

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

Methods of measurement of the suppression characteristics of passive EMC filtering devices

Méthodes de mesure des caractéristiques d'antiparasitage des dispositifs de filtrage CEM passifs





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

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

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00



CISPR 17

Edition 2.0 2011-06

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**Methods of measurement of the suppression characteristics of passive EMC
filtering devices**

**Méthodes de mesure des caractéristiques d'antiparasitage des dispositifs de
filtrage CEM passifs**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XB**
CODE PRIX

ICS 33.100.01

ISBN 978-2-88912-526-5

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Terms, definitions and abbreviations	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Abbreviations	12
4 Classification of EMC filtering devices	12
4.1 Insertion loss.....	14
4.1.1 Insertion loss calculation	14
4.1.2 Asymmetrical (common) mode.....	14
4.1.3 Symmetrical (differential) mode	14
4.1.4 Unsymmetrical mode	14
4.2 Impedance	14
4.3 <i>S</i> -parameters	15
4.3.1 General	15
4.3.2 Two-port <i>S</i> -parameters	15
4.3.3 Four-port <i>S</i> -parameters.....	16
5 Insertion loss measurement.....	17
5.1 General.....	17
5.2 Measurement set-up.....	18
5.2.1 General	18
5.2.2 Test equipment.....	18
5.2.3 Asymmetrical (common mode) test circuit.....	19
5.2.4 Symmetrical (differential mode) test circuit	19
5.2.5 Unsymmetrical test circuit.....	20
5.3 Measurement methods (procedure)	21
5.3.1 General	21
5.3.2 Measurement without bias	22
5.3.3 Measurement with bias	22
5.4 Calibration and verification	23
5.4.1 General	23
5.4.2 Validation of test set-up without bias	23
5.4.3 Validation of test set-up with bias	24
5.5 Uncertainty.....	26
6 Impedance measurement	26
6.1 General.....	26
6.2 Direct method.....	26
6.2.1 Measurement set-up and procedure	26
6.2.2 Calibrations of the test set-up.....	27
6.2.3 Measurement uncertainty	27
6.3 Indirect method	27
6.3.1 Measurement set-up and procedure	27
6.3.2 Calibration of the test set-up.....	29
6.3.3 Measurement uncertainty	29
7 <i>S</i> -parameter measurement.....	30

7.1	Measurement set-up and procedure	30
7.1.1	General	30
7.1.2	Test fixture	31
7.2	Calibration of test set-up	36
7.3	Measurement uncertainties	36
8	Presentation of results.....	36
8.1	General.....	36
8.2	Insertion loss.....	37
8.3	Impedance	37
8.4	<i>S</i> -parameters.....	37
Annex A	(normative) Uncertainty estimation for the measurement of the suppression characteristics of EMC filtering devices	38
Annex B	(informative) Examples of test boxes for insertion loss measurement.....	43
Annex C	(informative) Insertion loss test methods with non-50 Ω systems	47
Annex D	(informative) Realization of the buffer-network for insertion loss measurement	49
Annex E	(informative) Insertion loss measurement – General discussion	51
Annex F	(informative) Set-up for impedance measurement	54
Annex G	(informative) <i>S</i> -parameter measurement of common-mode choke coils	59
Annex H	(informative) Measurement set-up for <i>S</i> -parameters of a DUT without wire leads	64
Bibliography	66
Figure 1	– Measurement arrangement for <i>S</i> -parameters of a two-terminal device	15
Figure 2	– Measurement arrangement for <i>S</i> -parameters of a three-terminal device	15
Figure 3	– Measurement arrangement for four-port <i>S</i> -parameters.....	16
Figure 4	– Test circuit for insertion loss measurement (example: 4-line-filter)	18
Figure 5	– Test circuit for asymmetrical insertion loss measurement (example: 4-line-filter).....	19
Figure 6	– Test circuit for symmetrical insertion loss measurement (example: 4-line-filter).....	20
Figure 7	– Test circuit for unsymmetrical insertion loss measurement (example: 4-line filter)	21
Figure 8	– Test circuit for insertion loss measurement without bias	22
Figure 9	– Test circuit for insertion loss measurement with bias	22
Figure 10	– Test circuit for verification of measurement circuit without bias	23
Figure 11	– Test circuit for verification of measurement circuit with bias	25
Figure 12	– One-port measurement of a two-terminal device	28
Figure 13	– <i>S</i> -parameter measurements for evaluating the impedance of a device in a series connection.....	28
Figure 14	– <i>S</i> -parameter measurements for evaluating the impedance of a device in a shunt connection.....	28
Figure 15	– Two-port <i>S</i> -parameter measurement set-up	30
Figure 16	– An alternative measurement system specifically for the insertion loss of a DUT (using a combination of tracking generator and measuring receiver).....	31
Figure 17	– Symbolic expressions.....	32
Figure 18	– Test fixture for a two-terminal device (series connection)	32

Figure 19 – Test fixture for a two-terminal device (shunt connection).....	33
Figure 20 – Test fixture for a three-terminal filter	33
Figure 21 – Test fixture for a two-terminal device with leads	34
Figure 22 – Test fixture for a three-terminal filter with leads.....	35
Figure 23 – Test fixture for a core device.....	35
Figure 24 – Example of the standards for TRL calibration	36
Figure B.1 – Design of typical test box for general-purpose filters.....	43
Figure B.2 – 3D view of typical test box for general purpose filters	44
Figure B.3 – Design of typical test box for feedthrough components	45
Figure B.4 – 3D view of typical test box for feedthrough components.....	45
Figure C.1 – Test circuit.....	47
Figure D.1 – Example of connecting buffer-networks for test with bias	49
Figure E.1 – Test circuit for insertion loss measurement, reference measurement (filter replaced by a short circuit).....	51
Figure E.2 – Test circuit for insertion loss measurement, measurement of filter under test...	52
Figure F.1 – Measurement set-up for a leaded device (DUT)	54
Figure F.2 – Four-terminal test fixture for a leaded device (DUT).....	55
Figure F.3 – Measurement set-up for an SMD.....	55
Figure F.4 – Clamp-type test fixture	56
Figure F.5 – Coaxial test fixture for an SMD	56
Figure F.6 – Press-type test fixture for an SMD.....	57
Figure F.7 – Connection for CMCC measurement	57
Figure F.8 – Test fixture and measurement set-up for an SMD common-mode choke coil ...	58
Figure G.1 – Common-mode choke coil	59
Figure G.2 – Set-up for measurements of common-mode characteristics	59
Figure G.3 – Test fixture for an SMD.....	60
Figure G.4 – Test fixture for a leaded device	60
Figure G.5 – Set-up for measurements of differential-mode characteristics	61
Figure G.6 – Test fixture for an SMD.....	61
Figure G.7 – Test fixture for a leaded device	61
Figure G.8 – Set-up for measurement of four-port <i>S</i> -parameters	62
Figure G.9 – Test fixture for the four-port <i>S</i> -parameters of an SMD	62
Figure G.10 – Test fixture for the four-port <i>S</i> -parameters of a leaded device	63
Figure H.1 – <i>S</i> -parameters measurement of a DUT without leads	64
Figure H.2 – Procedure for TRL calibration	65
Table 1 – Examples of EMC filtering devices	13
Table 2 – Conditions and target values for validation of test set-up without bias	24
Table 3 – Conditions and target values for validation of test set-up with bias	25
Table A.1 – Measurement uncertainty of insertion loss (example)	40
Table A.2 – Measurement uncertainty of impedance (example).....	41
Table A.3 – Measurement uncertainties of $ S_{21} $ and $ S_{12} $ (example).....	41
Table A.4 – Measurement uncertainties of $ S_{11} $ and $ S_{22} $ (example).....	41

Table D.1 – Specifications of the elements of buffer-networks 50

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS OF MEASUREMENT OF THE SUPPRESSION
CHARACTERISTICS OF PASSIVE EMC FILTERING DEVICES**

FOREWORD

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

International Standard CISPR 17 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio interference measurements and statistical methods.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1981. It is a technical revision.

This edition includes the following significant technical change with respect to the previous edition: new measurement methods are added to characterize the more technologically sophisticated EMC filtering devices currently available.

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

FDIS	Report on voting
CISPR/A/941/FDIS	CISPR/A/951/RVD

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

The suppression characteristics of EMC filters and components used for the suppression of EM disturbances, referred to in this standard as EMC filtering devices, are a function of numerous variables such as impedance of the circuits to which they connect, operating voltage and current, and ambient temperature. This standard specifies uniform test methods that will enable comparison of filtering and suppression characteristics determined by test laboratories or specified by manufacturers.

The first edition of CISPR 17 (1981) prescribed the measurement methods of insertion loss mainly for power-line filters. Today, however, many types of sophisticated EMC filters and suppression components can be found in various electronic devices. Those filters need to be characterized using standardized measurement methods. New methods for measurement of impedance and S -parameters for such EMI devices are included in this second edition.

In addition, the following insertion loss measurement methods from the first edition have been deleted because they are no longer in use in the industry:

- measurement method with a bias voltage for insertion loss measurement,
- in situ method, and
- worst-case methods.

METHODS OF MEASUREMENT OF THE SUPPRESSION CHARACTERISTICS OF PASSIVE EMC FILTERING DEVICES

1 Scope

This International standard specifies methods to measure the radio interference suppression characteristics of passive EMC filtering devices used in power and signal lines, and in other circuits.

The defined methods may also be applied to combinations of over-voltage protection devices and EMC filtering devices.

The measurement method covers the frequency range from 9 kHz to several GHz depending on the device and test circuit.

NOTE Measurement methods in this standard may be applied up to 40 GHz.

The standard describes procedures for laboratory tests (type tests) as well as factory tests. Test methods with and without bias conditions are defined.

Measurement procedures are provided for unbiased and bias conditions. Measurements under bias conditions are performed to determine potential non-linear behaviour of the EMC filtering devices such as saturation effects in inductors with magnetic cores. This testing serves to show the usability in a specific application (such as frequency converters that produce high amplitudes of common mode pulse current and thus may drive inductors into saturation). Measurement under bias conditions may be omitted if the non-linear behaviour can be determined by other methods (e.g. separate saturation measurement of the inductors used).

