or another wiring signal can be suppressed. The characteristic impedance of joint section including conductor case shall be designed by adjusting the dimensions of the signal pads and the conductor case, a reflection loss due to impedance mismatching is suppressed so that a high-frequency signal transmission characteristic can be made satisfactory.



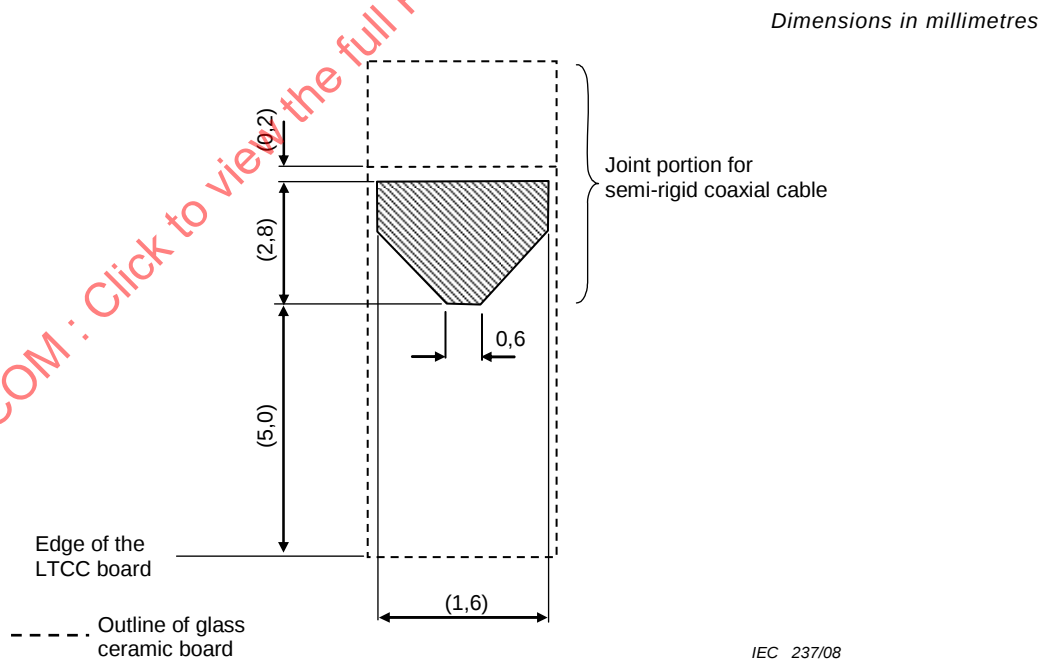
**Figure E.1 – Illustration of the assembled advanced magnetic probe**



**Figure E.2 – Enlarged view of part A of Figure E.1  
(an example of connection construction)**



**Figure E.3 – Main pattern (layer 2 to 4) of advanced magnetic probe**



**Figure E.4 – Layer 1 (ground pattern) of advanced magnetic probe**

Dimensions in millimetres

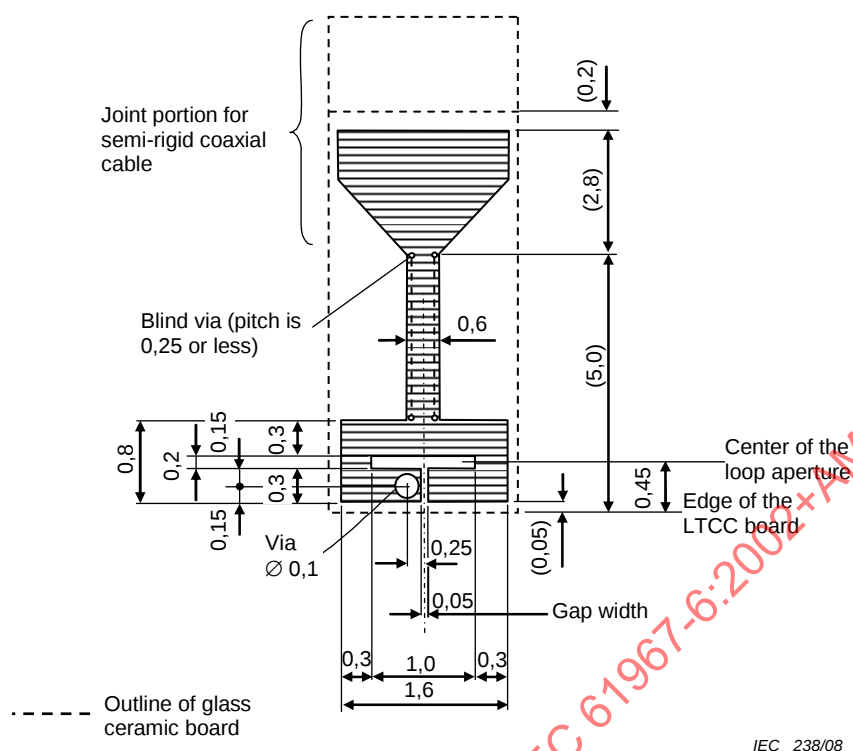


Figure E.5 – Layer 2 and 4 (ground pattern) of advanced magnetic probe

Dimensions in millimetres

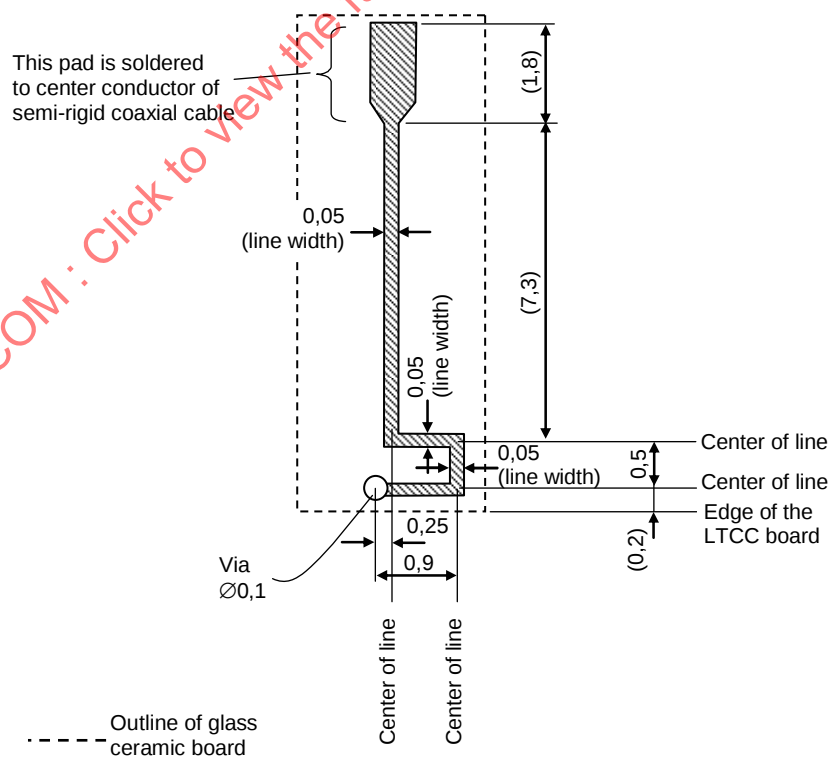


Figure E.6 – Layer 3 (signal pattern) of advanced magnetic probe

Dimensions in millimetres

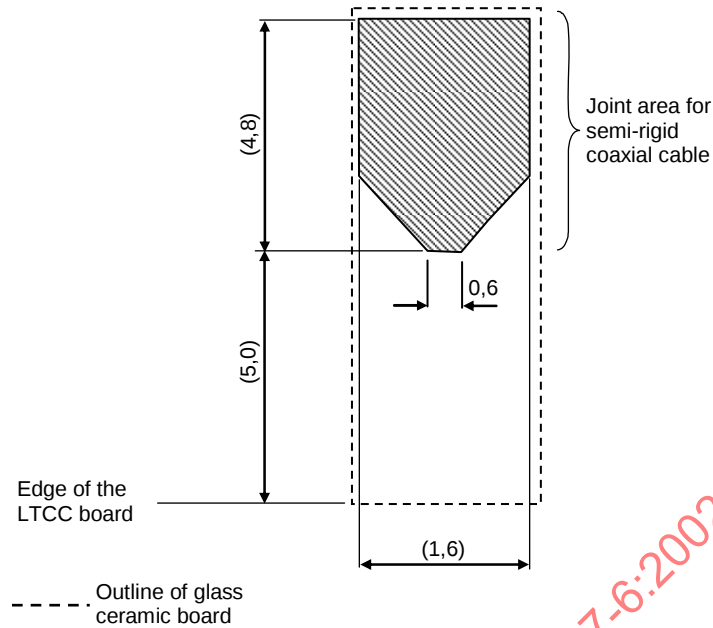
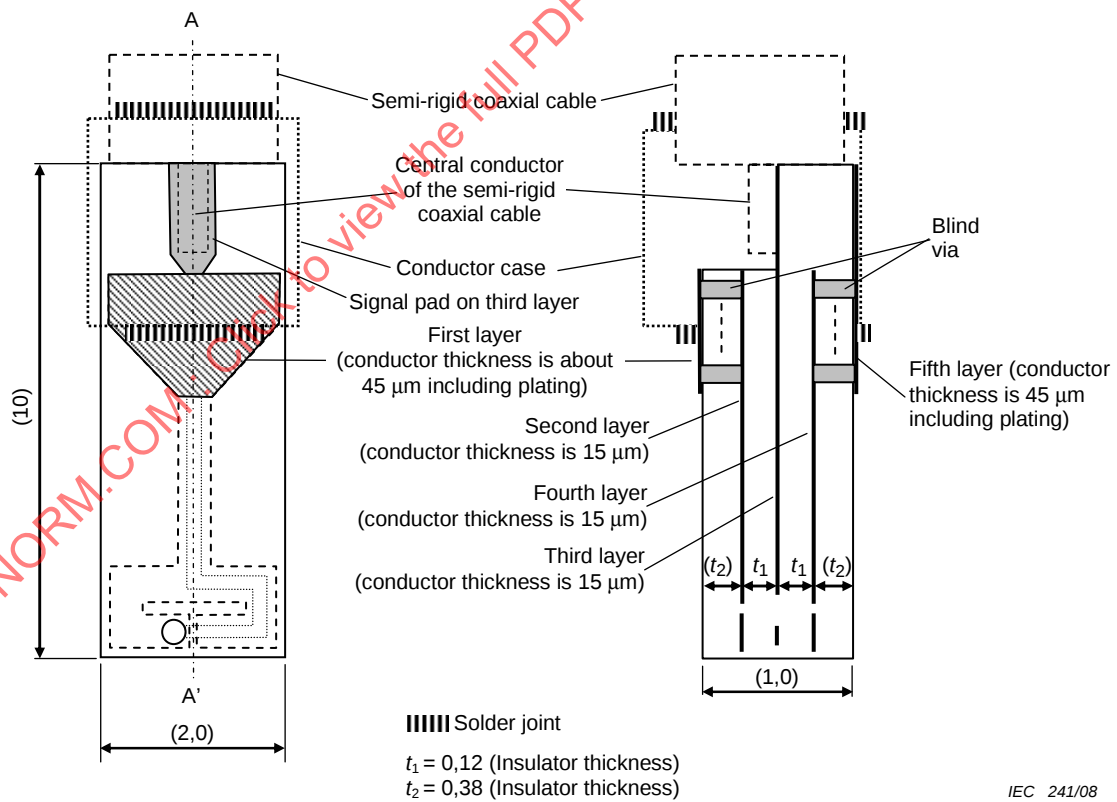


Figure E.7 – Layer 5 (ground pattern) of advanced magnetic probe

Dimensions in millimetres

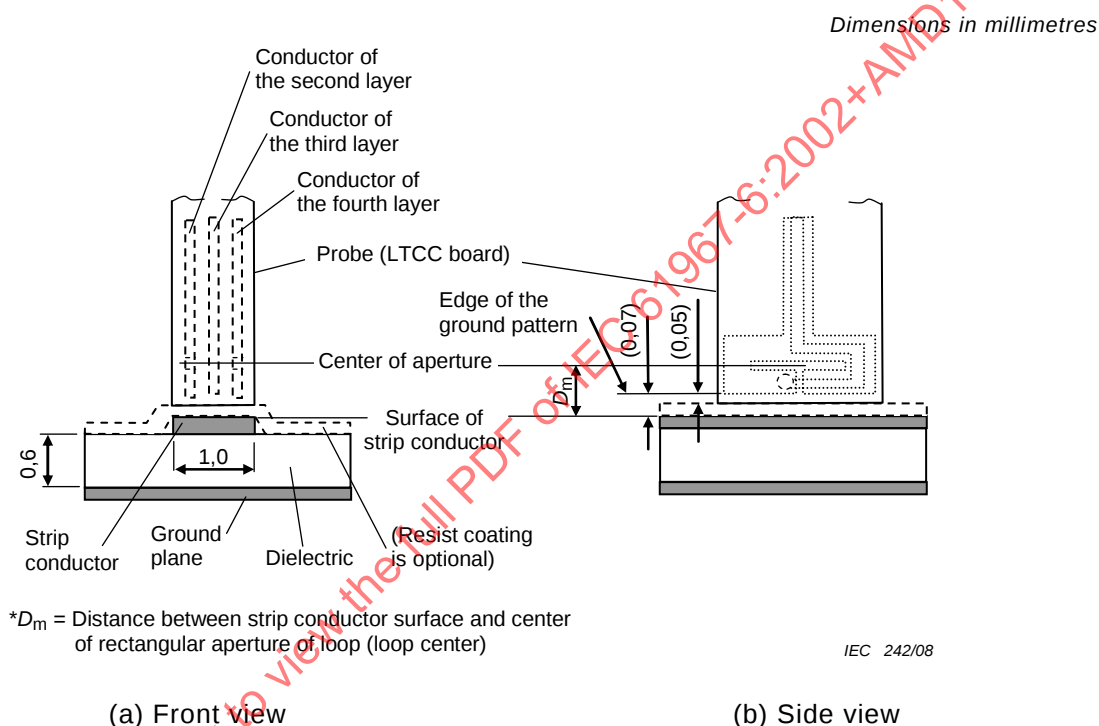


(a) Top view

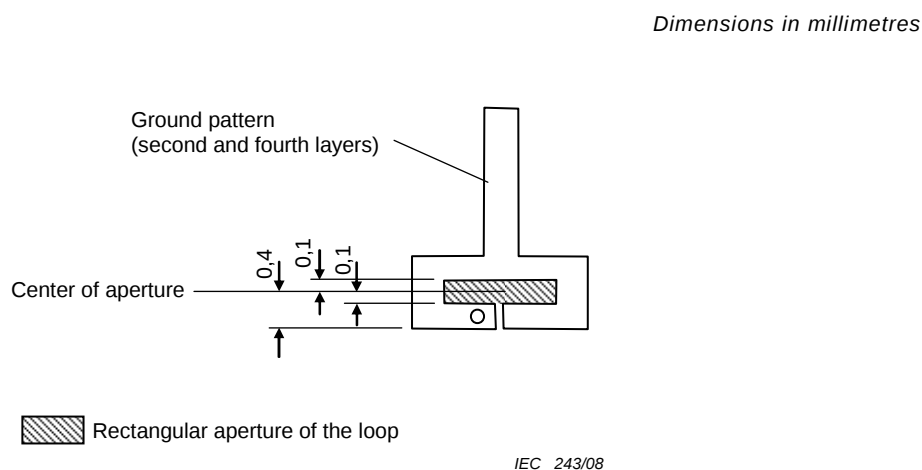
(b) Section A-A'

Figure E.8 – Construction of advanced magnetic probe

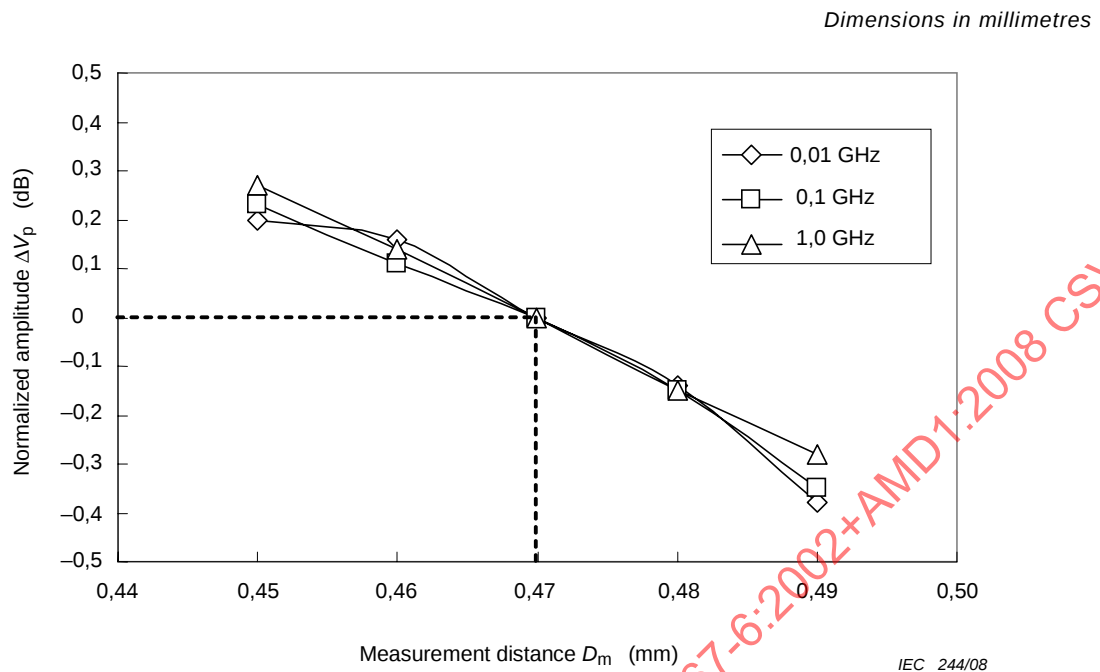
The output voltage of the magnetic probe ( $V_p$ ) depends on the distance ( $D_m$ ) between the loop center and the surface of the strip conductor under measurement. In Figure E.9, the strip conductor width is 1,0 mm, when the insulator thickness of the test board is 0,6 mm. The characteristic impedance is  $50 \Omega \pm 5 \Omega$ . The thickness of copper film (strip conductor) shall be standardized. The film could be standardized to a thickness between  $18 \mu\text{m}$  to  $35 \mu\text{m}$ , while  $35 \mu\text{m}$  is recommended. As shown in Figure E.10, the loop center is defined as the rectangular aperture of the ground patterns on the second layer and the fourth layer. This makes it very critical to maintain a  $0,47 \text{ mm}$  ( $470 \mu\text{m}$ )  $\pm 20 \mu\text{m}$  distance between the strip conductor and the center of the aperture of loop during the measurement. Therefore, a probe spacing fixture should be used to maintain  $0,07 \text{ mm}$  spacing between the bottom of the rectangular loop portion of the probe and the probe tip. The value of  $D_m$  is  $0,47 \text{ mm}$ .