2 Normative references

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

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

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

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

3.1.1

bias current

d.c. or a.c. mains (power) frequency current flowing through the current conductor(s) of the EMC filtering device under test

3.1.2**bias voltage**

d.c. or a.c. mains (power) frequency voltage applied between specified parts of the EMC filtering device under test

3.1.3**device under test**

EMC filtering device subjected to measurement, calibration and test according to this standard

3.1.4**EMC filtering device**

a generic term within this standard to describe any kind of suppression circuit, whether a single component or a complex circuit

3.1.5**filter**

composition of single components such as inductors and capacitors that can suppress electromagnetic disturbance

3.1.6**impedance**

Z

ratio of an a.c. electric current I to an a.c. voltage V (at frequency f), which may be represented by a complex number expressed as $Z = V/I$, indicating the total opposition to the passage of a.c. current; used as a parameter to represent the characteristics of two-terminal devices such as inductors, capacitors, and resistors, as well as those of four-terminal devices such as common-mode choke coils (CMCC)

NOTE Consists of ohmic resistance R and reactance X , usually represented in complex notation as $Z = R + jX$; alternatively represented in the polar coordinates as $|Z| \exp(j\theta)$ (absolute value $|Z|$ and phase angle θ); may imply the performance of an EMC filtering device; Z is expressed in Ω .

3.1.7**insertion loss**

for a filter connected into a given transmission system, the ratio of voltages appearing across the line immediately beyond the point of insertion, before and after insertion of the EMC filtering device under test

NOTE Insertion loss is expressed in dB.

3.1.8**impedances of the test circuit**

impedance across the terminals of the test circuit without the filter connected

NOTE For insertion loss measurement shown in Figure 4, impedances are designated Z_0 , Z_{11} , Z_{12} and Z_2 referenced to 50Ω ; in special cases the impedances may be changed to other values that reflect the environmental conditions of certain applications.

3.1.9**receiver**

selective or non-selective instrument, such as a broadband voltmeter, a tunable voltmeter, a spectrum analyzer or the receiving part of a network analyzer

NOTE See 5.2.2 for details.

3.1.10**reference impedance**

impedance of a line or port at the point where the insertion loss or S -parameters are measured or evaluated, specified when results are reported

NOTE The reference impedance is usually 50 Ω.

3.1.11

reference potential

reference for voltage measurement to which the ground connections of the test equipment and the filter are connected, normally provided by a metallic plane of sufficient size

3.1.12

single component

basic component used for EMC purposes such as capacitors or inductors

3.1.13

S-parameter

scattering parameter

S_{ij}

an element of the *S*-matrix expressing the transmission and reflection coefficients of a device

NOTE 1 As most commonly used, each *S*-parameter relates the complex electric field strength (or voltage) of a reflected or transmitted wave to that of an incident wave; the subscripts of a typical *S*-parameter S_{ij} refer to the output and input ports related by the *S*-parameter, which may vary with frequency and apply at a specified set of input and output reference planes; may imply the performance of an EMC filtering device.

EXAMPLE The *S*-parameters for a two-port circuit are defined as follows:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

where

S_{11} and S_{22} are the reflection coefficients at port 1 or 2 of a circuit component, respectively, where the opposite port is terminated with a port reference impedance (for example 50 Ω); and

S_{21} and S_{12} are the transmission coefficients representing the ratio of the signal transmitted to port 2 to that incident from port 1, and vice versa, respectively. The value of S_{21} is a good indicator of the noise suppression for a signal passing through this component.

NOTE 2 It is important to evaluate the degradation of a signal waveform caused by variation in the *S*-parameters with the frequency.

3.1.14

test circuits

3.1.14.1

asymmetrical (common mode) test circuit

test circuit in which all input lines of a filter under test are connected to a signal generator with all output lines being connected to a receiver

NOTE The test circuit used to measure the asymmetrical (common mode) insertion loss of a filter is shown in Figure 5.

3.1.14.2

symmetrical (differential mode) test circuit

test circuit in which the signal is fed across a pair of input lines of a filter under test, and the corresponding pair of output lines is connected to a receiver; the other lines are not terminated

NOTE An example of the test circuit used to measure the symmetrical (differential mode) insertion loss of a filter is shown in Figure 6; all combinations of each two lines of the filter are measured; ground or PE (protective earth) terminals are not considered.

3.1.14.3

unsymmetrical test circuit

test circuit in which the signal is fed to an input line of a filter under test, and the corresponding output line is connected to a receiver; the other input and output lines are terminated in specified impedances

NOTE An example of the test circuit used to measure the unsymmetrical insertion loss of a filter is shown in Figure 7; each line of the filter is measured with all unused lines terminated to reference potential with Z_{11} or Z_{12} .


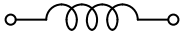

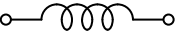


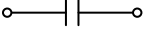


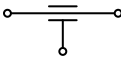


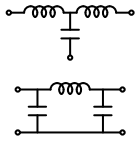


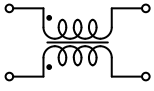




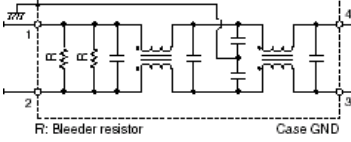
3.2 Abbreviations

CMCC	Common-mode choke coils
DUT	Device under test
EM	Electromagnetic
EMC	Electromagnetic compatibility
e.m.f.	Electromotive force
GND	Ground
HPF	High-pass filter
L	Line
N	Neutral
PE	Protective earth
RF	Radio frequency
SMD	Surface mount device
TRL	Thru/Reflect/Line
VNA	Vector network analyzer
VSWR	Voltage-standing wave ratio

4 Classification of EMC filtering devices

Examples of EMC filtering devices and their applicable measurement methods are shown in Table 1.

Table 1 – Examples of EMC filtering devices

Filter type	Examples	Symbol or circuit diagram	Parameters to be measured and measurement method		
	Outer view		Insertion loss	Impedance	S-parameter
Ferrite cores and absorbing clamps			Clause 5	Clause 6	Clause 7
Chokes, inductors and beads			Clause 5	Clause 6	Clause 7
					
Non-feedthrough capacitors			Clause 5	Clause 6	Clause 7
					
Feedthrough capacitors			Clause 5	-	Clause 7
					
Three-terminal capacitors			Clause 5	-	Clause 7
					
Common mode choke coils			Clause 7	Clause 6	Clause 7
					
Resistors			Annex E of CISPR 12:2007	-	-
Filter (multiple lines ^a with GND)			Clause 5	-	-

^a one line without neutral, multiple lines with or without neutral.

4.1 Insertion loss

4.1.1 Insertion loss calculation

The standard test method uses a calibrated 50-Ω signal source and a 50-Ω receiver. The insertion loss is determined by the following formula:

$$a_e = 20 \log \frac{V_o}{2V_2} \quad (1)$$

where

a_e is the insertion loss (dB),

V_o is the open circuit output voltage of a 50-Ω signal generator, and

V_2 is the voltage at the output of the filter circuit.

Theory and background information on insertion loss measurement are presented in Annex E.

4.1.2 Asymmetrical (common) mode

Because all input and output lines are connected in parallel, only one set of values for the asymmetrical insertion loss is measured (see 5.2.3).

4.1.3 Symmetrical (differential) mode

Each pair of input lines shall be measured against the corresponding output lines; one set of insertion loss values or curves is measured for each of the line pairs. Ground or PE (protective earth) terminals are not considered (see 5.2.4).

For example, for a three-line filter with neutral line (line terminals L1, L2, L3, neutral terminal N and PE) the following measurements shall be performed: L1 to L2, L1 to L3, L2 to L3, L1 to N, L2 to N, L3 to N (six measurements in total).

Symmetrical mode measurements cannot be applied to single-line filters or components.

4.1.4 Unsymmetrical mode

Each input line shall be measured against the corresponding output line with all unused lines being terminated by specified impedance (normally 50 Ω) to reference potential (see 5.2.5).

For example, for a three-line filter with neutral line (line terminals L1, L2, L3, neutral terminal N and PE) the following measurements shall be performed: L1 with L2, L3 and N terminated, L2 with L1, L3 and N terminated, L3 with L1, L2 and N terminated and N with L1, L2 and L3 terminated.

Unsymmetrical mode measurements cannot be applied to one-line filters or components.

4.2 Impedance

An EMC filtering device of certain impedance is often inserted into a circuit to reduce the unwanted current. The suppression characteristics may be determined by the impedance characteristics of both the inserted device and the original circuit.

The impedance of the device, and therefore the suppression characteristics, vary with frequency, bias condition, etc. Consequently, the impedance should be measured at various

frequencies. This frequency dependence is used to design an EMC filtering device. The impedance measurements may be applied in the frequency range from 9 kHz to 3 GHz.

4.3 *S*-parameters

4.3.1 General

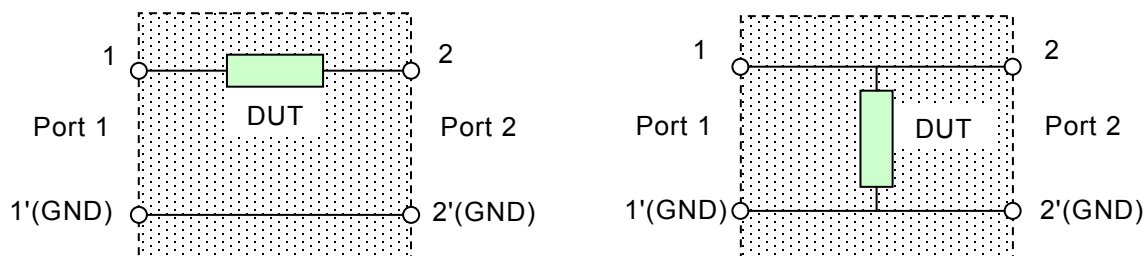
The EMC characteristics of a device are determined by the *S*-parameters of both the inserted device and the original circuit.

The *S*-parameters of the device, and therefore the suppression characteristics, vary with frequency, bias condition, etc. Consequently, *S*-parameters should be measured at various frequencies. This frequency dependence is used to design an EMC filtering device. The *S*-parameter measurements may be applied in the frequency range from around 100 MHz to 6 GHz.

4.3.2 Two-port *S*-parameters

The characteristics of two-terminal components (inductors, capacitors, etc.) can be evaluated in terms of the two-port *S*-parameters using a test fixture as shown in Figure 1. Three-terminal filters (feedthrough capacitors, other three-terminal filters) are also evaluated using a test fixture as shown in Figure 2.

Two configurations for connecting the two-terminal devices and fixture are possible: one using a series connection and one using a shunt connection. One of these configurations should be chosen according to the application of the device. The series connection is normally selected for inductors, and the shunt connection is chosen for capacitors. However, when capacitors are used as high-pass filters (HPF), the series connection should be selected.



- a) Series connection, for high impedance DUT compared to 50Ω b) Shunt connection, for low impedance DUT compared to 50Ω

Figure 1 – Measurement arrangement for *S*-parameters of a two-terminal device

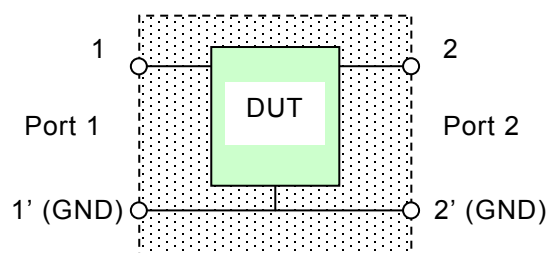


Figure 2 – Measurement arrangement for *S*-parameters of a three-terminal device

The characteristic impedance of the S -parameter test fixture should be matched to the port impedance of a network analyzer (50Ω).

When the test fixture is matched to 50Ω , the insertion loss (a_e) in dB can be given by

$$a_e = -20 \log |S_{ij}| \tag{2}$$

The return loss (a_r) in dB is defined as

$$a_r = -20 \log |S_{ii}| \tag{3}$$

4.3.3 Four-port S -parameters

The characteristics of a four-port device (illustrated in Figure 3), such as common-mode choke coils (CMCC) may be evaluated using the four port S -parameters (see Annex G).

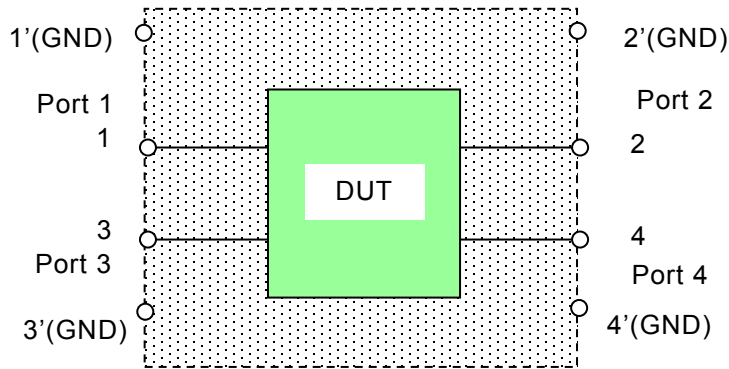


Figure 3 – Measurement arrangement for four-port S -parameters

Measurements using a vector network analyzer (VNA) yield S -parameters S_{ij} for the four ports. However, the common/differential-mode S -parameters derived from the measured S -parameters are more useful for characterizing the device (hereafter referred to as the mixed-mode S -parameters) [5]¹. These are defined by the following formula:

$$S^r = \begin{bmatrix} S_{cc} & S_{cd} \\ S_{dc} & S_{dd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{cc11} & S_{cc12} & S_{cd11} & S_{cd12} \\ S_{cc21} & S_{cc22} & S_{cd21} & S_{cd22} \\ S_{dc11} & S_{dc12} & S_{dd11} & S_{dd12} \\ S_{dc21} & S_{dc22} & S_{dd21} & S_{dd22} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_{11} + S_{31} + S_{13} + S_{33} & S_{12} + S_{32} + S_{14} + S_{34} & S_{11} + S_{31} - S_{13} - S_{33} & S_{12} + S_{32} - S_{14} - S_{34} \\ S_{21} + S_{41} + S_{23} + S_{43} & S_{22} + S_{42} + S_{24} + S_{44} & S_{21} + S_{41} - S_{23} - S_{43} & S_{22} + S_{42} - S_{24} - S_{44} \\ S_{11} - S_{31} + S_{13} - S_{33} & S_{12} - S_{32} + S_{14} - S_{34} & S_{11} - S_{31} - S_{13} + S_{33} & S_{12} - S_{32} - S_{14} + S_{34} \\ S_{21} - S_{41} + S_{23} - S_{43} & S_{22} - S_{42} + S_{24} - S_{44} & S_{21} - S_{41} - S_{23} + S_{43} & S_{22} - S_{42} - S_{24} + S_{44} \end{bmatrix} \tag{4}$$

The sub-matrices in the above formula express conversion characteristics between the modes, where

¹ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

- S_{cc} is the matrix for conversion from common mode to common mode,
- S_{cd} is the matrix for conversion from differential mode to common mode,
- S_{dc} is the matrix for conversion from common mode to differential mode, and
- S_{dd} is the matrix for conversion from differential mode to differential mode.

Each sub-matrix has four elements. For example, for sub-matrix S_{cc} :

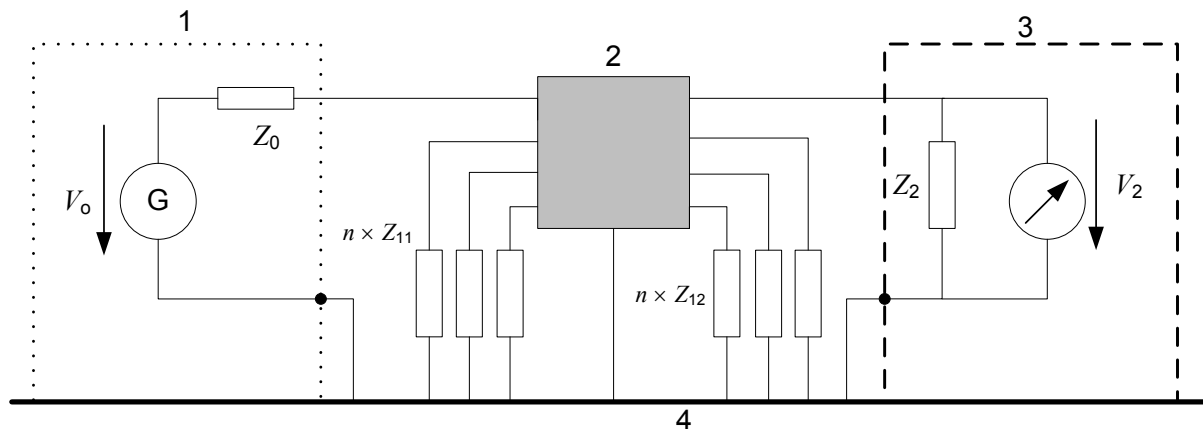
- S_{cc11} is the reflection coefficient at the input,
- S_{cc12} is the transmission coefficient from the output to input,
- S_{cc21} is the transmission coefficient from the input to output, and
- S_{cc22} is the reflection coefficient at the output.

The reference impedances of the common mode and differential mode are half of and double the actual port reference impedance, respectively. For example, when the original S -parameters are measured with a 50- Ω instrument, then the common- and differential-mode port reference impedances become 25 Ω and 100 Ω , respectively.

5 Insertion loss measurement

5.1 General

This clause describes the methods for performing insertion loss measurement of a DUT. In addition, the two-port S -parameters measurement described in 4.3.2 may be used. An example measurement set-up is shown in Figure 4.



Key

- 1 signal generator
- 2 EMC filtering (device under test)
- 3 measuring receiver
- 4 reference potential (metallic ground plane)
- V_o open circuit generator voltage
- V_2 output voltage
- Z_0 generator impedance
- Z_{11} termination impedance (of adjacent lines) at filter input
- Z_{12} termination impedance (of adjacent lines) at filter output
- Z_2 receiver impedance

Figure 4 – Test circuit for insertion loss measurement (example: 4-line-filter)

5.2 Measurement set-up

5.2.1 General

The insertion loss of an EMC filtering device shall be tested without and with bias current.

5.2.2 Test equipment

NOTE Substantial simplification of the measurement procedure can be achieved by using a suitable sweep generator and receiver tuned synchronously or a network analyzer. The insertion loss characteristic may then be observed on a display, or automatically recorded.

5.2.2.1 Signal generator

A sinusoidal signal generator is recommended. Generators of other signals (for example noise or impulse), which have a uniform output spectrum in the frequency range of interest, may also be used, but in such cases the receiver shall have good selectivity and spurious rejection. The impedance of the signal generator shall be 50 Ω.

5.2.2.2 Receiver

A selective receiver (having at least one resonant circuit before the first amplifying stage) is recommended. The use of a non-selective receiver is acceptable if harmonic and other undesirable frequencies in the output of the generator are small enough but are taken into account in the measurement uncertainty. The impedance of the receiver shall be 50 Ω.

5.2.2.3 Bias current source

The source providing biasing current shall be floating and have both terminals (E and F in Figure 9) isolated from earth with the possibility of earthing any of them when it is appropriate.

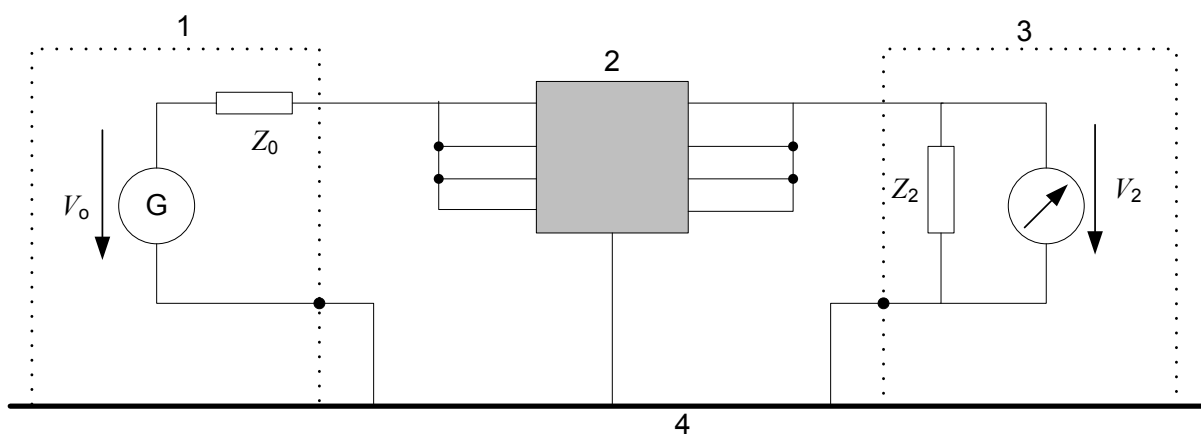
Care should be taken that RF disturbances produced by the bias current source (e.g. if a switch-mode power supply is chosen as a bias source) do not influence the measurement results.