**Figure E.9 – Measurement set-up**



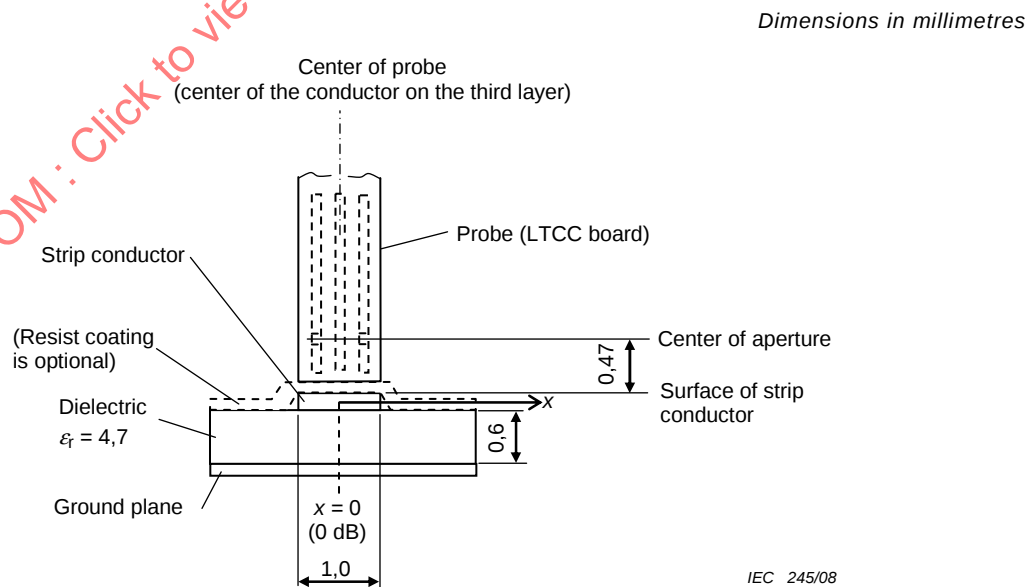
**Figure E.10 – Definition of loop center**



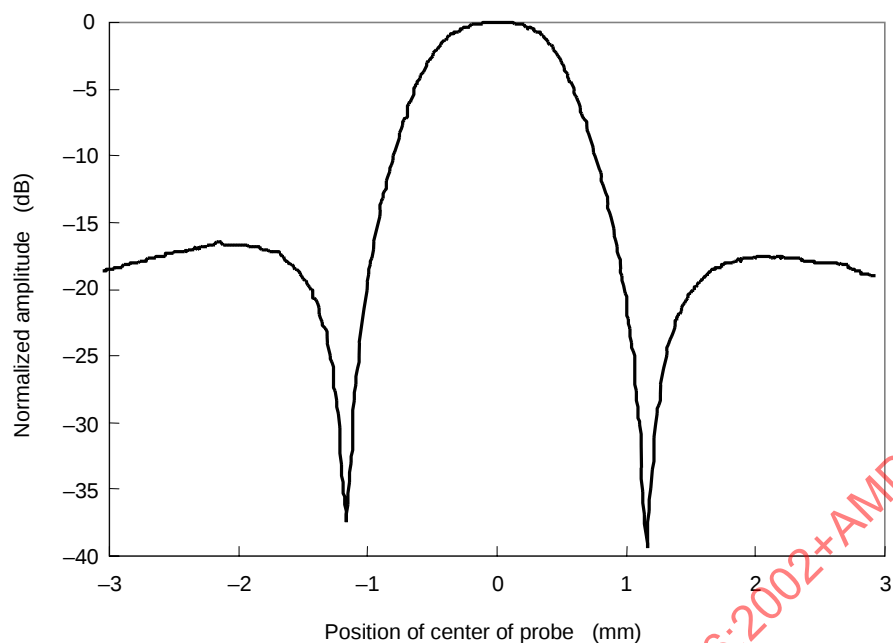
**Figure E.11 – Error graph of the measured voltage versus measurement distance**

### E.3 Spatial resolution of magnetic probe

The set-up for measuring of the magnetic field distribution across a microstrip line is shown in Figure E.12. As seen in Figure E.13, it achieves high spatial resolutions. The spatial resolution is 0,7 mm (–6 dB drop point), measured at  $D_m = 0,47$  mm and  $f = 1$  GHz. Therefore, the magnetic field from an adjacent trace has little influence and can be neglected when the probe is placed at the centre of the strip conductor. The test board is the same as that in Figure E.9.



**Figure E.12 – Set-up for measuring magnetic field distribution**

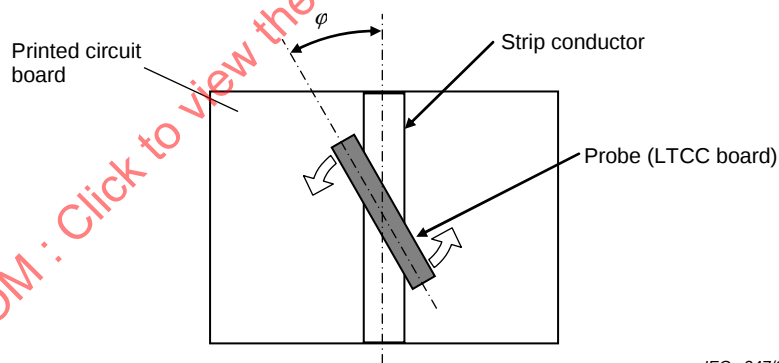


IEC 246/08

**Figure E.13 – Magnetic field distribution across microstrip line (1 GHz)**

#### E.4 Angle pattern of probe placement

The set-up for measuring a magnetic probe placement angle ( $\varphi$ ) with respect to the direction of a microstrip line is shown in Figure E.14.



IEC 247/08

**Figure E.14 – Set-up for measuring an angle pattern of probe placement**

The output voltage of the magnetic probe ( $V_p$ ) slightly depends on the probe placement angle ( $\varphi$ ) to the direction of a microstrip line under measurement as seen in the following Figure E.15. The microstrip line is the same as that shown in Figure E.9. The distance between the strip conductor and the loop center ( $D_m$ ) is 0,47 mm.

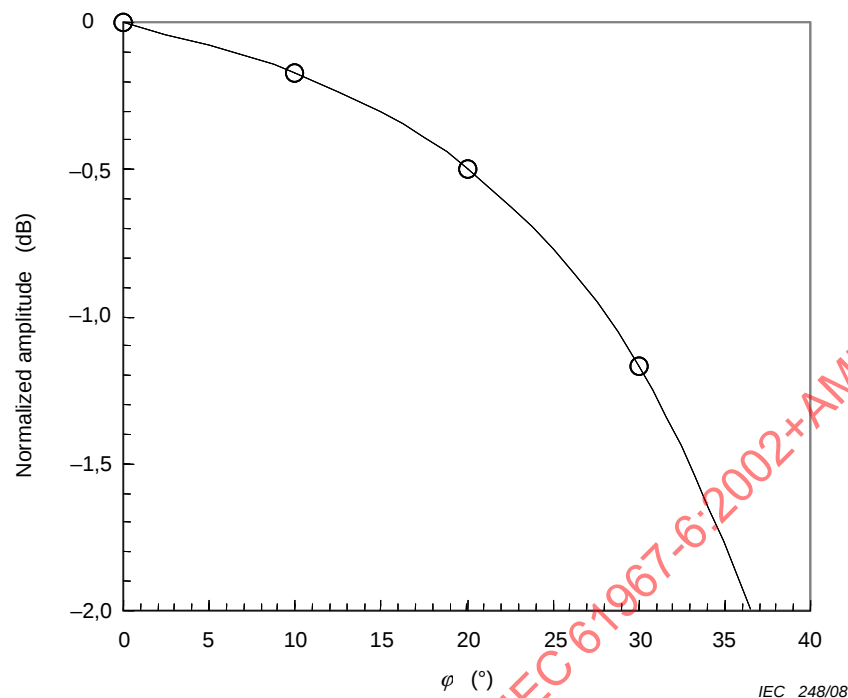


Figure E.15 – Probe output amplitude as function of angle  $\phi$   
( $D_m$  is 0,47 mm)

## E.5 Calibration factor

The magnetic probe shall be placed at a distance above the surface of the line under test on the test board described in Figure E.9. The output voltage of the magnetic probe ( $V_p$ ) is measured by a spectrum analyzer or a measuring receiver as described in IEC 61967-1. RF current ( $I_{dB}$ ) is calculated from the measured value of  $V_p$  as corrected by the calibration factor of the magnetic probe ( $C_f$ ) and the transfer constant ( $C_h$ ) by equation (E.1) for a typical example of the test board as described in Annex B.

$$I_{dB} = V_{p\_dB} + C_{f\_dB} - C_{h\_dB} \quad (\text{dB A}) \quad (\text{E.1})$$

where

$V_{p\_dB}$   $V_p$  value in dB (dB V),  
 $C_{f\_dB}$   $C_f$  value in dB (dB S/m),  
 $C_{h\_dB}$   $C_h$  value in dB (dB 1/m).

One method to obtain  $I_{dB}$  is to determine  $C_{f\_dB}$  and  $C_{h\_dB}$  individually.  $C_{f\_dB}$  can be measured by the microstrip line method under appropriate condition and  $C_{h\_dB}$  is calculated in Annex B. As led from equation (B.6), transfer function  $C_h$  is calculated from the ratio of the x-component of magnetic field  $H_x$  to the current  $I$  of the microstrip line. In this case, the line current model shown in Figure E.16(a) is used for the calculation of  $H_x$  in Annex B, because the distance ( $D_m$ ) is large enough as shown in equation (B.6). However, for the advanced magnetic probe, the x-component of average magnetic field in the loop area  $H_{x-ave}$  shall be calculated from the distributed current model on the strip conductor of a microstrip line shown in Figure E.16(b), because the measurement distance is closer compared to the line current model shown in Figure E.16(a). The current model which is shown in Figure E.16(b) is the real distributed current model on strip conductor (see bibliography [2-3]). If it is difficult to determine the magnitude of current density distribution, the approximated uniform current model can be used for calculating  $H_{x-ave}$ , because of simplification of calculation (see bibliography [4]).

$H_{x-ave}$  is given as

$$H_{x-ave} = \left| \frac{1}{S_{eq}} \sum_{k=1}^N \int_{S_{eq}} [H_{+x}(i_k) + H_{-x}(-i_k)] dS \right| \quad (A/m) \quad (E.2)$$

where  $H_x(i_k)$  and  $H_x(-i_k)$  are x-components of the magnetic field at segment  $k$  calculated by the distributed current of strip conductor  $i_k$  and image current  $-i_k$ .  $S_{eq}$  is the equivalent loop area. ( $N i_k$ ) is equal to the total current  $I$ . The transfer constant from the distributed current model ( $C_{h\_distributed}$ ) is calculated from the ratio of  $H_{x-ave}$  to current  $I$  as described in Annex B. Equation (E.1) is rewritten as equation (E.3) by replacing  $C_h$  with  $C_{h\_distributed}$ .

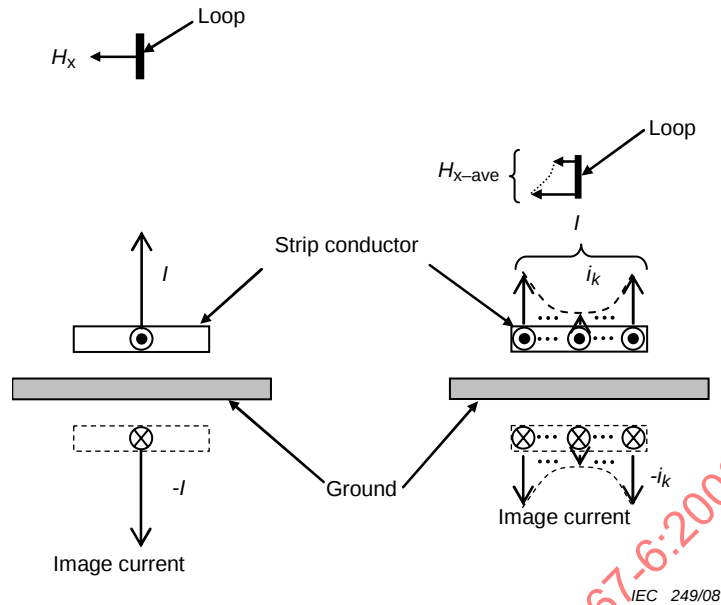
$$I_{dB} = V_{p\_dB} + (C_{f\_dB} - C_{h\_distributed\_dB}) \quad (dB A) \quad (E.3)$$

where

- $V_{p\_dB}$  is the voltage across the impedance in dB (dB V),
- $C_{f\_dB}$  is the calibration factor for the magnetic field in dB (dB S/m),
- $C_{h\_distributed\_dB}$  is the transfer constant from distributed current model in dB (dB 1/m).

Experimental results from the distributed current model are described in bibliography [2-5]. It should be effective for obtaining  $C_{h\_distributed\_dB}$  by calculation.

$H_{x-ave}$  varies when the dimension of the PCB varies. The worst case estimation (10 % deviation of dimensions of insulator thickness ( $h$ ), resist thickness ( $t_r$ ), line width ( $W$ ) and conductor thickness ( $t_s$ )) is 0,89 dB and is accurate enough for this measurement.