5.2.2.4 Test box

The filter shall be mounted in a shielded metal box and the filter ground shall be properly connected to the metal box bottom in order to ensure a low inductive grounding. The size of the box shall be chosen so as to ensure an appropriate distance between the filter under test and the metal walls and cover of the box but to allow short connecting wires from the coaxial sockets to the filter terminals. For general-purpose filters, an average distance of 5 cm is recommended. A typical test box designed for the test of a general-purpose filter and a feedthrough filter is shown in Annex B.

5.2.3 Asymmetrical (common mode) test circuit

The filter shall be connected between the signal generator and the receiver with all input and output lines connected each other in parallel as shown in Figure 5.



Key

- | | |
|-------|---|
| 1 | signal generator |
| 2 | EMC filtering (device under test) |
| 3 | measuring receiver |
| 4 | reference potential (metallic ground plane) |
| V_0 | open circuit generator voltage |
| V_2 | output voltage |
| Z_0 | generator impedance |
| Z_2 | receiver impedance |

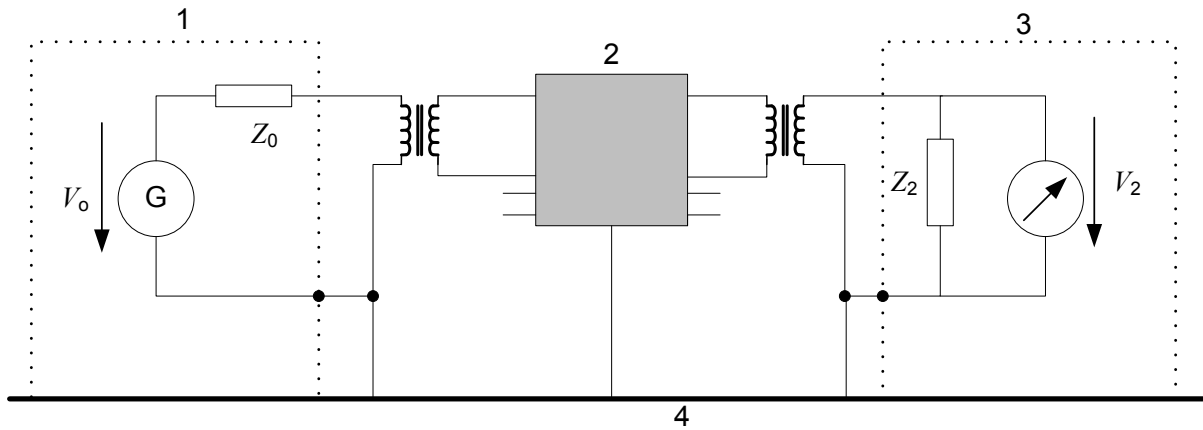
Figure 5 – Test circuit for asymmetrical insertion loss measurement (example: 4-line-filter)

5.2.4 Symmetrical (differential mode) test circuit

Each two input lines and the corresponding output lines shall be measured through isolating transformers as shown in Figure 6. All unused lines shall not be terminated.

The turns ratio of the transformer should be specified to be 1:1. If other turns ratios are selected, they shall be described in the test report.

NOTE The undesired influence of transformer characteristics may be avoided by the use of a four-port VNA instead of a transformer.



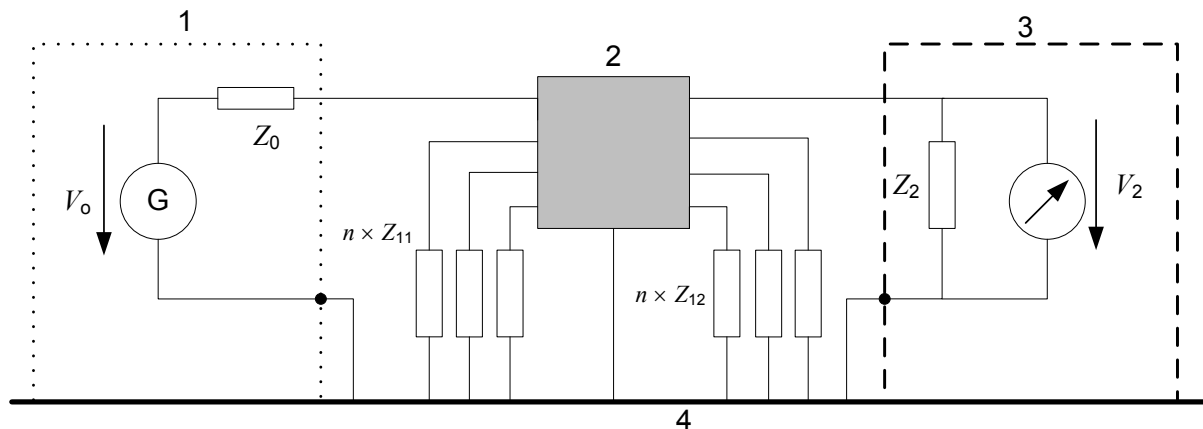
Key

- 1 signal generator
- 2 EMC filtering (device under test)
- 3 measuring receiver
- 4 reference potential (metallic ground plane)
- V_0 open circuit generator voltage
- V_2 output voltage
- Z_0 generator impedance
- Z_2 receiver impedance

Figure 6 – Test circuit for symmetrical insertion loss measurement (example: 4-line-filter)

5.2.5 Unsymmetrical test circuit

Each input line and the corresponding output line of the filter shall be measured with all unused lines terminated to the reference potential with a specified impedance (normally 50 Ω, see 3.1.8), as shown in Figure 7.

**Key**

- | | |
|----------|--|
| 1 | signal generator |
| 2 | EMC filtering (device under test) |
| 3 | measuring receiver |
| 4 | reference potential (metallic ground plane) |
| V_o | open circuit generator voltage |
| V_2 | output voltage |
| Z_0 | generator impedance |
| Z_{11} | termination impedance (of adjacent lines) at filter input |
| Z_{12} | termination impedance (of adjacent lines) at filter output |
| Z_2 | receiver impedance |

**Figure 7 – Test circuit for unsymmetrical insertion loss measurement
(example: 4-line filter)**

5.3 Measurement methods (procedure)

5.3.1 General

Two methods are in use:

- a) filter without bias;
- b) filter under full d.c. or a.c. bias current.

Those two methods shall be used for investigation of filters as follows:

- without bias, and applicable frequency range 10 kHz to 10 GHz, or
- under bias current up to 100 A, and applicable frequency range 10 kHz to 100 MHz.

The only test method specified in this standard shall be the 50-Ω/50-Ω test method. This means that all impedances of the test circuit Z_0 , Z_{11} , Z_{12} and Z_2 shall be 50 Ω (see 3.1.10).

Test methods using different and possibly non-symmetrical impedances may be used if necessary. One example is described in Annex C. Normally, test methods using impedance values other than 50 Ω are application-dependent and shall be described in the respective equipment standard.

5.3.2 Measurement without bias

The characteristics obtained from measurement without bias may differ from those observed in practice, because the terminating impedances during the measurement differ from those existing during use in a real apparatus or system. See Figure 8.

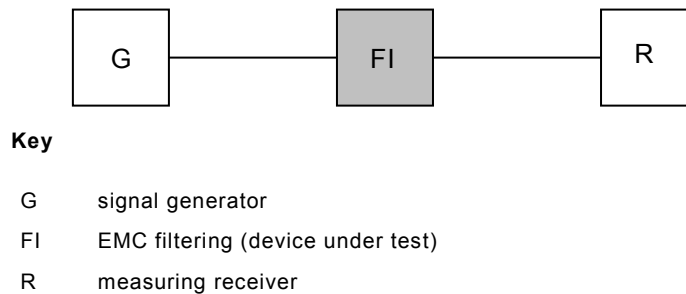


Figure 8 – Test circuit for insertion loss measurement without bias

5.3.3 Measurement with bias

The test method is the same as described in 5.3.2 with buffer networks for the bias current sources added. See Figure 9.

The bias current applied to the filter under test shall be the rated current of the filter. For filters that are regularly used in applications with high pulse currents (e.g. frequency converters) it may be necessary to select the bias current accordingly.

The source for the bias current is connected to the measurement circuit via two buffer networks that shall give sufficient decoupling between the current source and the measurement circuit in the frequency range to be measured. The requirements for the buffer network in Annex D shall be observed.

The bias source shall be isolated against the measurement circuit.

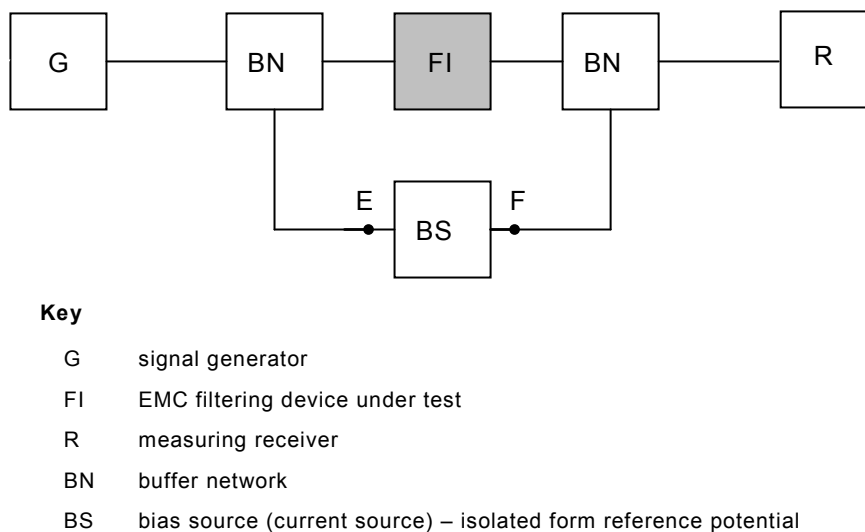


Figure 9 – Test circuit for insertion loss measurement with bias

5.4 Calibration and verification

5.4.1 General

All test equipment (signal generator, receiver, cables, attenuators etc.) shall be calibrated and traceable to a national standards organization.

The complete test set-up shall be evaluated to prove that it meets all requirements. This includes also the shielded box used to contain the filter and the buffer networks for bias tests and manual switches or relay boxes used for automated measurement.

Because filters do not have an impedance of $50\ \Omega$, some verification steps are needed to also show the correct function of the test set-up for the mismatched test object.

5.4.2 Validation of test set-up without bias

The test set-up shall be verified by a series of measurements with defined ohmic test circuits as shown in Figure 10.

Test A shows the correct value of the RF signal generator output voltage that is half the open circuit voltage when terminated with $50\ \Omega$ (by the impedance of the test receiver).

Test B shows the capability of the RF signal generator to provide sufficient output current into low impedance test objects (such as filters with high capacitive values).

Test C shows that the dynamic range of the test receiver is sufficient.

For each of Test A to C, measurements shall be made within the tolerance specified in Table 2.

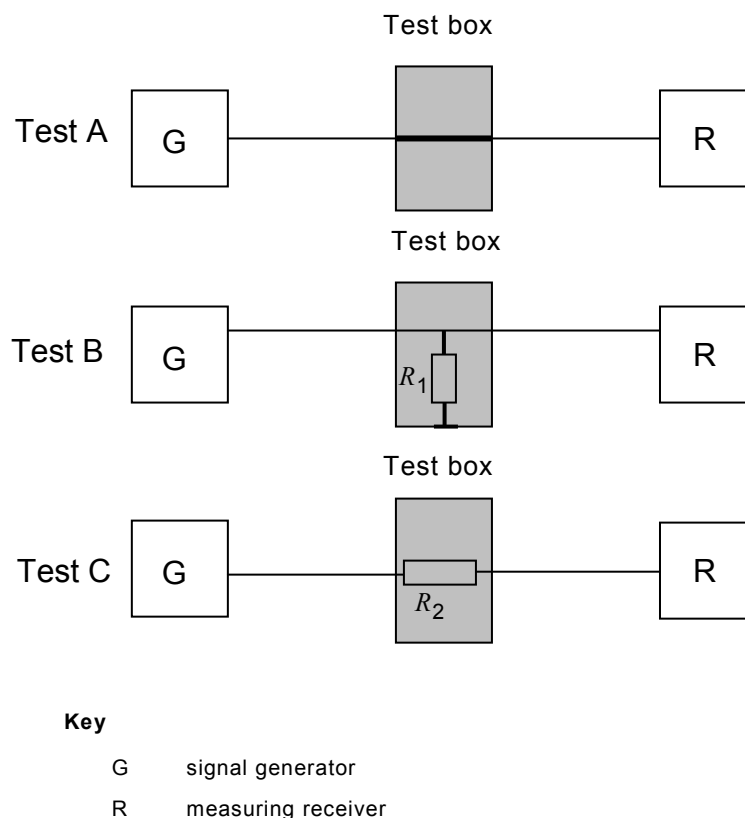


Figure 10 – Test circuit for verification of measurement circuit without bias

Table 2 – Conditions and target values for validation of test set-up without bias

Test	R	V_2	V_2/V_o
A	THRU	$0,5 \times V_o$	-6 dB \pm 0,5 dB
B	$R_1 = 0,1 \Omega$	$0,002 \times V_o$	-54 dB \pm 1 dB
C	$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$	$0,000 5 \times V_o$	-66 dB \pm 1 dB
Tolerance for R_1 and R_2 : $\pm 1 \%$.			

The test set-ups shall be used in the frequency range where the validation results meet Table 2, where V_o is the e.m.f. (V) of the signal generator, G, and V_2 is the voltage (V) across the terminals of the measuring receiver. The values of R_1 and R_2 may be different depending on the frequency and device under test (DUT).

5.4.3 Validation of test set-up with bias

The test set-up shall be verified by a series of measurements with defined ohmic test circuits as shown in Figure 11.

Test A shows the correct value of the RF signal generator output voltage that is half the open circuit voltage when terminated with 50Ω (by the impedance of the test receiver).

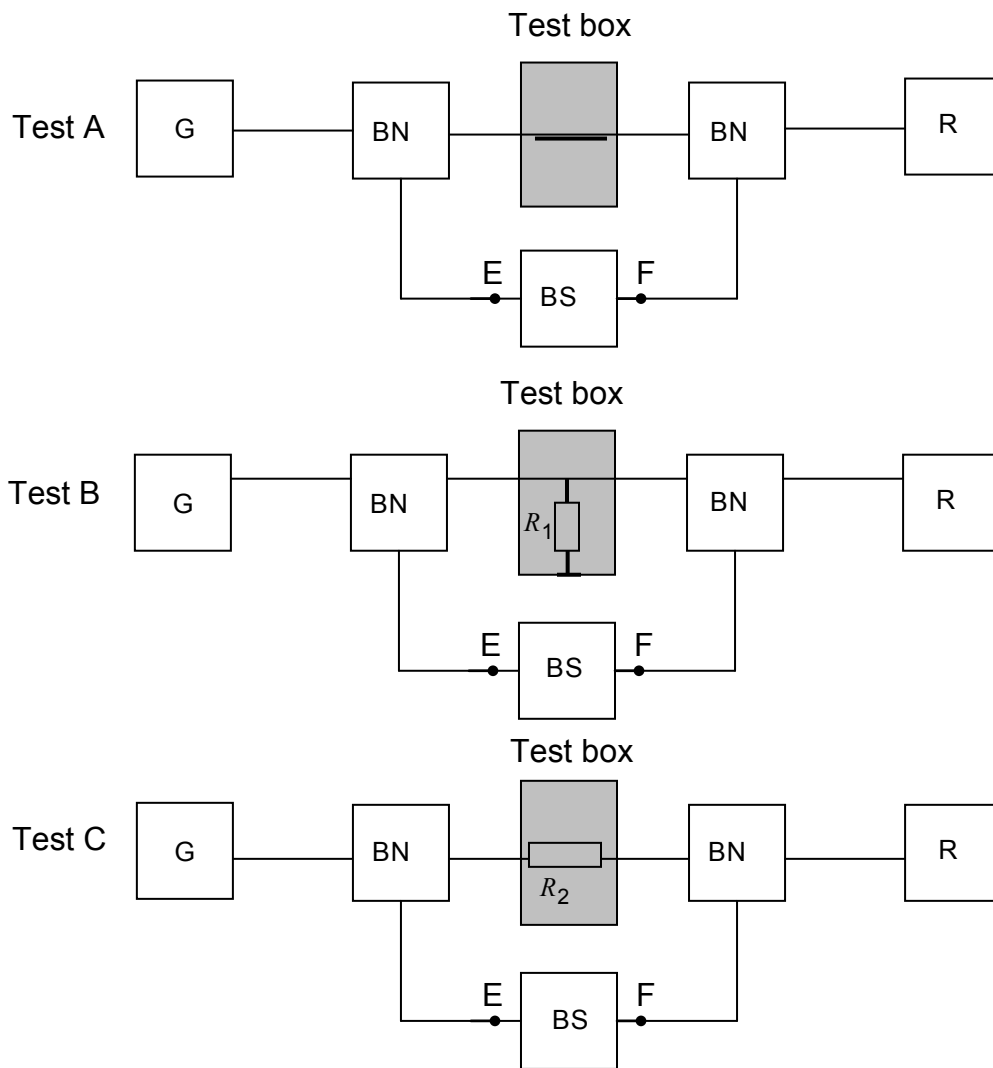
Test B shows the capability of the RF signal generator to provide sufficient output current into low impedance test objects (like filters with high capacitive values).

Test C shows that the dynamic range of the test receiver is sufficient.

Each of Test A to C shall be performed for these conditions:

- terminals E and F are not connected (open circuit),
- terminals E and F are connected by a short circuit.

For each of Test A to C, the measurements shall be made within the tolerance specified in Table 3.



Key

- G signal generator
- FI EMC filtering device under test
- R measuring receiver
- BN buffer network
- BS bias source (current source) – isolated form reference potential

Figure 11 – Test circuit for verification of measurement circuit with bias

Table 3 – Conditions and target values for validation of test set-up with bias

Test		R	V_2	V_2/V_o
A	open	THRU	$0,5 \times V_o$	-6 dB ± 0,5 dB
	short		$0,5 \times V_o$	-6 dB ± 0,5 dB
B	open	$R_1 = 0,1 \Omega$	$0,002 \times V_o$	-54 dB ± 1 dB
	short		$0,002 \times V_o$	-54 dB ± 1 dB
C	open	$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$	$0,000 5 \times V_o$	-66 dB ± 1 dB
	short		$0,000 5 \times V_o$	-66 dB ± 1 dB

Tolerance for R_1 and R_2 : ± 1 %.

The test set-ups shall be used in the frequency range where the validation results meet Table 3 where V_0 is the e.m.f. (V) of the signal generator, G, and V_2 is the voltage (V) across the terminals of the measuring receiver. The values of R_1 and R_2 may be different depending on the frequency and DUT.

5.5 Uncertainty

The following factors shall be considered in assessing the uncertainties associated with the insertion loss measurements:

- uncertainty contribution due to the measuring equipment (refer to manufacturer's specification);
- uncertainty contribution due to the test fixture including the buffer networks (refer to manufacturer's specification, if available);
- uncertainty contribution due to variation in measurement conditions (evaluated through repeated measurements).

Details are provided in Annex A.

6 Impedance measurement

6.1 General

Impedance measurement of a DUT is carried out by one of two methods: the direct method, in which impedance is measured directly using an impedance-measuring equipment, or the indirect method, in which impedance is calculated from the S -parameters measured by a VNA. Modern VNAs typically include a function for calculating the impedances.

NOTE The indirect method is commonly used for measurements at frequencies above 1 GHz.

6.2 Direct method

6.2.1 Measurement set-up and procedure

The impedance of a DUT is measured using impedance-measuring equipment and a test fixture.

Impedance shall be measured by inserting the DUT into the test fixture and by sweeping the measurement frequency with the impedance-measuring equipment. The relationship between the impedance and the frequency shall be recorded within the required frequency range.