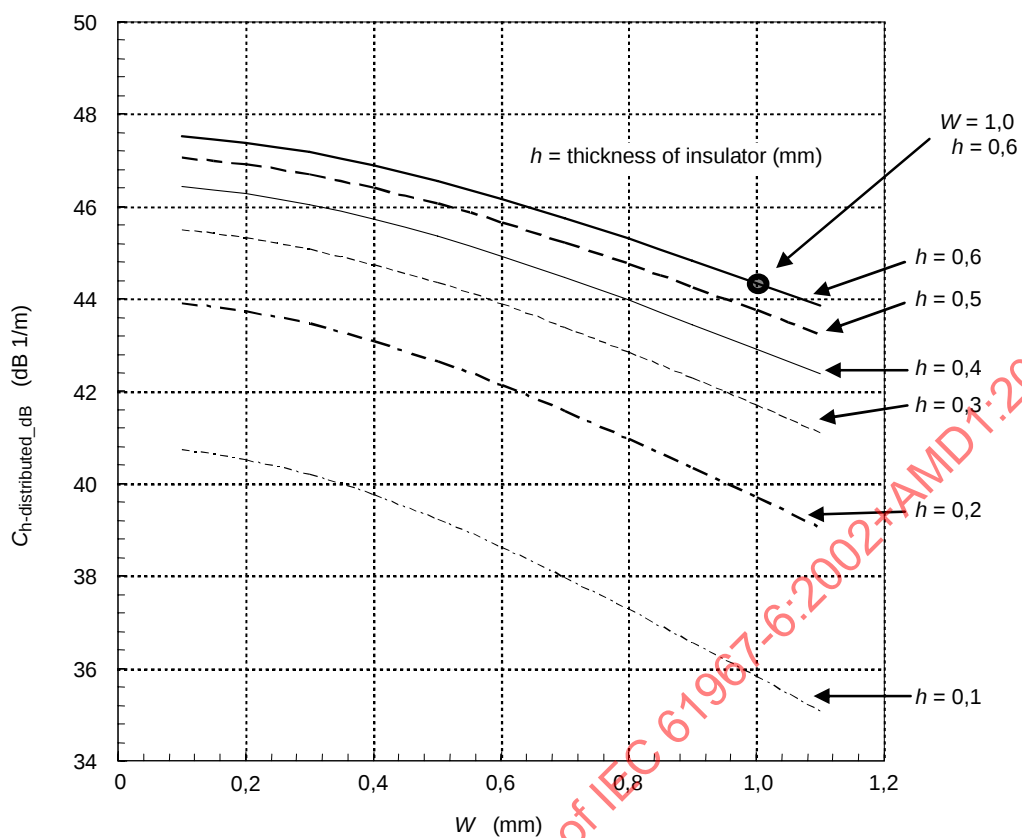


(a) Line current model where current is concentrated at centre of strip conductor

(b) Distributed current model considering edge effect

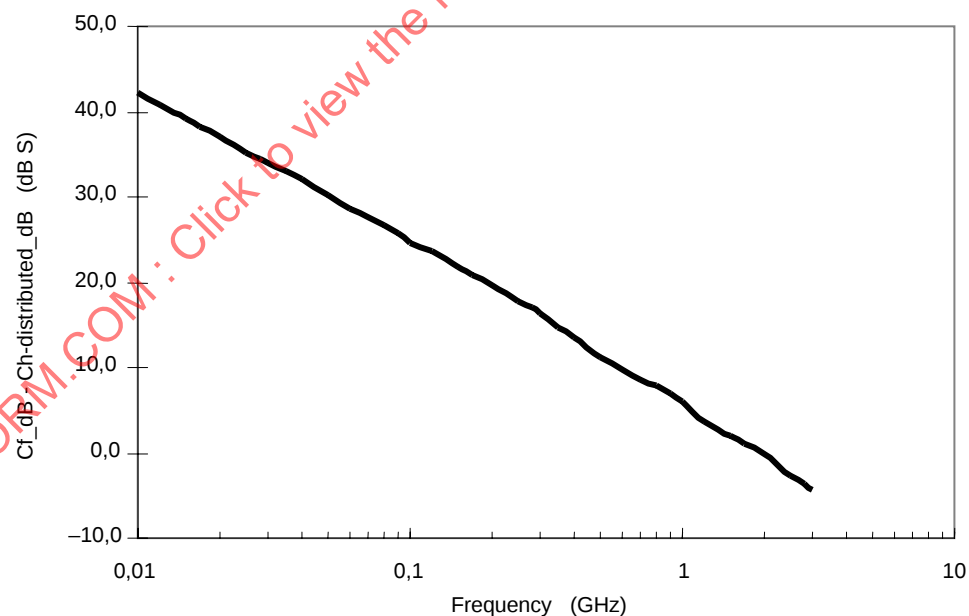
**Figure E.16 – Current models of strip conductor of microstrip line**

In equation (E.3), it is not necessary to obtain  $C_{h-distributed\_dB}$  separately by the complicated calculation described above, because the calibration objective is not to obtain the intermediate parameter. It is practicable to obtain the current  $I$  directly without calculation from equation (E.2).  $(C_{f\_dB} - C_{h-distributed\_dB})$  depends only on the parameters of the microstrip line under the conditions in Figure E.9, because the measurement distance is constant ( $D_m = 0,47$  mm). Method for seeking  $(C_{f\_dB} - C_{h-distributed\_dB})$  by measurement is described in Clause E.6.



IEC 250/08

Figure E.17 – Calibration factor for different board parameters



IEC 251/08

Figure E.18 – Example of measured ( $C_{f\_dB} - C_{h\text{-distributed\_dB}}$ ) at microstrip line under the same condition ( $W=1,0$  mm,  $h=0,6$  mm) as shown in Figure E.9

Figure E.17 shows the calculated  $C_{h\text{-distributed\_dB}}$  when the thickness of dielectric ( $h$ ) and the width of strip conductor ( $W$ ) are varied. It is obtained using the procedure for calculating the ratio of  $H_{x\text{-ave}}$  to current  $I$ . In this case, the measurement distance ( $D_m$ ) equals 0,47 mm. When a microstrip line whose dimensions are different from those in Figure E.17 is used, the calibration factor ( $C_{f\_dB} - C_{h\text{-distributed\_dB}}$ ) for the corresponding ( $W, h$ ) shall be used. However, it is not efficient to repeat calibration using the procedure described in E.6. With a test board having different thickness of dielectric ( $h$ ) and width of strip conductor ( $W$ ), the value of current can be calculated with transfer constants  $C_{h\text{-distributed\_dB}}(W_{\text{cal}}, h_{\text{cal}})$  and  $C_{h\text{-distributed\_dB}}(W, h)$  by the following equations.  $C_{h\text{-distributed\_dB}}(W_{\text{cal}}, h_{\text{cal}})$  and  $C_{h\text{-distributed\_dB}}(W, h)$  can be read in Figure E.17. Current of non-50  $\Omega$  line is also obtained using the following equations.

$$I_{\text{dB}} = V_{p\_dB} + (C_{f\_dB} - C_{h\text{-distributed\_dB}}(W_{\text{cal}}, h_{\text{cal}})) + \Delta C_h \quad (\text{dB A}) \quad (\text{E.4})$$

$$\Delta C_h = C_{h\text{-distributed\_dB}}(W_{\text{cal}}, h_{\text{cal}}) - C_{h\text{-distributed\_dB}}(W, h) \quad (\text{E.5})$$

## E.6 Calibration for probe and microstrip line

### E.6.1 General

The magnetic probe used for the measurement shall be calibrated in accordance with the procedures described below. The calibration factor ( $C_{h\text{-distributed\_dB}} - C_{f\_dB}$ ) can be obtained by using the microstrip line method, which has the advantage in that the probe can be calibrated under the normal operating conditions for the magnetic probe method.

The probe calibration for a reference microstrip line on a PCB is shown in Figure E.14. This calibration can be performed with the same measurement set-up as a normal IC emission measurement on a test board except for the measurement distance. This requires an accurate space placement of the probe that definitely minimizes measuring errors and assures a highly repeatable emission measurement.

### E.6.2 Pre-amplifier

Use a pre-amplifier as specified in IEC 61967-1, if necessary.

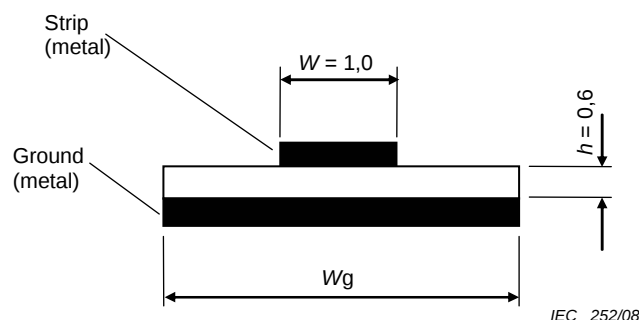
### E.6.3 Spectrum analyzer setup

Use manufacturer's recommended procedures for calibration of the spectrum analyzer. Set attenuation at an appropriate level and video bandwidth at a minimum of three times the resolution bandwidth to prevent video averaging of the signal.

### E.6.4 Microstrip line

Use microstrip line structure to calibrate the probe; an example is shown in Figure E.20. The characteristic impedance shall be  $50 \Omega \pm 5 \Omega$ . In that case, the strip conductor width ( $W$ ) is 1,0 mm, when the insulator thickness ( $h$ ) of the microstrip board is 0,6 mm. The ground plane width ( $W_g$ ) of the microstrip line should be wide enough (for example 50 mm). The microstrip line should be long enough to reduce the effect of connectors at both edges (for example 50 mm), and should have a sufficiently high frequency performance. In order to check the characteristic impedance, RF measurement equipment such as a network analyzer or a TDR oscilloscope should be used.

NOTE The power required to obtain a sufficient signal to noise (S/N) ratio may be determined in advance over frequency range of interest.



**Figure E.19 – Cross-sectional view of a microstrip line for calibration (example)**

### E.6.5 Calibration

- Measure the gain or loss of the test setup. Include the pre-amplifier in this measurement, if used.
- Place the probe over the microstrip line so that the plane of the loop is perpendicular to the ground plane and parallel to the longitudinal axis of the microstrip line. The centre of the probe shall be located within  $\pm 0,2$  mm distance from the centre of the microstrip line, or search for the position where the probe output voltage reaches a peak. The face angle of the probe shall be within a 5 degree deviation from the axis of the microstrip line. The distance from the microstrip line surface to the loop center shall be kept within  $0,47$  mm  $\pm 20$   $\mu$ m. These restrictions on the probe placement shall be maintained to obtain calibration factors as accurately as possible. The maximum error for calibration factors under these restrictions is estimated to be within  $\pm 1,6$  dB.

Sensitivity deviations of the probes with the dimensions specified in this document are regarded as less than  $\pm 1,0$  dB. Further information about the dependency on these placement factors is shown in E.2, E.3 and E.4.

- Connect a signal generator to one end of the microstrip line while placing a  $50\ \Omega$  termination to the other end. Also, connect the cable from the magnetic probe connector to a spectrum analyzer as shown in Figure E.20.
- Establish a field excitation around the reference microstrip line by the signal generator at one frequency within the frequency band of interest, and record the level of the RF signal induced in the probe as measured with the spectrum analyzer.
- Repeat the procedure above at other frequencies over the frequency range. This data can be used to plot a calibration curve for the probe under test.
- The calibration factor ( $C_{h\text{-distributed\_dB}} - C_{f\_dB}$ ) can be calculated by the following equation (E.6).

$$C_{f\_dB} - C_{h\text{-distributed\_dB}} = V_{s\_dB} - V_{p\_dB} - 20 \log 50 \quad (\text{dB S}) \quad (\text{E.6})$$

where

|                            |                                                                                    |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_{f\_dB}$                | is the calibration factor for the magnetic field (dB S/m),                         |
| $V_{p\_dB}$                | is the output voltage of the magnetic probe (dB V),                                |
| $V_{s\_dB}$                | is the output voltage of the signal generator (dB V).                              |
| $C_{h\text{-distributed}}$ | is the transfer constant calculated from distributed current model in dB (dB 1/m). |

NOTE The transmission loss of the microstrip line should be half the overall loss when the magnetic probe is placed at the centre of the microstrip line.

Dimensions in millimetres

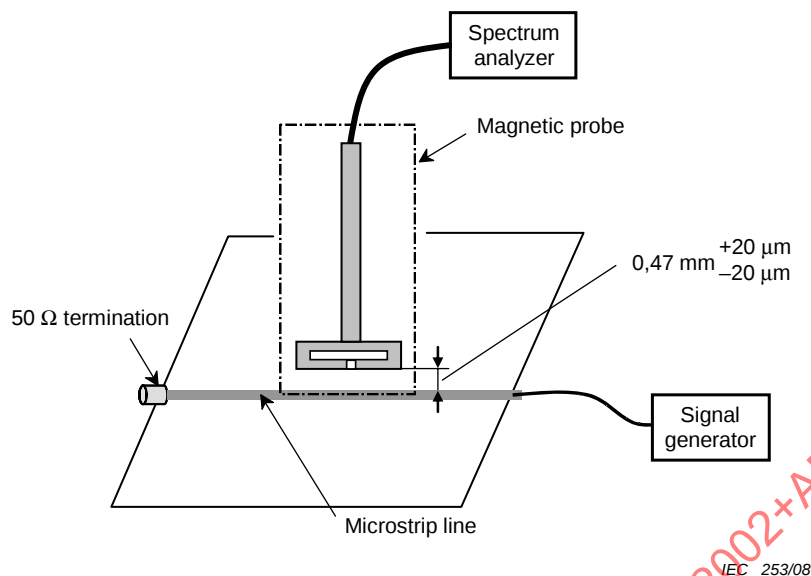


Figure E.20 – Measurement set-up for probe calibration

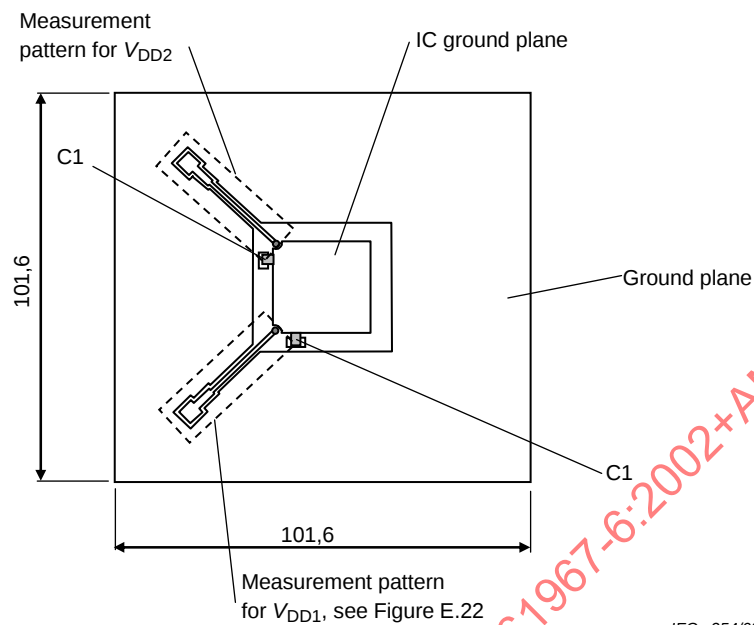
## E.7 Test board

The test set-up requirements are described in IEC 61967-1.

The measurement set-up and circuit schematic of the magnetic probe measurement method are described in Clause 7 of IEC 61967-6.

As described in Clause 7, the standardized IC test board shall be used. However, the IC test board can be modified for the advanced magnetic probe, because the width of the probe is reduced. An example of basic design of IC test board is shown in Figures E.21 and E.22. The measurement line for  $V_{DD}$  and ground plane are designed on the bottom layer. The extracted measurement line for  $V_{DD}$  of the IC test board is shown in Figure E.22. Basic design of the measurement line is the same as that which is shown in Figure 9. The gap between the measurement line and the ground plane is 2 mm. However, the gap shall be adjusted to the size of the decoupling capacitors. If the length between both electrodes of a decoupling capacitor is wide, the gap between the measurement line and the ground plane shall be widened in the mounting area. The width of the line should be adjusted to the size of decoupling capacitors, too. Vias through ground planes are placed with a pitch of about 1 mm. The length of the measurement line can be reduced to 3 mm according to the miniaturization of the magnetic probe. For detailed information on layer arrangement, layer thickness, decoupling capacitors, I/O pin loading and other detail design of the IC test board, reference should be made to the Figures 5, 6 and 10.