An appropriate combination of the measuring equipment and test fixture shall be selected according to the DUT configuration and the test frequency. Examples of impedance measurement are shown in Annex F (for a leaded device, SMD, four-terminal CMCC, etc.).

When applying a bias voltage or current to the DUT, it shall be applied via a buffer circuit to avoid affecting the measurement circuit. If the impedance-measuring equipment does not have a built-in buffer circuit, then a buffer circuit may be used in the test set-up. In the latter case, calibration shall be performed with the buffer circuit inserted.

The impedance-measuring equipment and the test fixture shall be set up in an environment free from significant temperature variations and external electromagnetic fields. The test system shall be calibrated including the test fixture. Environmental conditions and analyzer settings used in measurement shall be recorded, such as temperature, frequency range, input RF power, bias current or voltage, etc. The following shall be considered:

- the test system shall have a sufficient signal-to-noise ratio (≥ 30 dB);
- unless otherwise specified, the test shall be made under the rated conditions of the DUT;

- when applying bias voltage or current, care shall be taken not to overbias the DUT (especially in the case of ferrite devices);
- an appropriate calibration method shall be selected for the test fixture used (open/short calibration, open/short/load calibration, etc.).

6.2.2 Calibrations of the test set-up

The measurement system shall be traceable to a national standards organization.

The following factors may affect measurement results on a DUT, so that the measurement system shall be calibrated to reduce the measurement uncertainty from effects of unknown impedance associated with the measuring instruments, test fixtures and cables.

An example of the calibration procedure is the OSL calibration, which uses a calibration kit consisting of OPEN, SHORT and LOAD standard terminations. In some cases, if a higher measurement accuracy is not required, it may not be necessary to use all three terminations in the calibration kit. Details of the procedures may be found in the instruction manuals for the measuring instruments.

If available, standard DUTs can be used to improve measurement accuracy.

6.2.3 Measurement uncertainty

The following factors shall be considered in assessing the uncertainties associated with measurements using impedance-measuring equipment:

- uncertainty components related to the impedance-measuring equipment (refer to manufacturer's specifications);
- uncertainty components related to the test fixture (refer to manufacturer's specification, if available);
- uncertainty components related to variation in measurement conditions (evaluated through repeated measurements).

Details are provided in Annex A.

6.3 Indirect method

6.3.1 Measurement set-up and procedure

6.3.1.1 General

The impedance of a DUT may be evaluated from its S -parameters. In this case, the S -parameters are measured using a network analyzer. See 7.1 for a description of the S -parameter measurement set-up.

The impedance of a DUT can be calculated from either of the one-port, two-port, or four-port S -parameters. Note that the measured values for the S -parameters should be those of the DUT only, and free of any effects of the test fixture.

6.3.1.2 Evaluation from the one-port S -parameter

The following formula is used to calculate impedance Z_x from S_{11} , where Z_0 is the port reference impedance. See Figure 12.

$$Z_x = Z_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (5)$$

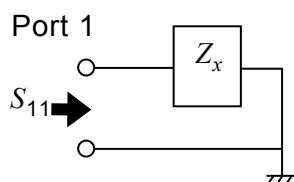
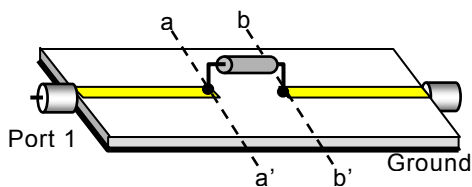


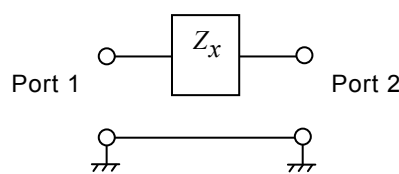
Figure 12 – One-port measurement of a two-terminal device

6.3.1.3 Evaluation from the two-port *S*-parameters

The impedance of a DUT can be evaluated from *S*-parameter measurements with a VNA using an appropriate test fixture as illustrated in Figures 13 and 14.

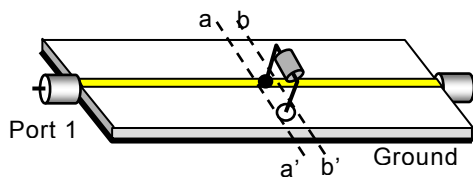


a) Example of a measurement set-up

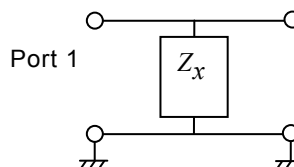


b) Equivalent circuit

Figure 13 – *S*-parameter measurements for evaluating the impedance of a device in a series connection



a) Example of a measurement set-up



b) Equivalent circuit

Figure 14 – *S*-parameter measurements for evaluating the impedance of a device in a shunt connection

The *S*-parameters shall be evaluated between two reference planes (a-a') and (b-b') either with the TRL calibration or with correcting *S*-parameters measured between ports 1 and 2 for the electrical lengths of the lines.

Assuming symmetrical properties of the DUT, the mean reflection and transmission coefficients are given by:

$$R = \frac{S_{11} + S_{22}}{2} \quad \text{and} \quad T = \frac{S_{12} + S_{21}}{2} \tag{6}$$

If the condition $|2T| \gg |(1-T)^2 - R^2|$ is satisfied, then the impedance of the device, Z_x is calculated from Equations (7) and (8):

For series connection,

$$Z_X = Z_0 \frac{(1+R)^2 - T^2}{2T}, \quad (7)$$

and for shunt connection,

$$Z_X = Z_0 \frac{2T}{(1-R)^2 - T^2}, \quad (8)$$

where Z_0 is the characteristic impedance of the test fixture.

If the above condition is not fulfilled, the test fixture may affect the measurements, and Equations (7) and (8) may yield erroneous results.

Impedances given by the two-port S -parameters described in this subclause may be different to some extent at high frequencies from those described in 6.3.1.2, because the one-port S -parameter may depend on the structure of the test fixture used.

6.3.1.4 Evaluation from the four-port S -parameters

The common-mode and differential-mode impedances, Z_c and Z_d , of a DUT can be evaluated in terms of the mixed-mode S -parameters S_{cc} and S_{dd} using the following equations, if the DUT has good symmetry. The definitions of the mixed-mode S -parameters are given in 4.3.3. Impedances Z_c and Z_d are derived from Equations (9) and (10) with actual S -parameter measurements. Note that Z_{c0} and Z_{d0} are the reference impedances of common- and differential-mode, respectively.

$$Z_c = Z_{c0} \frac{(1+R_c)^2 - T_c^2}{2T_c}$$

$$R_c = \frac{S_{cc11} + S_{cc22}}{2} \quad (9)$$

$$T_c = \frac{S_{cc12} + S_{cc21}}{2}$$

$$Z_d = Z_{d0} \frac{(1+R_d)^2 - T_d^2}{2T_d}$$

$$R_d = \frac{S_{dd11} + S_{dd22}}{2} \quad (10)$$

$$T_d = \frac{S_{dd12} + S_{dd21}}{2}$$

6.3.2 Calibration of the test set-up

See 7.2.

6.3.3 Measurement uncertainty

The uncertainty of the impedance obtained from S -parameters is calculated from the uncertainties associated with the S -parameter measurements. See 7.3.

7 *S*-parameter measurement

7.1 Measurement set-up and procedure

7.1.1 General

A network analyzer (50 Ω system) is used for measuring the *S*-parameters of a DUT. A VNA is an instrument with a function for determining *S*-parameters directly from measurement of the amplitude and phase differences of the incident, reflected, and transmitted waves. Figure 15 illustrates the set-up for a two-port measurement.

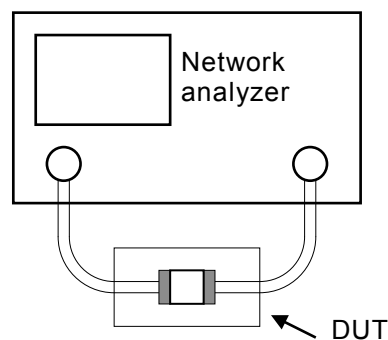


Figure 15 – Two-port *S*-parameter measurement set-up

S-parameters shall be measured by inserting the DUT into the test fixture and by sweeping the measurement frequency with the network analyzer. The relationship between the *S*-parameters and the frequency should be recorded within the required frequency range.

A bias voltage or current at the DUT shall be applied via a buffer circuit to avoid affecting the measurement circuit. If the network analyzer does not have a built-in buffer circuit, then a commercially available bias-tee may be used in the test set-up. In the latter case, calibration shall be performed with the buffer circuit inserted.

When only the insertion loss $|S_{21}|$ is required, measurements may be made using a combination of a tracking generator and a measuring receiver instead of the network analyzer described above.

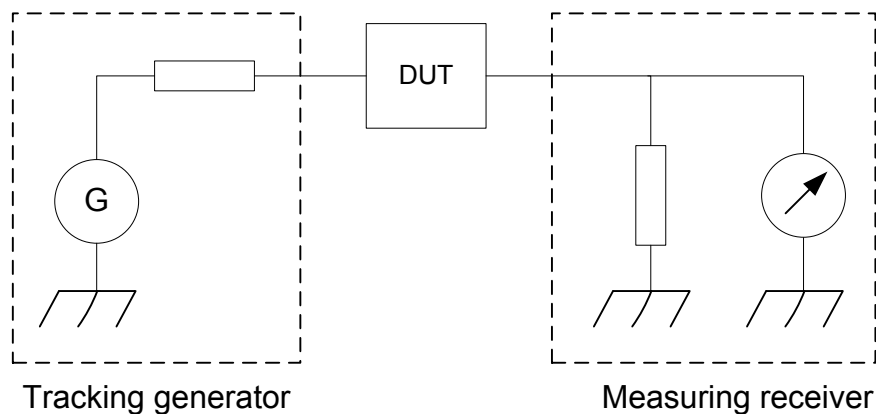


Figure 16 – An alternative measurement system specifically for the insertion loss of a DUT (using a combination of tracking generator and measuring receiver)

The network analyzer and test fixture shall be set up in an environment free from significant temperature variations and external electromagnetic fields. The test system should be calibrated including the test fixture. Environmental conditions and analyzer settings used in measurement shall be recorded, such as temperature, frequency range, input RF power, bias current or voltage, etc.