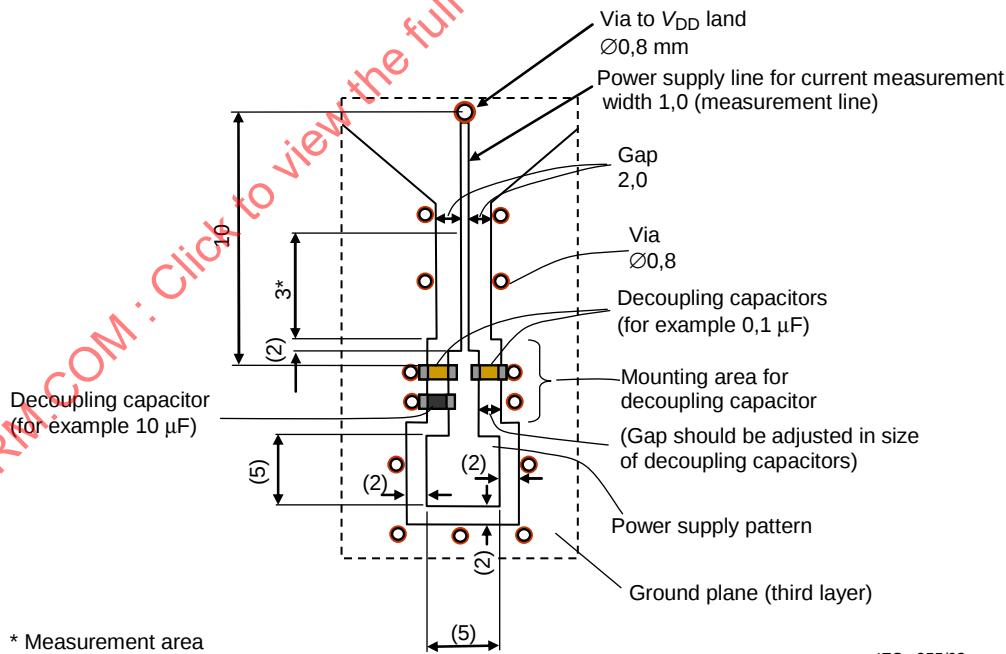
Dimensions in millimetres



IEC 254/08

Figure E.21 – Example of IC test board – Bottom layer

Dimensions in millimetres



IEC 255/08

Figure E.22 – Example of measurement pattern of  $V_{DD1}$

## Bibliography

- [1] PAUL, Clayton R., NASAR, Syed A., *Introduction to Electromagnetic Fields, second edition (Chapter 4)*, McGraw-Hill, Inc. (1987).
- [2] WABUKA, H., MASUDA, N., TAMAKI, N., TOHYA, H., WATANABE, T., YAMAGUCHI, M. and ARAI, K., *Estimation of the RF Current at LSI Power Terminal Using Magnetic Probe with Multilayer Structure*, Technical Report of IEICE EMCJ98-6, pp. 39-43 (1998 April).
- [3] MASUDA, N., TAMAKI, N., WABUKA, H., WATANABE, T. and ISHIZAKA, K., *RF Current Evaluation for ICs by MP-10L*, NEC R&D Review, Vol. 40, No. 2, pp. 253-258 (1999 April).
- [4] MASUDA, N., TAMAKI, N., WABUKA, H., WATANABE, T. and ISHIZAKA, K., *A Multilayer Board-type Magnetic Field Probe with High Spatial Resolution and RF Current Estimation Method for ICs*, 1999 International Symposium on Electromagnetic Compatibility in Tokyo (EMC'99/Tokyo), pp. 801-805, Advanced Products and Technology Session (APTS), S14, (1999 May).
- [5] *Time-Domain Magnetic Field Waveform Measurement Near Printed Circuit Boards*, Electrical Engineering in Japan Vol. 125, No. 4, 1998, translated from Denki Gakkai Ronbunshi, Vol. 117 – A, No. 5, May 1997, pp. 523-530, by T. Harada, H. Sasaki, and E. Hankui.
- [6] Norio MASUDA, Naoya TAMAKI, Takeshi WATANABE and Kazuyoshi ISHIZAKA: "A Miniature High-Performance Magnetic-Field Probe for Measuring High-Frequency Currents," NEC Res. & Develop., Vol.42, No.2, pp.246-250, April, 2001.
- [7] Naoya Tamaki, Norio Masuda, Toshinide Kuriyama, Jin-Ching Bu, Masahiro Yamaguchi, and Ken-Ichi Arai: "A Miniature Thin-Film Shielded –Loop Probe with a Flip-Chip Bonding for Magnetic Near Field Measurements," Electronics and Communication in Japan, Part 2, Vol.88, No.4, pp. 37- 45, 2005.
- [8] N. ANDO, N. MASUDA, T. KURIYAMA, M. Saito, S. Saito, K. Kato, K. Ohashi, and M. Yamaguchi: "Development of miniaturized thin-film magnetic field probes for on-chip measurement," J. Magn. Soc. Jpn., 30, 429-434 (2006).
- [9] Toshiki SHIMASAKI, Katsuji KOBAYASHI, Norio MASUDA and Naoya TAMAKI: "Development of measurement method of high-frequency current for the wide microstrip line", Proceedings of JIEP Annual Meeting, Vol.18, pp.227-228, Japan Institute of Electronics Packaging, Mar., 2004.
- [10] Norio MASUDA, Naoya TAMAKI, Jin Chin BU, Masahiro YAMAGUCHI and Ken-Ichi ARAI: "High Frequency Magnetic Near field Measurement on LSI chip using Planar Multi-layer Shielded Loop Coil," 2003 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp.80-85, Aug., 2003.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61967-6:2002+AMD1:2008 CSV

## SOMMAIRE

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                         | 48 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                              | 50 |
| 2 Références normatives .....                                                                              | 50 |
| 3 Définitions .....                                                                                        | 50 |
| 4 Généralités .....                                                                                        | 50 |
| 4.1 Philosophie de la mesure .....                                                                         | 50 |
| 4.2 Principe de mesure .....                                                                               | 51 |
| 5 Conditions d'essai .....                                                                                 | 51 |
| 5.1 Généralités .....                                                                                      | 51 |
| 5.2 Gamme de fréquences .....                                                                              | 51 |
| 6 Equipement d'essai .....                                                                                 | 51 |
| 6.1 Généralités .....                                                                                      | 51 |
| 6.2 Sonde magnétique .....                                                                                 | 51 |
| 6.3 Fixation et placement de la sonde .....                                                                | 51 |
| 7 Montage d'essai .....                                                                                    | 54 |
| 7.1 Généralités .....                                                                                      | 54 |
| 7.2 Etalonnage de la sonde .....                                                                           | 54 |
| 7.3 Modifications de la carte d'essai CI normalisée .....                                                  | 54 |
| 7.3.1 Disposition des couches .....                                                                        | 54 |
| 7.3.2 Epaisseur de couche .....                                                                            | 54 |
| 7.3.3 Condensateurs de découplage .....                                                                    | 54 |
| 7.3.4 Charge de broche d'E/S .....                                                                         | 55 |
| 8 Procédure d'essai .....                                                                                  | 59 |
| 8.1 Généralités .....                                                                                      | 59 |
| 8.2 Technique d'essai .....                                                                                | 59 |
| 9 Rapport d'essai .....                                                                                    | 59 |
| 9.1 Généralités .....                                                                                      | 59 |
| 9.2 Documentation .....                                                                                    | 59 |
| Annexe A (normative) Procédure d'étalonnage de la sonde –<br>Méthode de la ligne microruban .....          | 61 |
| Annexe B (informative) Principe de mesure et facteur d'étalonnage .....                                    | 64 |
| Annexe C (informative) Résolution spatiale de la sonde magnétique .....                                    | 68 |
| Annexe D (informative) Structure d'angle pour placement de la sonde .....                                  | 69 |
| Annexe E (informative) Sonde magnétique améliorée .....                                                    | 70 |
| Bibliographie .....                                                                                        | 87 |
| Figure 1 – Sonde magnétique .....                                                                          | 52 |
| Figure 2 – Première et troisième couches de la sonde magnétique .....                                      | 52 |
| Figure 3 – Deuxième couche de la sonde magnétique .....                                                    | 53 |
| Figure 4 – Sonde magnétique – Construction des couches .....                                               | 53 |
| Figure 5 – Carte d'essai CI normalisée (vue en coupe 1) .....                                              | 55 |
| Figure 6 – Carte d'essai CI normalisée (vue en coupe 2 – ligne de mesure) .....                            | 55 |
| Figure 7 – Structure de ligne de puissance sur la carte d'essai CI normalisée –<br>Couche inférieure ..... | 56 |

|                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 8 – Impression de ligne de signal E/S sur la carte d'essai CI normalisée – Couche inférieure.....                                                                                               | 57 |
| Figure 9 – Lignes multiples de puissance sur carte d'essai CI normalisée – Couche inférieure.....                                                                                                      | 57 |
| Figure 10 – Montage de mesure.....                                                                                                                                                                     | 58 |
| Figure 11 – Schéma de circuit de mesure.....                                                                                                                                                           | 58 |
| Figure 12 – Constante de transfert pour le calcul du courant en fonction de l'épaisseur de l'isolant de la carte à microruban .....                                                                    | 60 |
| Figure A.1 – Vue en coupe de la ligne à microruban pour étalonnage .....                                                                                                                               | 61 |
| Figure A.2 – Montage de mesure pour l'étalonnage de la sonde.....                                                                                                                                      | 63 |
| Figure B.1 – Vue en coupe de la ligne à microruban .....                                                                                                                                               | 64 |
| Figure B.2 – Mesure de la sortie de la sonde magnétique .....                                                                                                                                          | 66 |
| Figure B.3 – Exemple de facteur d'étalonnage pour la sonde magnétique spécifiée aux figures 1, 2, 3 et 4.....                                                                                          | 67 |
| Figure C.1 – Schéma pour la mesure d'une distribution de champ magnétique.....                                                                                                                         | 68 |
| Figure C.2 – Distribution de champ magnétique à travers la ligne à microruban (800 MHz) ....                                                                                                           | 68 |
| Figure D.1 – Schéma de mesure d'une structure d'angle de placement de sonde.....                                                                                                                       | 69 |
| Figure D.2 – Sortie de sonde par rapport à l'angle $\varphi$ .....                                                                                                                                     | 69 |
| Figure E.1 – Illustration de la sonde magnétique améliorée assemblée.....                                                                                                                              | 72 |
| Figure E.2 – Vue agrandie de la partie A de la Figure E.1 (exemple de construction de connexion).....                                                                                                  | 72 |
| Figure E.3 – Forme principale (couches 2 à 4) de la sonde magnétique améliorée .....                                                                                                                   | 73 |
| Figure E.4 – Couche 1 (motif de mise à la masse) de la sonde magnétique améliorée .....                                                                                                                | 73 |
| Figure E.5 – Couches 2 et 4 (motif de mise à la masse) de la sonde magnétique améliorée.....                                                                                                           | 74 |
| Figure E.6 – Couche 3 (forme pour le signal) de la sonde magnétique améliorée .....                                                                                                                    | 74 |
| Figure E.7 – Couche 5 (motif de mise à la masse) de la sonde magnétique améliorée .....                                                                                                                | 75 |
| Figure E.8 – Construction de sonde magnétique améliorée.....                                                                                                                                           | 75 |
| Figure E.9 – Montage de mesure.....                                                                                                                                                                    | 76 |
| Figure E.10 – Définition du centre de la boucle .....                                                                                                                                                  | 76 |
| Figure E.11 – Graphique des erreurs de la tension mesurée par rapport à la distance de mesure .....                                                                                                    | 77 |
| Figure E.12 – Montage de mesure de la distribution du champ magnétique.....                                                                                                                            | 77 |
| Figure E.13 – Distribution du champ magnétique à travers une ligne à microruban (1 GHz).....                                                                                                           | 78 |
| Figure E.14 – Montage de mesure de l'angle de placement de sonde .....                                                                                                                                 | 78 |
| Figure E.15 – Amplitude de sortie de la sonde en fonction de l'angle $\varphi$ ( $D_m$ est de 0,47 mm).....                                                                                            | 79 |
| Figure E.16 – Modèles de courant de la bande conductrice de ligne à microruban .....                                                                                                                   | 81 |
| Figure E.17 – Facteur d'étalonnage pour différents paramètres de carte.....                                                                                                                            | 82 |
| Figure E.18 – Exemple de $(C_{f\_dB} - C_{h\_distribuée\_dB})$ mesurée au niveau de la ligne à microruban dans la même condition ( $W=1,0$ mm, $h=0,6$ mm) que celle représentée à la Figure E.9 ..... | 82 |
| Figure E.19 – Vue en coupe d'une ligne à microruban pour étalonnage (exemple) .....                                                                                                                    | 84 |
| Figure E.20 – Montage de mesure pour l'étalonnage de la sonde.....                                                                                                                                     | 85 |
| Figure E.21 – Exemple de carte d'essai CI – Couche inférieure .....                                                                                                                                    | 86 |
| Figure E.22 – Exemple de structure de mesure de $V_{DD1}$ .....                                                                                                                                        | 86 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### CIRCUITS INTÉGRÉS – MESURE DES ÉMISSIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES, 150 kHz À 1 GHz –

#### Partie 6: Mesure des émissions conduites – Méthode de la sonde magnétique

#### 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 61967-6 a été établie par le sous-comité 47A: Circuits intégrés, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Cette version consolidée de la CEI 61967-6 comprend la première édition (2002) [documents 47A/645/FDIS et 47A/653/RVD], son amendement 1 (2008) [documents 47A/781/FDIS et 47A/784/RVD] et son corrigendum d'août 2010.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 1.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

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

La présente norme doit être lue conjointement à la CEI 61967-1.

La CEI 61967 comprend les parties suivantes, regroupées sous le titre général *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz*:

Partie 1: Conditions générales et définitions

Partie 2: Mesure des émissions rayonnées – Méthode de cellule TEM <sup>1</sup>

Partie 3: Mesure des émissions rayonnées – Méthode de scrutation surfacique (spécification technique) <sup>2</sup>

Partie 4: Mesure des émissions conduites – Méthode par couplage direct  $1\ \Omega/150\ \Omega$  <sup>2</sup>

Partie 5: Mesure des émissions conduites – Méthode de la cage de Faraday sur banc de travail <sup>2</sup>

Partie 6: Mesure des émissions conduites – Méthode de la sonde magnétique

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

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

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

<sup>1</sup> A l'étude.

<sup>2</sup> A publier.

## **CIRCUITS INTÉGRÉS – MESURE DES ÉMISSIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES, 150 kHz À 1 GHz –**

### **Partie 6: Mesure des émissions conduites – Méthode de la sonde magnétique**

#### **1 Domaine d'application**

La présente partie de la CEI 61967 spécifie une méthode pour l'évaluation des courants RF sur les broches d'un circuit intégré par la mesure du courant sans contact en utilisant une sonde magnétique miniature. Cette méthode permet de mesurer les courants RF générés par le circuit intégré (CI) dans une plage de fréquences allant de 0,15 MHz à 1 000 MHz. Cette méthode est applicable aux mesures sur un seul CI ou sur un ensemble de puces de CI sur la carte d'essai normalisée afin de fournir les caractéristiques et de permettre les comparaisons. Elle est également utilisable pour l'évaluation des caractéristiques électromagnétiques d'un CI ou d'un groupe de CI sur une carte de circuit imprimé d'application réelle afin de réduire les émissions. Cette méthode est désignée sous le terme «Méthode de la sonde magnétique».

#### **2 Références normatives**

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 61967-1, *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz – Partie 1: Conditions générales et définitions*

CEI 61967-4, *Circuits intégrés – Mesure des émissions électromagnétiques, 150 kHz à 1 GHz – Partie 4: Mesure des émissions conduites – Méthode par couplage direct 1  $\Omega$ /150  $\Omega$ <sup>3</sup>*

#### **3 Définitions**

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61967, les définitions de la CEI 61967-1 s'appliquent.

#### **4 Généralités**

##### **4.1 Philosophie de la mesure**

Les émissions rayonnées provenant d'une carte à circuit imprimé (PCB) sont dues, partiellement, au courant RF généré par le CI qui excite les pistes, la masse et les plans d'alimentation de la carte ainsi que les câbles connectés à celle-ci. Tous ces éléments peuvent agir comme des antennes RF pour produire des émissions rayonnées. Le niveau d'émission est proportionnel au courant RF d'excitation et il est également affecté de manière importante par la conception de la carte, l'efficacité de rayonnement des pseudo-antennes et les coefficients de chemin de couplage de bruit allant du CI aux pseudo-antennes.

Pour ce mécanisme d'émission, le niveau d'émission du CI peut être un paramètre important à la fois pour les utilisateurs et les fabricants pour estimer et prévoir les caractéristiques électromagnétiques d'une carte à circuit imprimé, d'un module ou d'un réseau. On peut obtenir une mesure du niveau d'émission en mesurant les courants RF générés par le CI en essai. Ainsi, le courant de bruit RF mesuré peut être considéré comme un indicateur du niveau d'émission électromagnétique indésirable généré par le CI.

---

<sup>3</sup> A publier.

## 4.2 Principe de mesure

Avec cette méthode, le courant RF sur les broches d'alimentation en énergie et les broches d'E/S d'un CI en essai peut être mesuré avec une sonde magnétique miniature triplaquée. Cette sonde mesure le champ magnétique à une hauteur spécifiée au-dessus d'un ruban conducteur d'alimentation ou d'E/S sur la carte d'essai normalisée d'une manière contrôlée. Le courant RF est calculé à partir du champ magnétique mesuré en utilisant la formule décrite en 8.2. Avec un placement mécanique précis de la sonde magnétique, cette méthode offre un degré élevé de répétabilité. De plus, la plage de fréquences de cette méthode peut être étendue aux limites données en 5.2. Des fréquences plus élevées peuvent être obtenues sans influence significative sur la précision. L'estimation du courant RF sur le ruban conducteur d'alimentation ou d'E/S fournit un moyen facile et pratique pour donner les caractéristiques des CI et les comparer.

## 5 Conditions d'essai

### 5.1 Généralités

Les conditions générales d'essai sont présentées dans la CEI 61967-1.

### 5.2 Gamme de fréquences

La gamme de fréquences efficace de cette méthode de mesure s'étend de 0,15 MHz à 1 000 MHz. La fréquence maximale peut être accrue, si on le souhaite, sous réserve des limites du montage d'essai. La limite supérieure de la gamme de fréquences est directement liée aux caractéristiques haute fréquence de la sonde magnétique et à sa distance par rapport à la ligne en essai comme décrit à l'annexe B. Pour une zone basse fréquence entre 0,15 MHz et 10 MHz, il peut être cependant judicieux d'utiliser un pré-amplificateur à faible bruit pour améliorer la gamme dynamique de la mesure.

## 6 Equipement d'essai

### 6.1 Généralités

Pour les informations générales concernant l'équipement d'essai, voir la CEI 61967-1.

### 6.2 Sonde magnétique

La sonde magnétique doit être constituée d'une ligne triplaquée composée d'une carte à trois couches. Les détails pour la construction recommandée de la sonde sont donnés aux figures 1, 2, 3 et 4.

Un connecteur SMA est fixé au bord de la carte à l'opposé de la portion de boucle rectangulaire de la sonde comme cela est représenté dans les figures. Les pastilles de fixation pour le connecteur SMA sont placées sur les couches 1 et 3, qui sont connectées les unes aux autres par l'intermédiaire de quatre trous de liaison. Le réseau de lignes conductrices se trouve sur la couche 2, qui est connectée à la broche centrale du connecteur SMA.

### 6.3 Fixation et placement de la sonde

La tension de sortie de la sonde dépend de la distance entre l'extrémité de la sonde et la bande conductrice mesurée. Cela rend très critique le fait de maintenir un espace de 1 mm entre la ligne conductrice et l'extrémité de la sonde magnétique au cours de cette mesure. C'est pourquoi une fixation pour l'espacement de la sonde doit être utilisée pour maintenir un espace de  $1,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$  entre la partie inférieure de la portion de boucle rectangulaire et la bande conductrice sur la carte d'essai de CI sinon toute la sonde peut être moulée dans un seul bloc de fixation abritant la sonde de manière à maintenir l'espace spécifié de façon précise comme indiqué à la figure 10.

Trou de liaison pour connecteur SMA à travers les couches 1, 2 et 3

Trou de liaison pour connecteur SMA à travers les couches 1, 2 et 3

Pastilles pour connecteur SMA sur les couches 1 et 3

30 mm

Structure de ligne de signal sur la couche 2

Ligne ruban de 50  $\Omega$

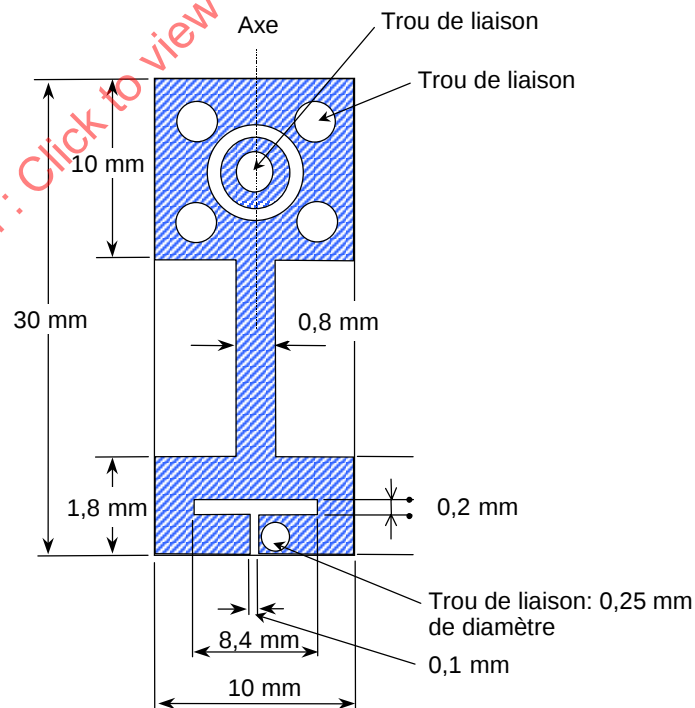
Structure de plan de masse sur la couche 1 et la couche 3

Portion de boucle rectangulaire pour la détection

10 mm

Trous de liaison à travers les couches 1, 2

### Figure 1 – Sonde magnétique



**Figure 2 – Première et troisième couche de la sonde magnétique**

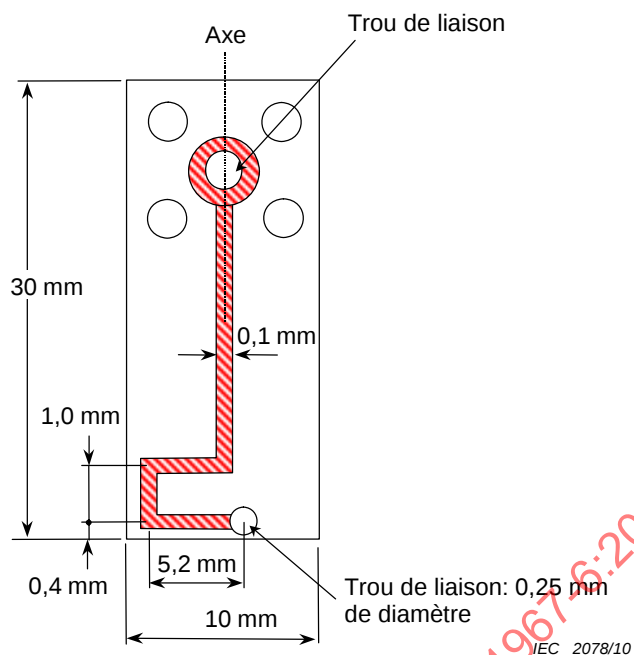


Figure 3 – Deuxième couche de la sonde magnétique

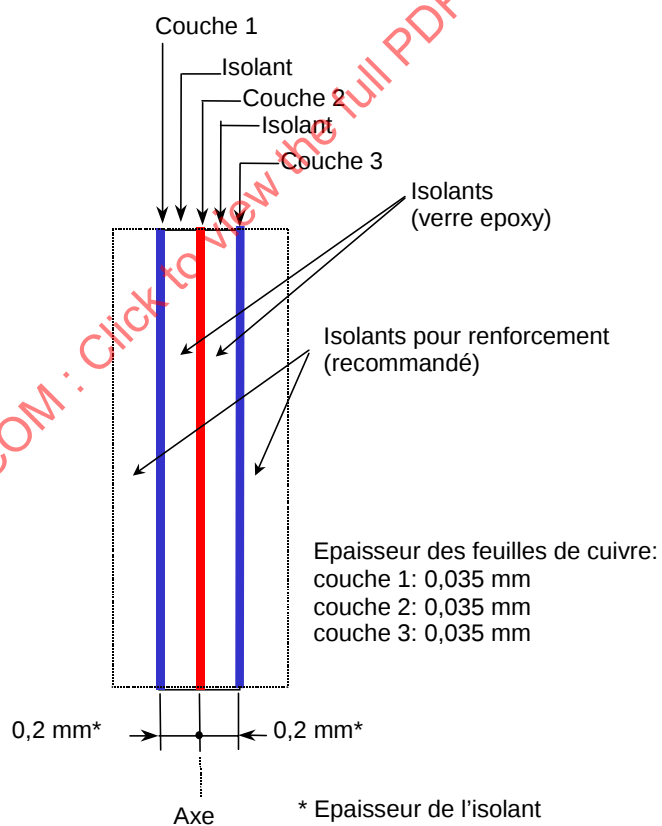


Figure 4 – Sonde magnétique – Construction des couches

## 7 Montage d'essai

### 7.1 Généralités

Les prescriptions générales relatives au montage d'essai sont décrites dans la CEI 61967-1.

Le montage de mesure et le schéma de circuit de la méthode de mesure à la sonde magnétique sont représentés respectivement aux figures 10 et 11.

### 7.2 Etalonnage de la sonde

La sonde magnétique utilisée doit être étalonnée pour obtenir une corrélation précise entre l'intensité du champ magnétique mesurée et le courant RF estimé. L'étalonnage de la sonde doit être conforme à la méthode décrite à l'annexe A (méthode de la ligne à microruban).

### 7.3 Modifications de la carte d'essai CI normalisée

La carte d'essai CI normalisée décrite dans la CEI 61967-1 doit être utilisée. Cependant, elle doit être adaptée comme cela est indiqué aux figures 5, 6, 7, 8, et 9.

#### 7.3.1 Disposition des couches

La carte d'essai de CI doit posséder au minimum quatre couches. Il est recommandé d'utiliser une carte d'essai de CI à quatre couches comme indiqué aux figures 5 et 6. Si nécessaire, des couches supplémentaires peuvent être insérées entre la couche supérieure et la couche de masse à microruban pour assurer le routage complémentaire de signal et/ou d'énergie. La construction de la carte d'essai de CI doit être telle que spécifié dans la CEI 61967-1 sauf comme indiqué ci-dessous dans le cas de  $n$  couches en général.

- 1) Couche supérieure (couche 1): Le CI en essai doit être placé sur la couche 1. Voir la CEI 61967-1
- 2) Couche suivant immédiatement la couche inférieure (couche  $n-1$ ): Une zone de plan de masse doit être constituée sur la couche  $n-1$  pour fournir une référence pour les structures de microrubans sur la couche inférieure. Le plan de masse peut couvrir l'ensemble de la couche ou peut être limité à la zone sous les structures de microruban comme représenté dans la zone délimitée par les pointillés des figures 7 et 8. Cette zone de plan de masse doit avoir une largeur minimale de 11 mm et une longueur minimale de 14 mm.
- 3) Couche inférieure (couche  $n$ ): Les lignes à microruban pour les plans de mesure et de masse périphérique doivent se trouver sur la couche  $n$ . Les lignes à microruban doivent être conformes aux figures 7 et 8 pour les lignes d'énergie et les lignes d'E/S, respectivement. La largeur de la bande conductrice doit être au maximum de 1,0 mm pour atteindre une résolution spatiale élevée. Se reporter à l'annexe C pour les détails. Il convient que la longueur des lignes à microruban soit comprise entre 14 mm et 25 mm pour éviter des ondes stationnaires.

#### 7.3.2 Epaisseur de couche

Il est fortement recommandé que l'épaisseur de l'isolant de carte entre la couche  $n-1$  et la couche  $n$  soit de 0,6 mm. L'espace coplanaire entre la ligne de mesure et les plans de masse coplanaires doit être d'au moins 2,0 mm et représenter au moins trois fois l'épaisseur de l'isolant.

#### 7.3.3 Condensateurs de découplage

Les condensateurs de découplage (C1, C2) doivent être utilisés entre les lignes d'alimentation et les plans de masse sur la carte d'essai comme représenté à la figure 11. Le condensateur (C2) doit être placé aussi près que possible de la zone de mesure de la ligne d'alimentation pour offrir une faible impédance RF. La distance entre C2 et le trou de liaison vers la pastille  $V_{DD}$  ne doit pas être supérieure à 25 mm comme indiqué à la figure 7. Le condensateur (C1) doit être placé entre la pastille CI  $V_{DD}$  et la masse de CI comme indiqué à la figure 9.

### 7.3.4 Charge de broche d'E/S

Cette méthode de mesure peut être utilisée pour mesurer le courant RF d'une seule broche d'E/S. Le courant de la broche d'E/S doit être mesuré broche par broche. La disposition de la charge de broche doit être conforme aux figures 8 et 9. Il convient que cette broche soit chargée avec un réseau d'adaptation d'impédance avec une résistance de  $150\ \Omega$  comme représenté à la figure 11. Il convient que le réseau d'adaptation d'impédance soit chargé par une résistance de  $50\ \Omega$  (R3) ou une impédance d'entrée de  $50\ \Omega$  de matériel de mesure normal (récepteur).