The following are examples of the required characteristics of the S -parameter measurement system:

- the dynamic range shall be sufficient for measuring the attenuation of the DUT;
- appropriate cables, connectors, adapters, etc. shall be selected for the measurement frequency range. The connectors shall be fastened with the specified torque;
- unless otherwise specified, the test shall be made under the rated conditions of the DUT;
- when applying bias voltage or current, care should be taken not to overload the DUT, especially in the case of ferrite devices.

7.1.2 Test fixture

7.1.2.1 General

In general, a DUT is connected to the network analyzer via cables. Some categories of devices, such as SMD and leaded devices, may not be appropriate for direct connection, where they shall be measured using a test fixture. The following figures show examples of the fixtures using printed circuit boards (PCB), which use planar transmission lines, such as micro-strip and coplanar ones, with a characteristic impedance of 50Ω . Connectors are attached to the ends of the PCB. Symbols are defined in Figure 17.

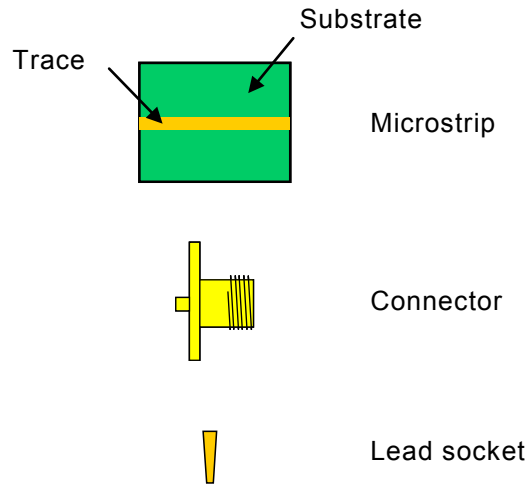


Figure 17 – Symbolic expressions

7.1.2.2 Test fixtures for SMD

7.1.2.2.1 Two-terminal device – series connection

Figure 18 shows a test fixture for measuring the S -parameters of a two-terminal device in a series connection. Maximum applicable frequency is around 6 GHz.

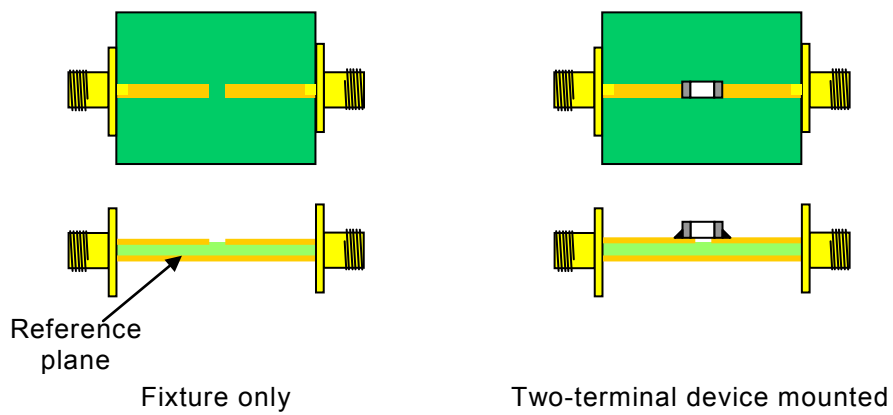


Figure 18 – Test fixture for a two-terminal device (series connection)

7.1.2.2.2 Two-terminal device – shunt connection

Figure 19 shows a test fixture for measuring the S -parameters of a two-terminal device in a shunt connection. Maximum applicable frequency is around 6 GHz.

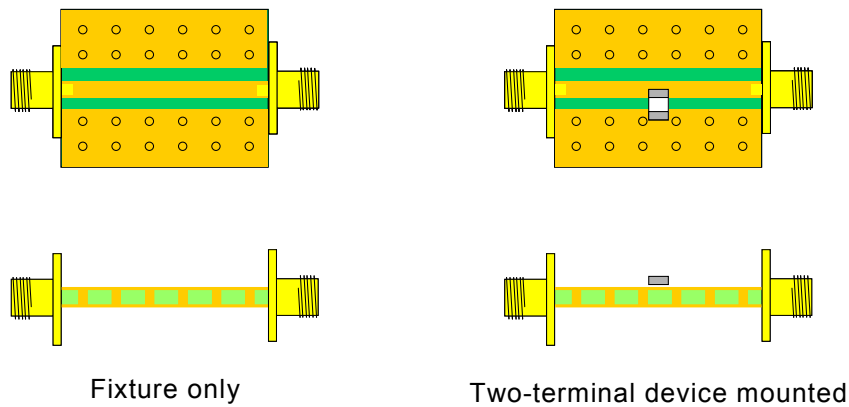


Figure 19 – Test fixture for a two-terminal device (shunt connection)

7.1.2.2.3 Three-terminal filter

Figure 20 shows a test fixture for measuring the S -parameters of a three-terminal filter. Maximum applicable frequency is around 6 GHz.

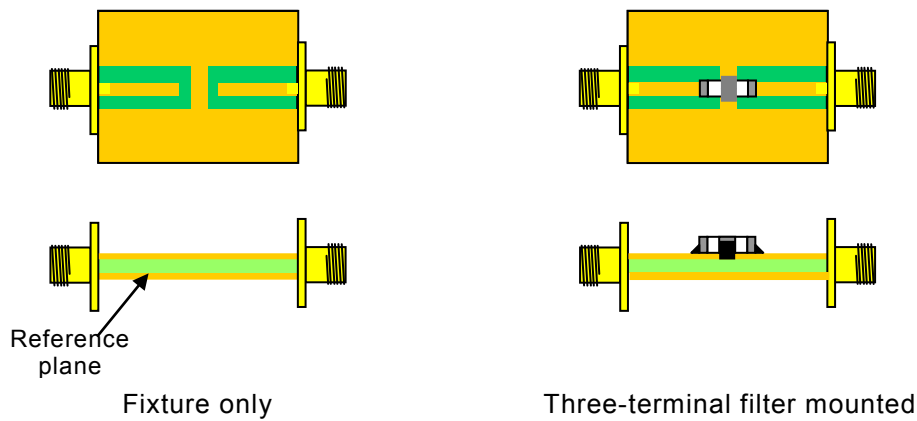


Figure 20 – Test fixture for a three-terminal filter

7.1.2.3 Test fixtures for leaded devices

7.1.2.3.1 Two-terminal device with leads

Figure 21 shows a test fixture for measuring the S -parameters of a two-terminal device with leads in series or shunt connections. Maximum applicable frequency is around 1 GHz.

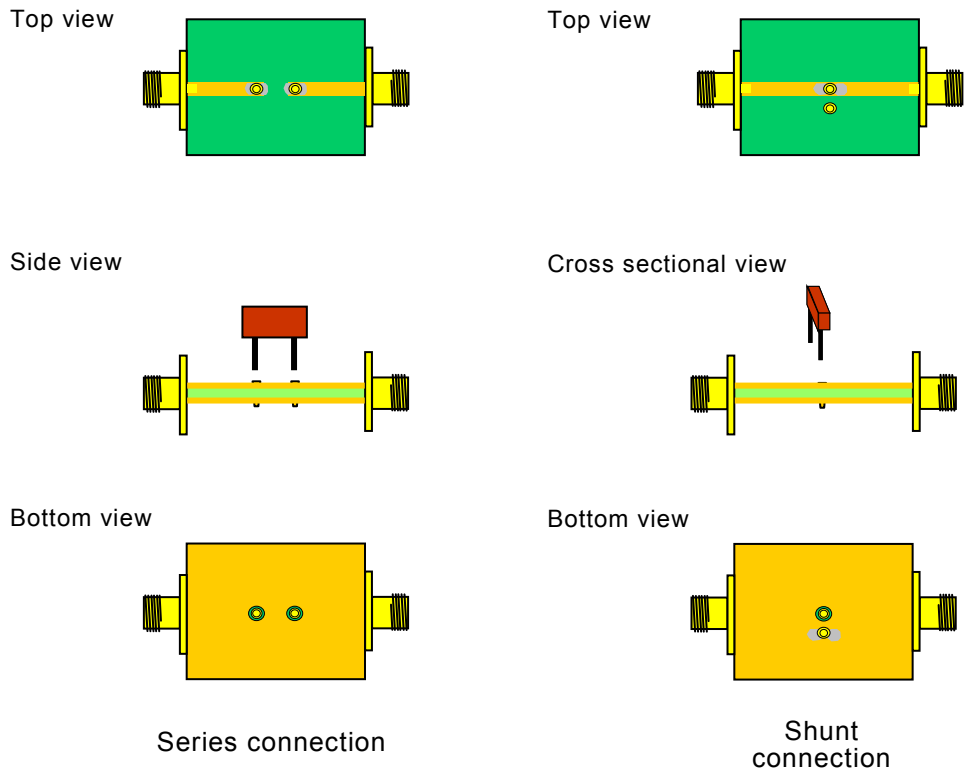
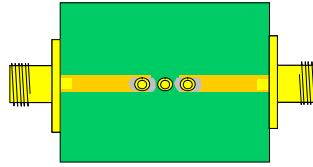


Figure 21 – Test fixture for a two-terminal device with leads

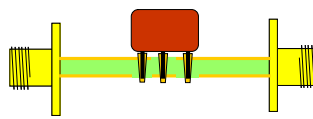
7.1.2.3.2 Three-terminal filter

Figure 22 shows a test fixture for measuring the S-parameters of a three-terminal filter with leads. Maximum applicable frequency is around 1 GHz.

Top view



Cross sectional view



Bottom view

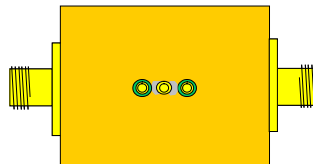


Figure 22 – Test fixture for a three-terminal filter with leads

7.1.2.4 Test fixtures for a core device

A DUT such as ferrite cores or ferrite beads are measured with a test fixture where a conducting wire is inserted into the hole of the DUT as shown in Figure 23. See also Annex H.

Care should be taken to centre the wire in the hole using a spacer. The wire in the hole should be placed in parallel with the ground plane.