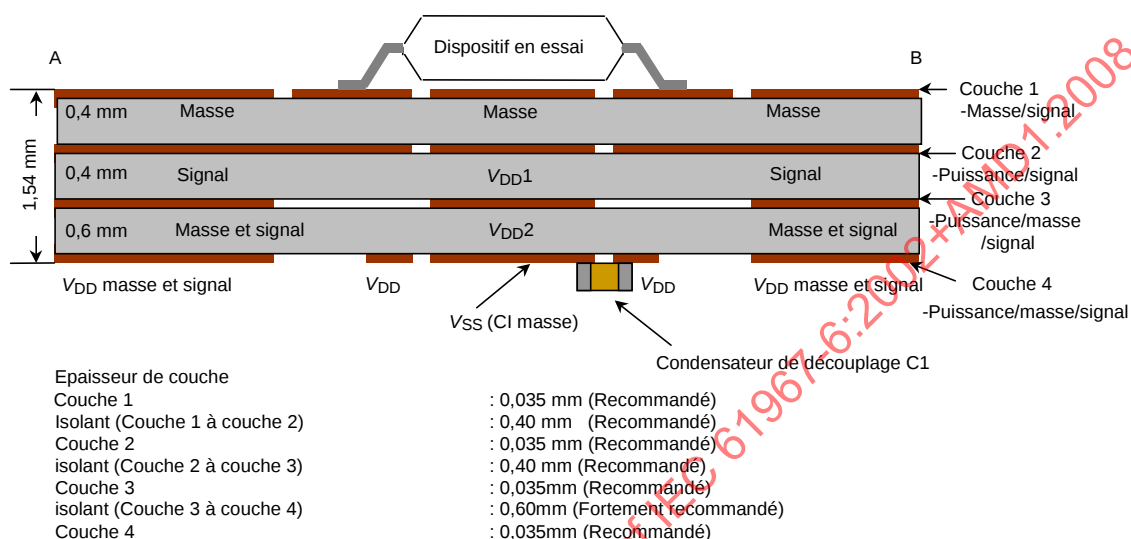


Figure 5 – Carte d'essai CI normalisée – Vue en coupe 1

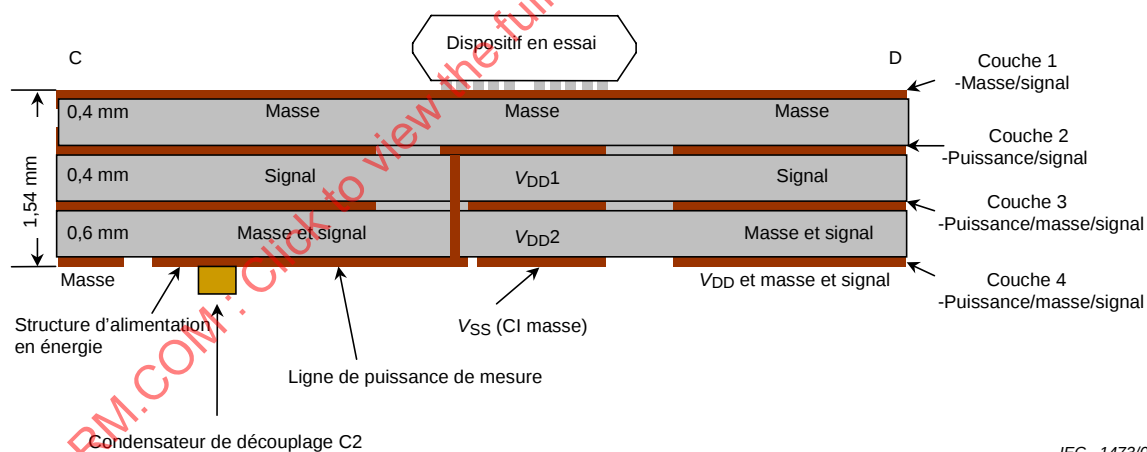
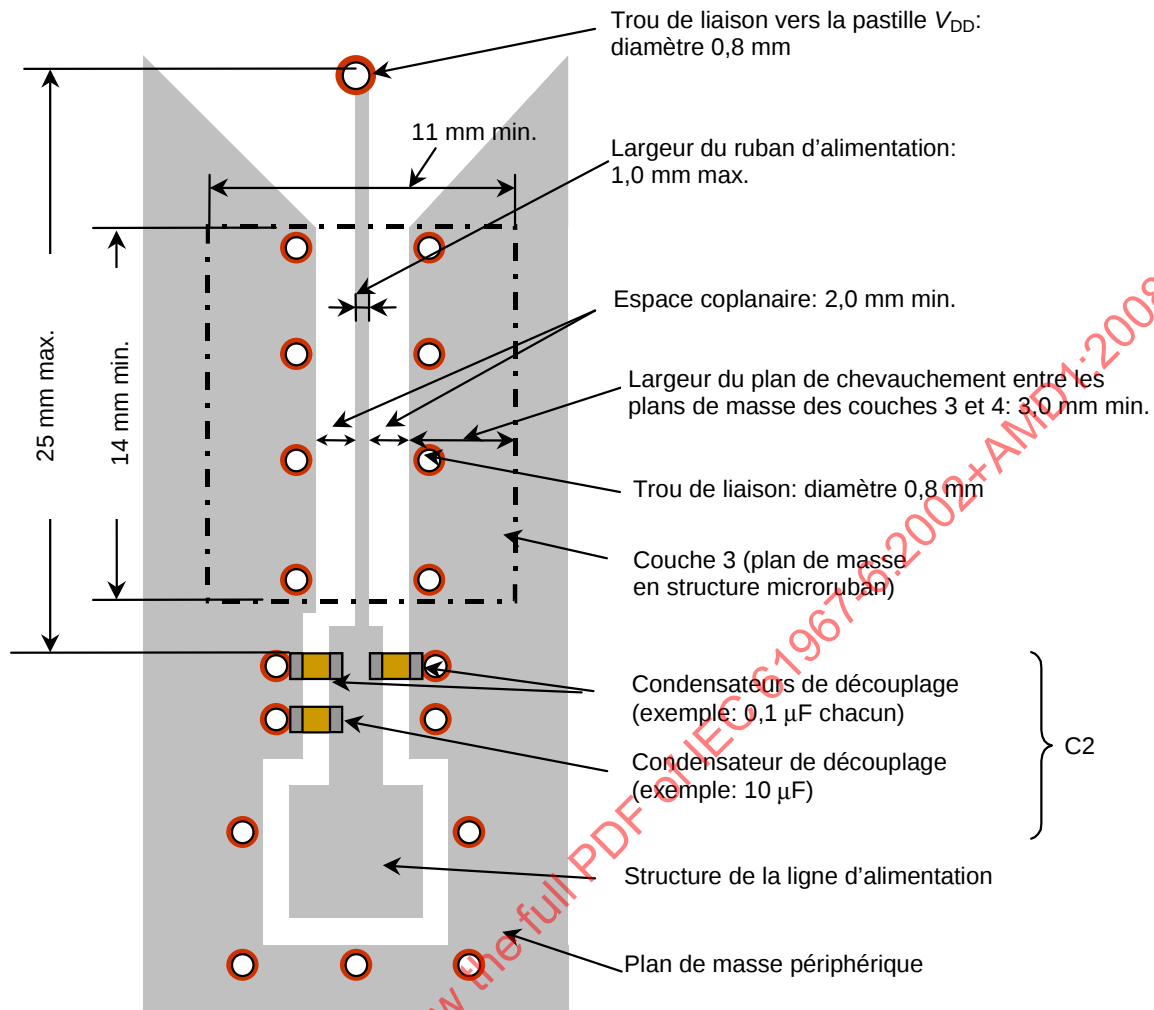
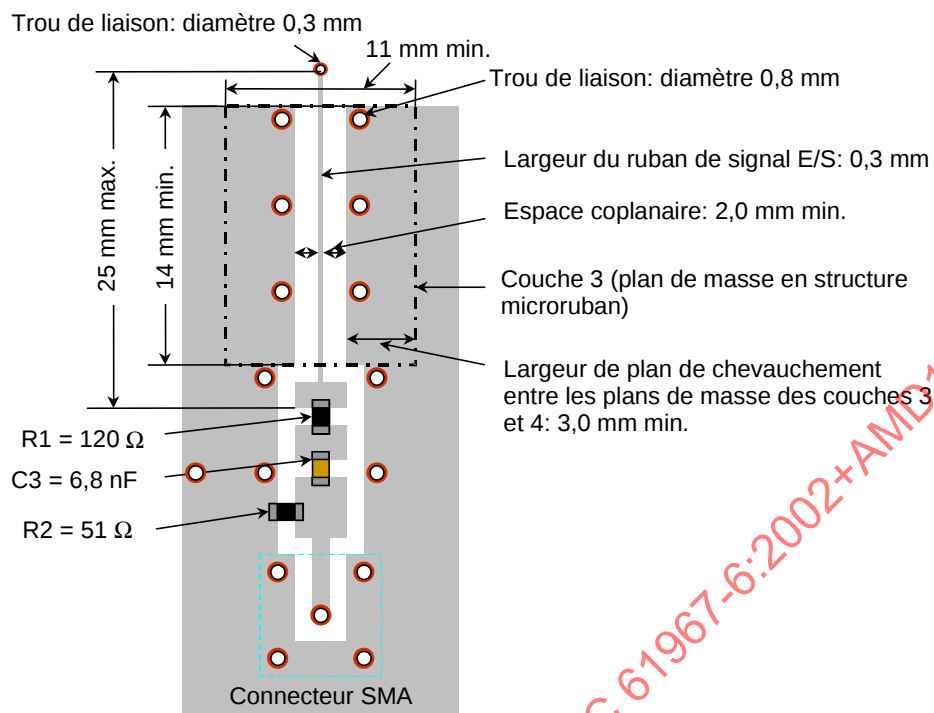


Figure 6 – Carte d'essai CI normalisée –  
Vue en coupe 2 – Ligne de mesure



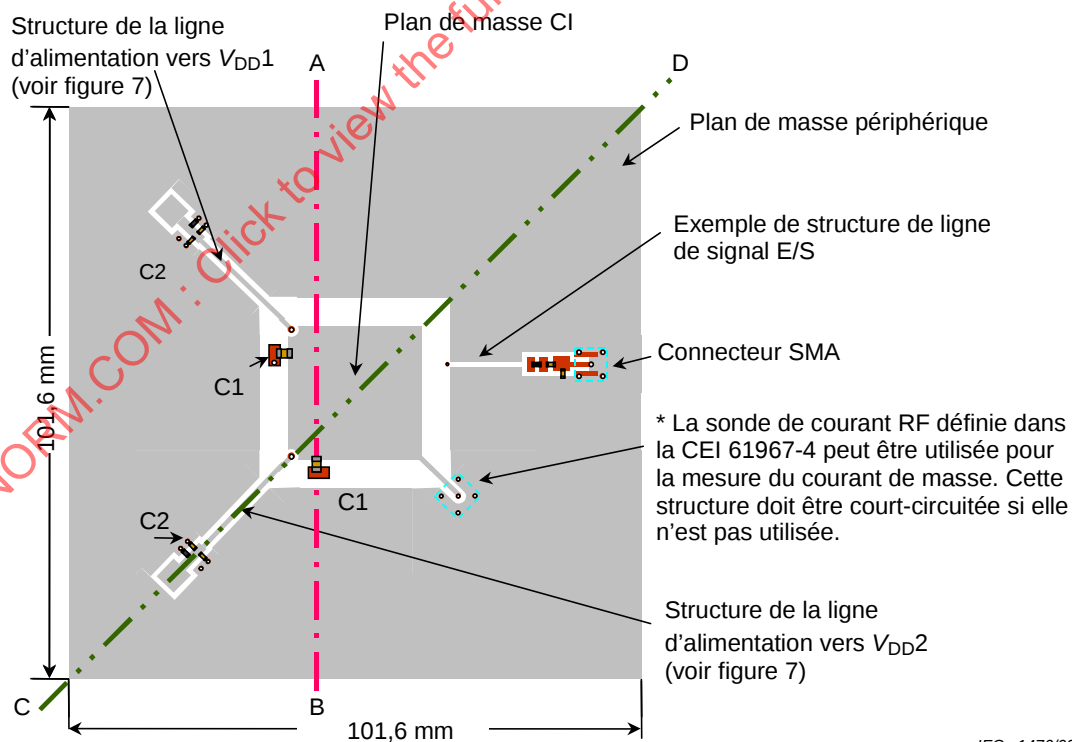
IEC 1474/02

**Figure 7 – Structure de ligne de puissance sur la carte d'essai CI normalisée – Couche inférieure**



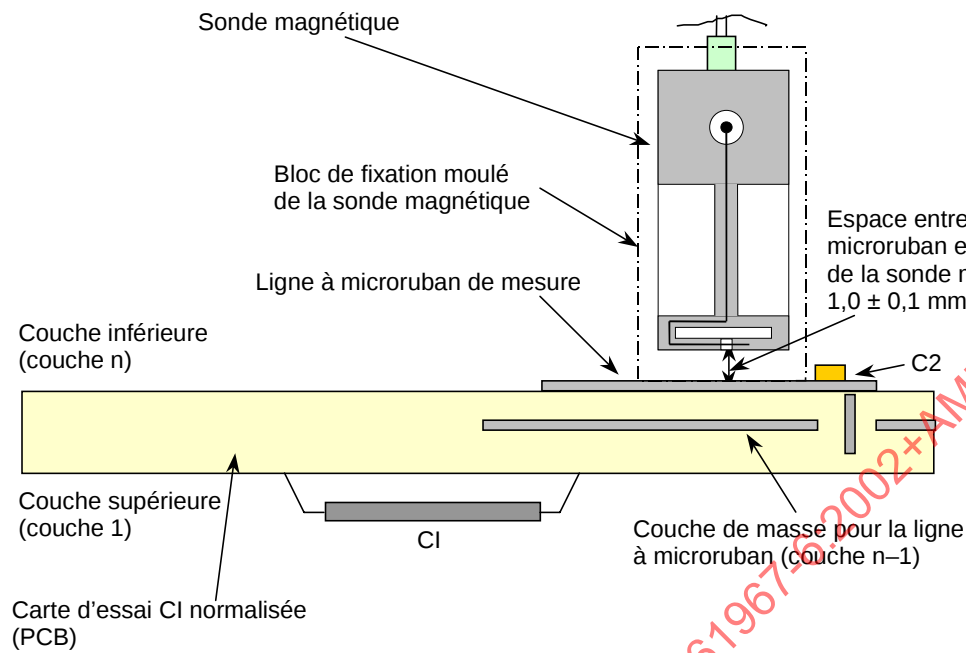
IEC 1475/02

**Figure 8 – Impression de ligne de signal E/S sur la carte d'essai CI normalisée – Couche inférieure**



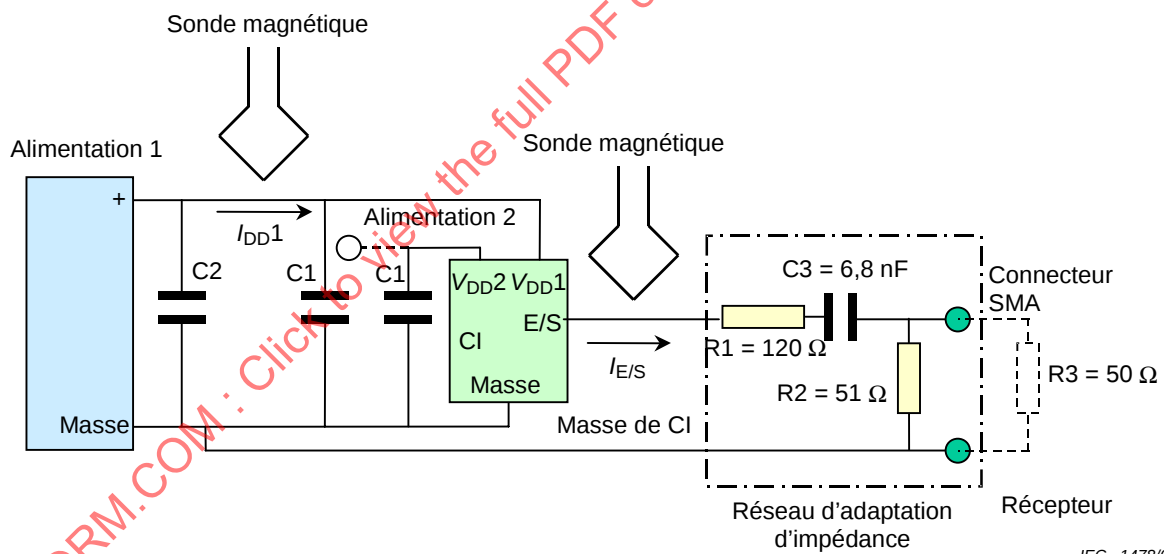
IEC 1476/02

**Figure 9 – Lignes multiples de puissance sur carte d'essai CI normalisée – Couche inférieure**



IEC 1477/02

Figure 10 – Montage de mesure



IEC 1478/02

Figure 11 – Schéma de circuit de mesure

## 8 Procédure d'essai

### 8.1 Généralités

Les prescriptions générales de la procédure d'essai sont présentées dans la CEI 61967-1.

### 8.2 Technique d'essai

La sonde magnétique doit être placée à distance au-dessus de la surface de la ligne en essai sur la carte d'essai comme décrit en 6.3. La tension de sortie ( $V_p$ ) de la sonde magnétique est mesurée par un analyseur de spectre ou un récepteur de mesure comme décrit dans la CEI 61967-1. Le champ magnétique ( $H_{x\_dB}$ ) est calculé à partir de la valeur mesurée de  $V_p$  telle que corrigée par  $C_f$  (facteur d'étalonnage de la sonde magnétique, voir les annexes A et B) avec l'équation suivante (B.12), reprise de l'annexe B:

$$H_{x\_dB} = C_{f\_dB} + V_{p\_dB} \quad (\text{dB A/m}) \quad (\text{B.12})$$

Le courant RF ( $I_{dB}$ ) est ensuite obtenu en utilisant l'équation suivante (B.13) avec une constante de transfert ( $C_h$ ) pour un exemple type de la carte d'essai comme décrit à l'annexe B:

$$I_{dB} = V_{p\_dB} + C_{f\_dB} - C_{h\_dB} \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.13})$$

où

$V_{p\_dB} = V_p$  valeur en dB (dB V);

$C_{f\_dB} = C_f$  valeur en dB (dB S/m);

$C_{h\_dB} = C_h$  valeur en dB (dB 1/m).

La valeur  $C_{h\_dB}$  dépend de l'épaisseur de l'isolant de la carte de microligne comme représenté à la figure 12. Il convient que l'épaisseur de l'isolant entre la couche  $n - 1$  et la couche  $n$  soit comprise entre 0,1 mm et 1,6 mm. Pour l'épaisseur d'isolant recommandée ( $h = 0,6$  mm), la valeur de  $C_{h\_dB}$  est de 30 (dB 1/m). Pour la carte de microligne avec une épaisseur d'isolant différente, le courant RF est calculé selon l'équation (B.13), en utilisant une valeur appropriée  $C_{h\_dB}$  comme indiqué à la figure 12.

## 9 Rapport d'essai

### 9.1 Généralités

Le rapport d'essai doit être tel qu'il est décrit dans la CEI 61967-1.

Le rapport d'essai doit contenir toutes les exigences spécifiques.

### 9.2 Documentation

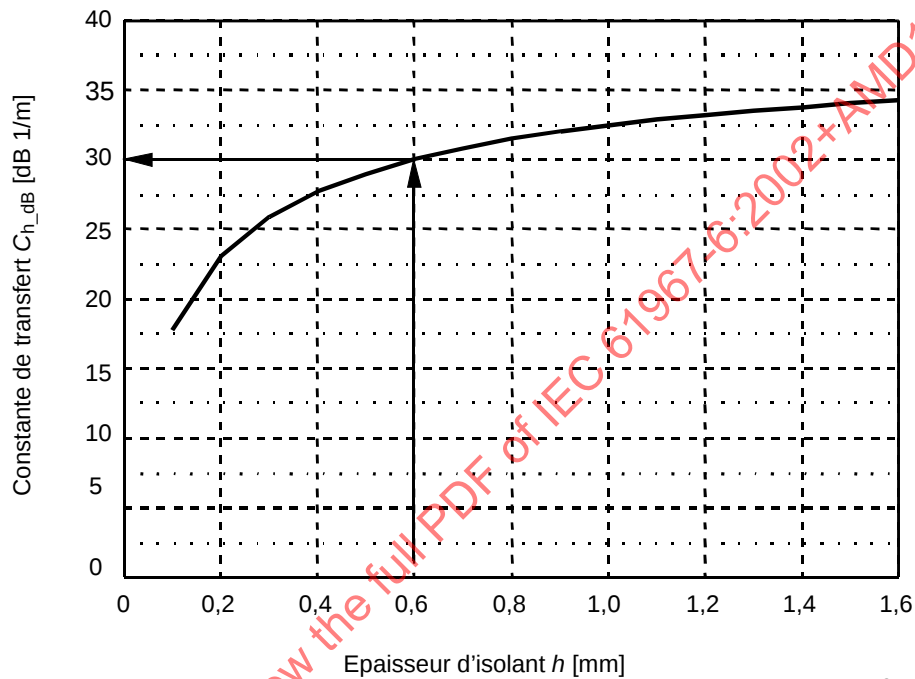
Les données et paramètres de mesure doivent être documentés dans le rapport d'essai qui doit comporter les informations suivantes:

- matériau de la carte d'essai et sa spécification,
- épaisseur de l'isolant entre la couche  $n - 1$  et la couche  $n$ ,
- largeur de la microligne, espace coplanaire et impédance caractéristique,
- condensateurs de découplage (valeurs de capacité, dimensions physiques, nombre de pièces utilisées et emplacements placés).

Une description de la carte d'essai CI utilisée (schéma, liste des pièces, image ou copie de réalisation, etc.) doit accompagner le rapport d'essai. Les données mesurées des courants RF doivent être ajoutées.

Les données doivent être présentées sous la forme d'une matrice de la fréquence et des données d'amplitude mesurées correspondantes à chaque point de mesure et/ou comme un tracé de cette matrice.

Une description de tout traitement de données utilisé doit faire partie du rapport d'essai.



IEC 1479/02

**Figure 12 – Constante de transfert pour le calcul du courant en fonction de l'épaisseur de l'isolant de la carte à microruban**

## Annexe A (normative)

### Procédure d'étalonnage de la sonde – Méthode de la ligne à microruban

La sonde magnétique utilisée pour la mesure doit être étalonnée conformément à la procédure décrite ci-dessous. Le facteur d'étalonnage de la sonde magnétique peut être obtenu en utilisant la méthode de la ligne à microruban qui présente un avantage: la sonde peut en effet être étalonnée dans les conditions normales de fonctionnement pour la méthode de la sonde magnétique. L'étalonnage de la sonde sur une ligne à microruban de référence sur une carte est représenté à la figure A.2. Cet étalonnage peut être réalisé avec le même montage de mesure que la mesure de l'émission CI normale sur une carte d'essai. Cela nécessite un placement précis de la sonde dans l'espace qui réduise de manière précise les erreurs de mesure et assure une mesure d'émission à répétabilité élevée.

NOTE La méthode de la ligne à microruban est décrite avec plus de détails dans le document référencé en [5] <sup>4</sup>.

#### A.1 Pré-amplificateur

Utiliser un pré-amplificateur comme spécifié dans la CEI 61967-1, si nécessaire.

#### A.2 Montage de l'analyseur de spectre

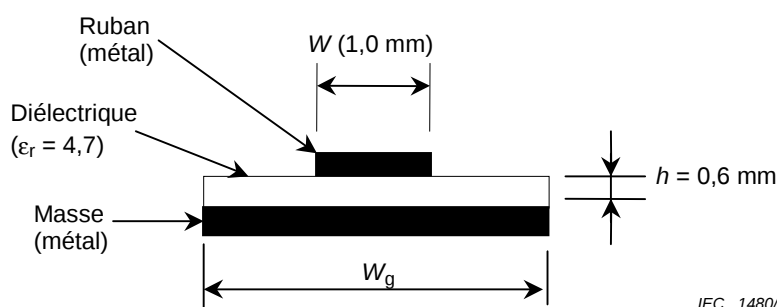
Utiliser les procédures recommandées par le fabricant pour l'étalonnage de l'analyseur de spectre. Régler l'affaiblissement à un niveau approprié et la largeur de bande vidéo à un minimum de trois fois la largeur de bande de résolution pour empêcher le moyennage vidéo du signal.

#### A.3 Ligne à microruban

Utiliser une structure de ligne à microruban telle que représentée à la figure A.1. L'épaisseur de l'isolant ( $h$ ) de la carte à microruban utilisée doit être de 0,6 mm et l'impédance caractéristique doit être de  $50 \Omega \pm 5 \Omega$ . Dans le cas d'une constante diélectrique  $\epsilon_r = 4,7$ , la largeur du ruban conducteur ( $W$ ) est de 1,0 mm. Il convient que la largeur du plan de masse ( $W_g$ ) de la ligne à microruban soit d'au moins 50 mm. Il convient que la ligne à microruban soit assez longue (par exemple, 101,6 mm) et qu'elle ait des performances haute fréquence suffisantes.

Afin de vérifier l'impédance caractéristique, il convient d'utiliser un matériel de mesure RF tel qu'un analyseur de réseau ou un oscilloscope TDR.

NOTE La puissance nécessaire pour obtenir un rapport signal/bruit (S/N) suffisant peut être déterminée à l'avance dans la plage de fréquences concernée.



IEC 1480/02

Figure A.1 – Vue en coupe de la ligne à microruban pour étalonnage

<sup>4</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

## A.4 Etalonnage

- a) Mesurer le gain ou la perte du montage d'essai. Inclure le pré-amplificateur dans cette mesure, s'il est utilisé.
- b) Placer la sonde au-dessus de la ligne à microruban de manière à ce que le plan de la boucle soit perpendiculaire au plan de masse et parallèle à l'axe longitudinal de la ligne à microruban. Le centre de la sonde doit être situé à  $\pm 0,4$  mm de distance du centre de la ligne à microruban. L'angle de face de la sonde doit être dans les limites d'un écart de  $5^\circ$  par rapport à l'axe de la ligne à microruban. La distance entre la surface de la ligne à microruban et l'extrémité de la sonde doit être maintenue dans les limites de  $1,0$  mm  $\pm 0,1$  mm. Ces restrictions concernant le placement de la sonde doivent être maintenues pour obtenir les facteurs d'étalonnage de manière aussi précise que possible. L'erreur maximale pour les facteurs d'étalonnage avec ces restrictions est estimée à moins de  $\pm 1,6$  dB.

Les écarts de sensibilité des sondes avec les dimensions spécifiées dans cette norme sont considérés comme inférieurs à  $\pm 1,0$  dB. Des informations complémentaires concernant la dépendance vis à vis de ces facteurs de placement sont données, respectivement, dans les annexes B, C et D.

- c) Connecter un générateur de signal à une extrémité de la ligne à microruban avec une borne de  $50 \Omega$  à l'autre extrémité. Connecter également le câble allant du connecteur de la sonde magnétique à l'analyseur de spectre comme représenté à la figure A.2.
- d) Etablir une excitation de champ autour de la ligne à microruban de référence avec le générateur de signal à une fréquence contenue dans la bande de fréquences étudiée et enregistrer le niveau du signal RF induit dans la sonde avec la valeur de mesure obtenue avec l'analyseur de spectre.
- e) Répéter la procédure ci-dessus à d'autres fréquences dans la gamme de fréquences. Ces données peuvent être utilisées pour tracer une courbe d'étalonnage pour la sonde en essai. Voir la référence [5] de la bibliographie pour plus de détails.
- f) Le facteur d'étalonnage peut être calculé avec l'équation suivante (A.1):

$$C_{f\_dB} = 20 \log \left[ \frac{h}{\pi Y(Y + 2h)} \right] - V_{p\_dB} + V_{s\_dB} - 34 \quad (\text{dB S/m}) \quad (\text{A.1})$$

où

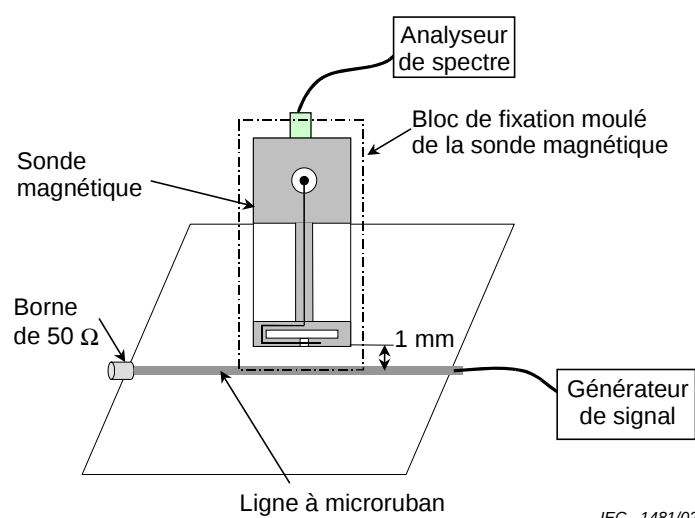
$C_{f\_dB}$  est le facteur d'étalonnage pour le champ magnétique (dB S/m),

$Y$  est la distance (m) entre la bande conductrice et le centre de la boucle de la sonde magnétique,

$h$  est l'épaisseur de l'isolant (m) de la carte à microruban utilisée pour l'étalonnage,

$V_{p\_dB}$  est la tension de sortie de la sonde magnétique (dB V),

$V_{s\_dB}$  est la tension de sortie du générateur de signal (dB V).



NOTE Il convient qu'une perte de transmission de la ligne à microruban soit égale à la moitié de la perte totale lorsque la sonde magnétique est placée au centre de la ligne à microruban.

**Figure A.2 – Montage de mesure pour l'étalonnage de la sonde**

## Annexe B (informative)

### Principe de mesure et facteur d'étalonnage

Il est bien établi que la densité de flux magnétique ( $B$ ) autour du courant ( $I$ ) qui circule dans un conducteur droit infini est donnée par l'équation suivante (B.1):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (\text{T}) \quad (\text{B.1})$$

où

$B$  est la densité de flux magnétique (T);

$\mu_0$  est la perméabilité dans le vide;

$I$  est le courant (A);

$\pi$  est la constante circulaire (rapport de la circonférence d'un cercle sur son diamètre);

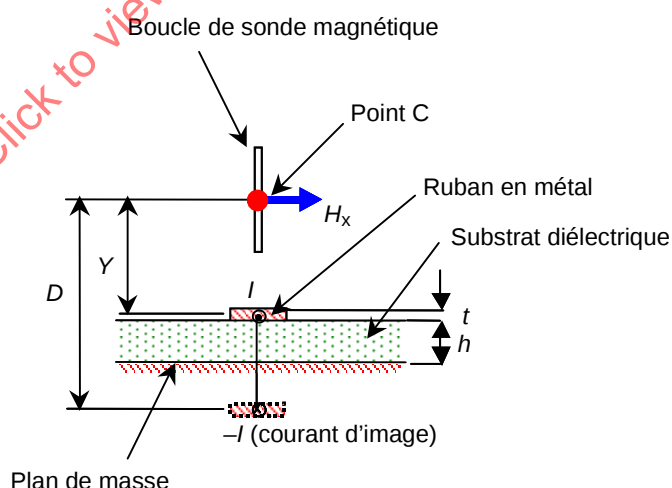
$r$  est la distance la plus courte entre le courant de ligne et le point d'observation.

La relation entre  $B$  et le champ magnétique ( $H$ ) peut être définie par l'équation suivante (B.2). L'équation (B.2) tient lorsque  $t \ll h < Y \ll \text{longueur d'onde du courant}$ .

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{I}{2\pi r} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.2})$$

où  $H$  est le champ magnétique (A/m).

Dans l'exemple suivant représenté à la figure B.1, le champ magnétique ( $H$ ) sur une ligne à microruban peut être obtenu en appliquant l'équation (B.2).



IEC 1482/02

**Figure B.1 – Vue en coupe de la ligne à microruban**

En un point d'observation, (C), défini au centre de la boucle de la sonde magnétique à une distance de  $Y$  par rapport à l'axe de la bande conductrice, la composante horizontale ( $H_x$ ) est obtenue en réalisant la somme des champs magnétiques générés par le courant  $I$ , qui circule dans la bande conductrice et par le courant d'image  $-I$ . Ainsi, le champ magnétique ( $H_x$ ) peut être exprimé par l'équation (B.3) ci-dessous:

$$H_x = \frac{I}{2\pi Y} - \frac{I}{2\pi D} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.3})$$

où

$$D = Y + 2h + t \quad (\text{m}) \quad (\text{B.4})$$

$Y$  est la distance entre la bande conductrice et le point d'observation C (m);

$D$  est la distance entre le courant d'image et le point d'observation C (m);

$h$  est l'épaisseur du substrat diélectrique (m);

$t$  est l'épaisseur de la bande conductrice (m).

En substituant l'équation (B.4) à l'équation (B.3) on obtient la formule suivante, qui détermine le champ magnétique ( $H_x$ ) sur la ligne à microruban. L'équation (B.5) tient lorsque  $t \ll h < Y \ll \text{longueur d'onde du courant}$ .

$$H_x = \frac{(2h + t) I}{2\pi Y (Y + 2h + t)} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.5})$$

Si on prend l'hypothèse  $t \ll h$ ,  $t \ll Y$ , alors l'équation (B.5) devient:

$$H_x = C_h I = \frac{h I}{\pi Y (Y + 2h)} \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.6})$$

Ainsi, la relation entre  $H_x$  et  $I$  avec  $C_h$  comme constante de transfert est clarifiée et le courant ( $I$ ) est donné par l'équation suivante (B.7):

$$I = H_x \frac{\pi Y (Y + 2h)}{h} \quad (\text{A}) \quad (\text{B.7})$$

Si on substitue les valeurs recommandées suivantes de la carte d'essai normalisée décrite dans cette norme dans l'équation (B.7), alors on obtient l'équation (B.8) comme suit:

$$t = 3,50 \times 10^{-5} \text{ (m)}, \quad Y = 0,0019175 + t_r = 1,93 \times 10^{-3} \text{ (m)}, \quad h = 6,00 \times 10^{-4} \text{ (m)}$$

où  $t_r$  est l'épaisseur du vernis épargné. Cependant, cette valeur est si faible qu'elle peut être ignorée dans la plupart des calculs de courant.

Ainsi,

$$H_x = 31,7 \times I \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.8})$$

En conséquence,

$$H_{x\_dB} = 20 \log H_x = 30 + I_{\_dB} \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.9})$$

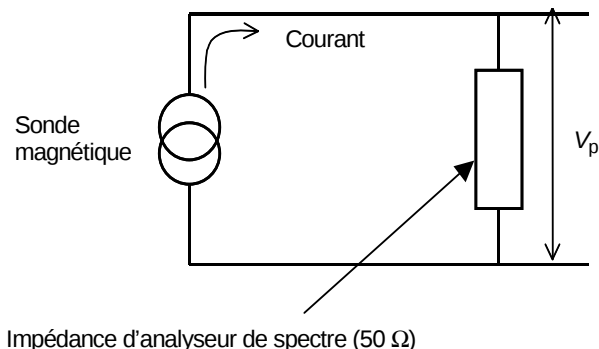
$$I_{\_dB} = H_{x\_dB} - 30 \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.10})$$

où  $I_{\_dB}$  est la valeur de  $I$  en dB (dB A).

Ainsi, enlever 30 de  $H_{x\_dB}$  donne le courant ( $I_{\_dB}$ ). Il s'agit d'une équation fondamentale pour la corrélation entre l'intensité du champ magnétique mesurée et le courant RF sur chaque ruban conducteur de mesure à évaluer.

Pour la carte à microruban avec une épaisseur différente de l'isolant ( $h$ ), il convient d'utiliser une constante de transfert appropriée ( $C_h$ ) comme représenté à la figure 12 à la place de 30 dans les équations (B.9) et (B.10).

En pratique, le champ magnétique ( $H_x$ ) est mesuré par la tension de sortie de la sonde comme illustré à la figure B.2. La sortie de la sonde magnétique (source de courant) est connectée à l'impédance d'entrée ( $50 \Omega$ ) d'un analyseur de spectre. Le courant provenant de la sonde magnétique est mesuré par la tension à travers l'impédance.



IEC 1483/02

**Figure B.2 – Mesure de la sortie de la sonde magnétique**

Ainsi, la relation entre le champ magnétique ( $H_x$ ) et la tension de sortie de la sonde magnétique ( $V_p$ ) peut être exprimée par l'équation suivante (B.11):

$$H_x = C_f V_p \quad (\text{A/m}) \quad (\text{B.11})$$

où

$C_f$  est le facteur d'étalonnage pour le champ magnétique (S/m);

$V_p$  est la tension à travers l'impédance (V).

Dans l'expression logarithmique, le champ magnétique ( $H_{x\_dB}$ ) est donné par l'équation suivante (B.12):

$$H_{x\_dB} = C_{f\_dB} + V_{p\_dB} \quad (\text{dB A/m}) \quad (\text{B.12})$$

Le facteur d'étalonnage ( $C_{f\_dB}$ ), qui est une valeur mesurée et qui est obtenu par la méthode d'étalonnage donnée à l'annexe A pour la sonde magnétique spécifiée dans cette norme, est représentée à la figure B.3.

En substituant l'équation (B.12) à l'équation (B.10) on obtient l'équation suivante (B.13):

$$I_{\_dB} = V_{p\_dB} + C_{f\_dB} - C_{h\_dB} \quad (\text{dB A}) \quad (\text{B.13})$$

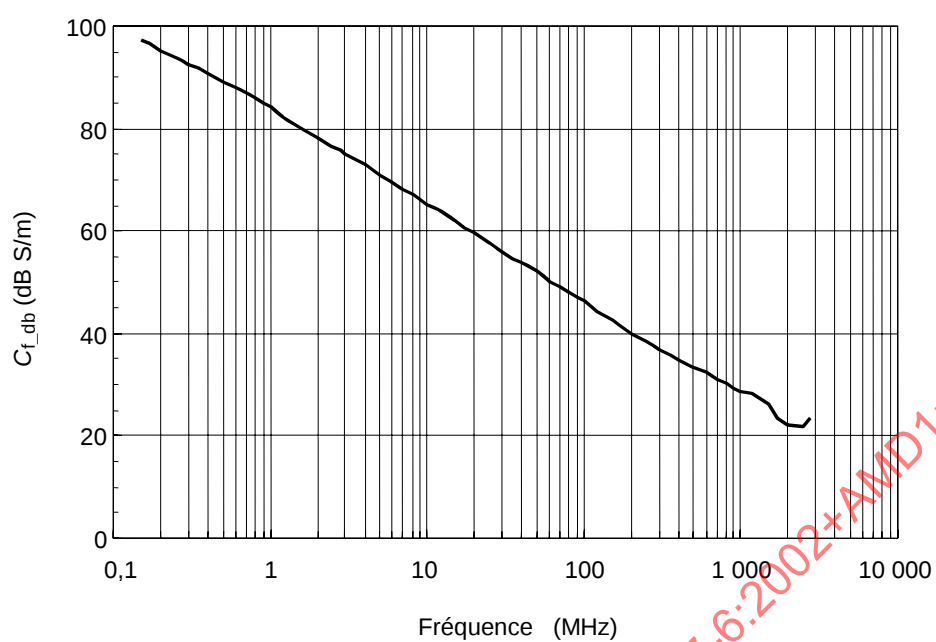
où

$V_{p\_dB} = V_p$  valeur en dB (dB V);

$C_{f\_dB} = C_f$  valeur en dB (dB S/m);

$C_{h\_dB} = C_h$  valeur en dB (dB 1/m).

Ainsi, est calculé, en pratique, le courant RF ( $I_{\_dB}$ ).



IEC 1484/02

**Figure B.3 – Exemple de facteur d'étalonnage pour la sonde magnétique spécifiée aux figures 1, 2, 3 et 4**

## Annexe C (informative)

### Résolution spatiale de la sonde magnétique

Le schéma de mesure de la distribution du champ magnétique à travers la ligne à microruban est donné à la figure C.1. La conception de cette sonde magnétique est fondée sur l'utilisation d'une carte multicouche et atteint des résolutions spatiales élevées comme on peut le voir à la figure C.2.

Dans une carte d'essai normalisée, l'espace entre deux conducteurs adjacents est d'environ 2 mm. A une distance de 1 mm (à 800 MHz), la résolution spatiale est d'environ 1,2 mm (point de chute –6 dB). Ainsi, le champ magnétique provenant d'un conducteur adjacent a peu d'influence et peut être négligé.

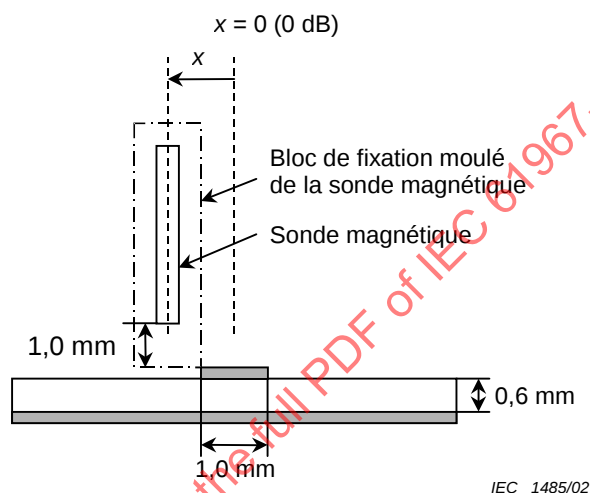


Figure C.1 – Schéma pour la mesure d'une distribution de champ magnétique

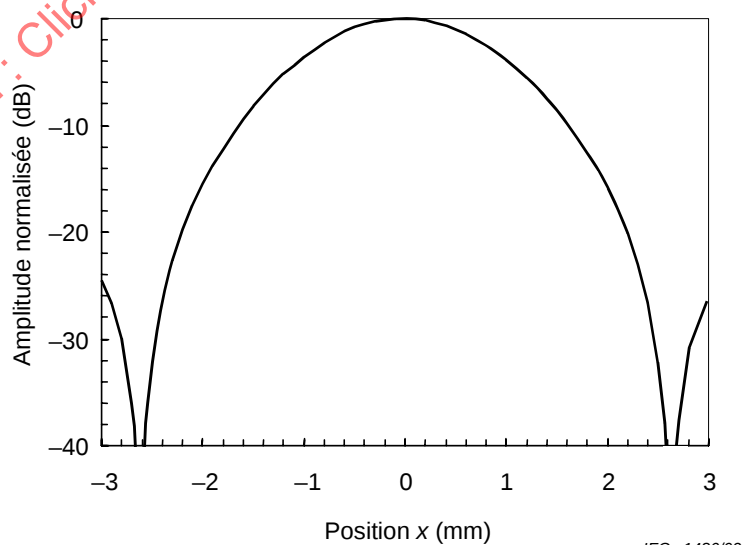
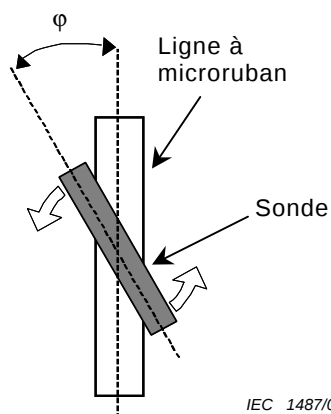


Figure C.2 – Distribution de champ magnétique  
à travers la ligne à microruban (à 800 MHz)

## Annexe D (informative)

### Structure d'angle pour placement de la sonde

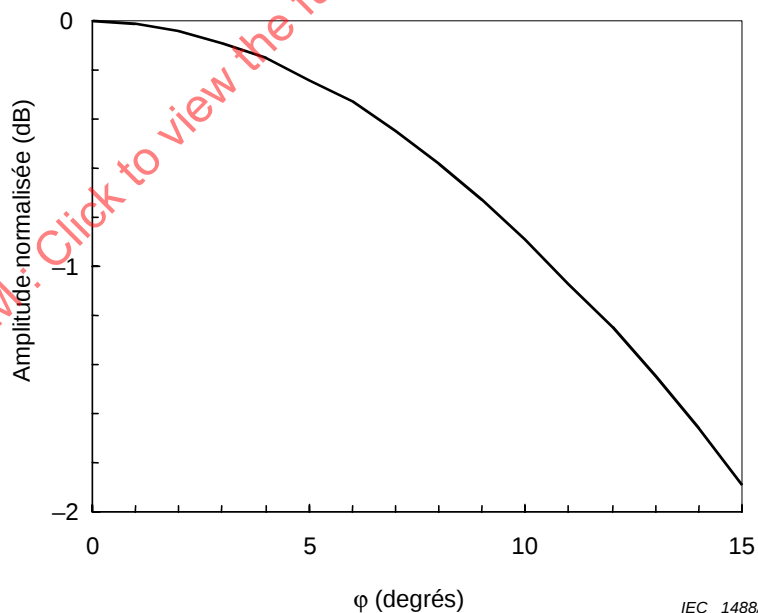
Le schéma de mesure d'un angle de placement de sonde magnétique ( $\varphi$ ) par rapport à la direction d'une ligne à microruban est représenté à la figure D.1.



IEC 1487/02

**Figure D.1 – Schéma de mesure d'une structure d'angle de placement de sonde**

La tension de sortie de la sonde dépend de l'angle de placement de la sonde ( $\varphi$ ) par rapport à la direction d'une ligne à microruban mesurée comme indiqué à la figure D.2.



IEC 1488/02

**Figure D.2 – Sortie de sonde par rapport à l'angle  $\varphi$**

## Annexe E (informative)

### Sonde magnétique améliorée

#### E.1 Généralités

La sonde magnétique miniature (sonde magnétique améliorée) comporte une résolution spatiale élevée, et elle permet une mesure précise des champs magnétiques proches des boîtiers CI et des cartes de circuit imprimé denses. Elle doit être constituée d'une carte en céramique coccuite à basse température (LTCC, «low temperature co-fired ceramics») et il convient que sa partie de détection (boucle de détection) soit d'environ 2 mm de large et de 1 mm d'épaisseur. La miniaturisation peut provoquer une diminution de la sensibilité de la sonde de champ magnétique du fait de la réduction de la taille de la boucle. Les détails de la conception de la sonde sont illustrés aux Figures E.1, E.2, E.3 et E.4. Cependant, la sensibilité plus faible au champ magnétique est compensée par la diminution du gain nécessaire, résultant de la possibilité du placement du bord de la boucle de la nouvelle sonde plus proche de la ligne à microruban qu'il ne l'était auparavant.

#### E.2 Fixation de la sonde magnétique améliorée

Le modèle précédent de sonde de champ magnétique est une sonde à boucle écrantée, réalisée au moyen d'une carte de circuit imprimé multicouche en FR4. La partie boucle de la sonde de champ magnétique ne peut être rendue suffisamment petite pour mesurer le courant au niveau d'une piste courte sur la carte de circuit imprimé. Le nouveau modèle est constitué par une carte multicouche en verre céramique précise, permettant à la fois la compacité et une résolution spatiale élevée.

Les Figures E.1 et E.2 illustrent une vue extérieure de la sonde. La taille de la boucle de détection magnétique est réduite à 2 mm de largeur x 1 mm d'épaisseur. Il convient que la sonde magnétique améliorée soit une ligne triplaque composée d'une carte à trois couches en céramique coccuite à basse température (LTCC). Les détails de la construction de la sonde recommandés sont illustrés aux Figures E.3, E.4, E.5, E.6, E.7 et E.8. Dans toutes les figures, les parenthèses ( ) indiquent que les valeurs contenues sont des exemples. Les autres dimensions doivent respecter les tolérances décrites ci-dessous. Si la partie boucle ne s'inscrit pas dans les limites de tolérance, l'erreur de mesure augmentera. Un câble semi-rigide peut être fixé à la zone de jonction, ce qui est illustré aux Figures E.1 et E.2. Il convient que la jonction pour la connexion comporte une impédance caractéristique de 50  $\Omega$  jusqu'à 3 GHz. La construction de la connexion représentée dans les figures constitue un exemple de connexion entre la carte LTCC et le câble coaxial semi-rigide. D'autres constructions qui fournissent une bonne connectivité à haute fréquence sont acceptables.

Dans les Figures E.4, E.5, E.6 et E.7, la constante diélectrique relative du matériau de carte est 7,1, et la piste imprimée sur la carte LTCC est constituée de pâte à base de Ag-Pd. Dans ces figures, les dimensions finies de la forme de piste imprimée de la portion de boucle peuvent avoir une caractéristique de tolérance de  $\pm 2,5$  pourcent. Les dimensions entre parenthèses peuvent également avoir une caractéristique de tolérance de  $\pm 10$  pourcent. Les conducteurs ont une épaisseur de 15  $\mu\text{m}$  avec une tolérance de  $\pm 5 \mu\text{m}$ . Les isolants (diélectriques) ont une épaisseur de 120  $\mu\text{m}$  avec une caractéristique de tolérance de  $\pm 10$  pourcent. Les pastilles de masse sur la première couche et la cinquième couche sont revêtues d'environ 30  $\mu\text{m}$  (d'épaisseur) d'un placage d'or (Au). De ce fait, l'épaisseur de la pastille de masse peut être augmentée, de manière à souder les pastilles au boîtier conducteur. Sauf spécification contraire, les dimensions des pistes imprimées peuvent avoir une tolérance de  $\pm 10$  pourcent.

La structure de boucle écrantée est utilisée pour la partie détection concernant le champ magnétique. Cette partie doit être fabriquée avec précision en utilisant le procédé LTCC. La Figure E.3 illustre la forme principale superposée du détecteur de champ magnétique réalisé en utilisant une carte à 5 couches en verre céramique. Les seconde et quatrième couches sont des couches de masse correspondant à la gaine extérieure d'un câble coaxial; la troisième couche est la couche pour signaux, équivalente au conducteur central. La portion de boucle et de sortie de la carte multicouche de la nouvelle sonde est symétrique autour de la troisième couche, à l'exception du trou de liaison et de la piste pour le signal. La ligne triplaque a été conçue pour avoir une impédance caractéristique de  $50\ \Omega$ , en tenant compte de l'adaptation d'impédance avec le système de mesure. On fait passer l'extrémité de la ligne de signal par le trou d'interconnexion et elle est reliée à la terre.

La sonde précédente comporte des ouvertures sur les côtés de la ligne triplaque (portion sortie), mais les deux côtés du motif de mise à la masse sur la seconde couche sont connectés à la quatrième couche par un trou d'interconnexion, comme l'illustre la Figure E.3. Le trou d'interconnexion doit être formé au pas de  $0,25\text{ mm}$  ou inférieur. La boucle servant de détecteur de champ magnétique est un rectangle de  $0,2\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ , et la résolution spatiale peut être élevée à  $250\ \mu\text{m}$  (typique) au point de dégradation de  $6\text{ dB}$ . Si la cible de mesure est un ruban rectiligne telle qu'une ligne à microruban, le coefficient d'étalonnage du courant peut être utilisé pour convertir en courant le champ magnétique mesuré sur un ruban. Autour du motif de chaque carte en céramique coccuite à basse température (LTCC), la valeur de divergence par rapport à l'alignement parfait doit se situer à  $10\ \mu\text{m}$ . La performance de la sonde diminue lorsque l'erreur d'alignement augmente, parce que l'impédance caractéristique de la ligne triplaque de la sonde diverge de  $50\ \Omega$ . En prenant l'essai de sélection par rayons X, les éléments non conformes pour lesquels l'erreur d'alignement dépasse  $10\ \mu\text{m}$  doivent être rejetés. De plus, l'extrémité avant de la carte LTCC doit être précisément découpée et polie plate.

Les pastilles de masse sur la première couche et la cinquième couche sont illustrées aux Figures E.4 et E.7. La pastille de la première couche est connectée à la seconde couche par des trous d'interconnexion et la pastille de la cinquième couche est connectée à la quatrième couche par un nombre suffisant de trous de liaison, respectivement. La pastille de masse sur la cinquième couche est étendue, en comparaison de celle située sur la première couche. Comme l'illustrent les Figures E.5 à E.6, la largeur de ruban est décroissante pour devenir un ruban étroit. Comme le montrent les Figures E.4 et E.7, les motifs de mise à la masse sont également décroissants, parce que les formes de piste des seconde et quatrième couches sont décroissantes. La Figure E.8 illustre la configuration pour la connexion de la carte LTCC au câble coaxial semi-rigide. L'assemblage est constitué du boîtier conducteur, de la partie en marche d'escalier de la carte LTCC et du câble coaxial semi-rigide. Comme l'illustre la Figure E.8, le conducteur central du câble coaxial semi-rigide est connecté à la pastille de signal sur la troisième couche de la carte LTCC par soudure. La carte LTCC a une forme de marche d'escalier, afin que la piste du signal de la troisième couche soit accessible. Le conducteur central du câble semi-rigide peut être monté sur la piste du signal dans l'axe de cette piste du signal. Le conducteur extérieur du câble coaxial semi-rigide est relié au bord arrière de la carte LTCC. De plus, le boîtier conducteur (Cu) est soudé aux pastilles de masse sur la première et la cinquième couche de manière à couvrir et entourer l'assemblage du conducteur central. Le boîtier conducteur doit être connecté au conducteur extérieur par soudure. Ici, la pastille de masse, le conducteur extérieur et le boîtier conducteur peuvent, de préférence, être connectés par soudure entre eux sans aucun dégagement. La performance du blindage de l'assemblage est augmentée par le boîtier conducteur, de façon à supprimer la perturbation électromagnétique d'un signal de sortie du capteur avec un bruit émis ou un autre signal de câblage. L'impédance caractéristique de l'assemblage, y compris le boîtier conducteur, doit être assurée en ajustant les dimensions des pastilles de signal et du boîtier conducteur; une perte de réflexion due à la désadaptation d'impédance est supprimée pour rendre satisfaisante les caractéristiques de transmission du signal haute fréquence.