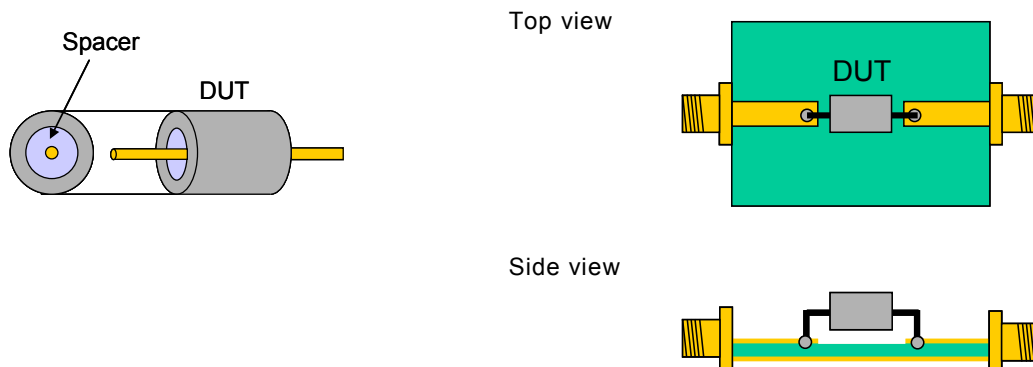


Figure 23 – Test fixture for a core device

7.2 Calibration of test set-up

Cables and a test fixture attached to the network analyzer affect the measurement results. Calibration shall be made to eliminate these effects.

One of the following full n -port calibration methods shall be used:

- a) SOLT calibration: four types of calibration standards (Short/Open/Load/Thru) are used.
- b) TRL calibration: three types of calibration standards (Thru/Reflect/Line [6]) are used.

Refer to the instruction manual of the analyzer for details of the calibration procedure.

NOTE When only the insertion loss, $1/|S_{21}|$, is required, it is sufficient to perform a calibration using a Thru standard (i.e. Thru calibration). However, two-port calibration is a higher-accuracy alternative.

Examples of a calibration standard (micro-strip line) for the TRL calibration are shown below.

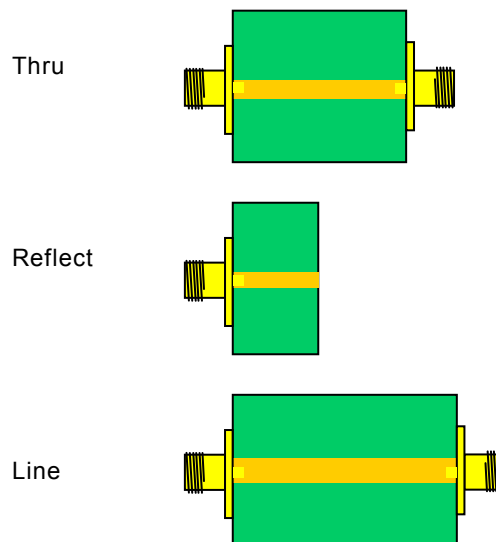


Figure 24 – Example of the standards for TRL calibration

7.3 Measurement uncertainties

The following factors shall be considered in assessing the uncertainties associated with measurements using a VNA.

- uncertainty components related to the network analyzer (refer to catalogue values);
- uncertainty components related to the test fixture (refer to the manufacturer's specifications, if available);
- uncertainty components related to variation in measurement conditions (evaluated through repeated measurements).

Details are provided in Annex A.

8 Presentation of results

8.1 General

The report of measurements shall contain at least the following specific data:

- a) test set-up (measuring instrument and test fixture);
- b) measurement conditions: RF output (current, voltage), bias voltage or current, etc. ;
- c) environmental conditions: temperature, humidity, etc.;
- d) calibration/validation method;
- e) measurement point;
- f) results of measurements (for example, in the form of a table or diagram showing the insertion loss in decibels as a function of frequency in orthogonal semi-logarithmic coordinates);
- g) measurement uncertainty;
- h) description (photo or sketch) of connection and mounting of the device in the test circuit, giving the shape and dimensions of the test container/fixture and connecting leads (if required);
- i) exact description of the device under test (e.g. order number, serial number, technical data, circuit diagram);
- j) date and time of measurement;
- k) name and function of the person that performed the measurement;
- l) referenced standards and specifications; and
- m) insertion loss, impedance, and *S*-parameters depending on the parameter to be measured, in accordance with 8.2 through 8.4.

8.2 Insertion loss

The report of measurements shall contain the following specific data:

- test circuit impedance,
- maximum measurable insertion loss of the test circuit.

8.3 Impedance

The report of measurements shall contain the port reference impedance when the indirect method is used. The impedance is not reported for the direct method.

8.4 *S*-parameters

The report of measurements shall contain port assignments and port reference impedance.

Annex A (normative)

Uncertainty estimation for the measurement of the suppression characteristics of EMC filtering devices

A.1 Estimation procedure

A.1.1 General

First of all, consider the relationship between the measurand Y (insertion loss, impedance or S -parameters) and the input quantities X_i on which Y depends. The relationship should contain every quantity, including all corrections and correction factors, that can contribute a significant component of uncertainty to the result of the measurement.

Next, determine x_i , the estimated value of input quantity X_i , either on the basis of the statistical analysis of the series of observations or by other means.

A.1.2 Standard uncertainty: $u(x_i)$

A.1.2.1 General

In order to list each influence quantity that contributes to the overall measurement uncertainty, identify influence quantity x_i as to its type, either evaluated statistically (Type A) or by another method (Type B). Type B method shall be used in case that manufacturers data or calibration data are available, Type A method shall be restricted to equipment for which such data cannot be made available (e.g. special test adapters or test fixtures).

A.1.2.2 Type A (statistical method)

The Type A evaluation method may be based on any valid statistical method for treating data.

The descriptive statistics of the readings (i.e. the mean value μ and standard deviation σ of the readings) are found by a statistical method. The standard uncertainty $u(x_i)$ is the standard deviation of the mean of n measurements and expressed by

$$u(x_i) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.1})$$

where n is the number of readings.

A.1.2.3 Type B (other methods)

This approach requires the identification of all relevant uncertainty components and an estimate of their magnitude. Furthermore, a suitable probability distribution function is to be selected in order to “normalize” each contributing factor to a standard deviation.

The Type B method is based on all relevant information available, such as the following:

- a) previous measurement data;
- b) manufacturer’s specifications;
- c) data provided on calibration or other reports;
- d) estimates based on experience;
- e) other data.

A.1.3 Combined standard uncertainty: $u_c(y)$

The standard deviations of all normalized uncertainty components, i.e. standard uncertainties $u(x_i)$, are then combined to determine the combined standard uncertainty $u_c(y)$ as follows (with square root):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i [c_i u(x_i)]^2} \quad (\text{A.2})$$

where c_i is called sensitivity coefficient and describes how the estimate y varies with changes in the values of the input estimate x_i .

A.1.4 Expanded uncertainty: U

A coverage factor k is applied to expand the combined standard uncertainty to show the interval having a confidence level (for example, $k = 2$ for a level of confidence of approximately 95 %).

Expanded uncertainty is obtained by the next equation.

$$U = k u_c(y) \quad (\text{A.3})$$

A.2 Reporting of the uncertainty

The proper way to report measurement uncertainty in a test report is the inclusion of a statement of the expanded uncertainty and the k -factor, along with the level of confidence. For example:

Measurement result = $(y \pm U)$ dB or Ω , $k = 2$ (level of confidence 95 %)

Note that any measurement uncertainty analysis is based on a set of assumptions. These shall be defined and documented. If the actual measurement scenario deviates from these assumptions, the uncertainty estimate will not be valid and shall be recalculated to address the deviation.

A.3 Measurement uncertainty calculation example – insertion loss

The uncertainty analysis in Table A.1 demonstrates the application of the ISO/IEC Guide 98-3 [4] approach to a measurement method of insertion loss defined in 5.3. It is assumed that a Type B analysis is to be performed, which requires the identification of all relevant influence factors and an estimate of their magnitude. In case of measuring a significant number of filters, as may be the case in a production environment, the measurement uncertainty analysis could also be based on a Type A method. In either case, the determination of the magnitude of the measurement repeatability is based on a Type A analysis, where the measurand (i.e. the insertion loss of the filter) is determined repeatedly in a series of measurements.

Table A.1 – Measurement uncertainty of insertion loss (example)

Source of uncertainty	Value dB	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient	Standard uncertainty dB
Signal generator (G) ^a	0,2	Rectangular	1,732	1	0,12
Receiver ^a	0,2	Rectangular	1,732	1	0,12
Validation of test set-up ^b	0,5	Rectangular	1,732	1	0,29
Repeatability	0,1	Normal	1	1	0,1
Combined standard uncertainty (u_C)	-	-	-	-	0,35
Expanded uncertainty (U) for $k=2$	-	-	-	-	0,70

^a If a network analyzer is used, there may be only one value for the complete measuring equipment (signal generator + receiver), the uncertainty value is mainly determined by the stability of the measurement equipment.

^b The measurement uncertainty from the test set-up (cables, test box, etc.) is the result of the verification procedure as of 5.4.2 or 5.4.3

Under the assumptions documented below, the expanded uncertainty for the filter insertion loss measurement, common-mode, unbiased case, is $\pm 0,70$ dB.

- a) The frequency range of interest for this measurement is assumed to be 10 kHz to 1 GHz.
- b) The measurement set-up is implemented in accordance with Figure 8.
- c) The measurement procedure outlined in 5.3 is followed closely.
- d) A validation of the suitability of the test set-up, in accordance with 5.4.2 is performed before the actual insertion loss measurement has commenced. This verification measurement will demonstrate that the test set-up is suitable to measure a constant value of insertion loss within $\pm 0,5$ dB over the required frequency range, when the standard attenuator is measured.

In addition, uncertainty analysis for insertion loss measurement shall take into account the following precautions:

- 1) The test system (i.e. signal generator and receiver) may be included in one test instrument.
- 2) Because radiated disturbances in the environment can influence the test results significantly, measures shall be taken to minimize the error caused by such external disturbances to an acceptable value. It may be necessary to use a shielded test box or to shield the test set-up completely. The residual value caused by the disturbances shall be at least 6 dB lower than the measured signal.
- 3) The use of isolation attenuators (inserted in the set-up at the output of the signal generator and the input of the measurement receiver) is recommended to decrease the influence of VSWR and resonances on the test result. Isolation attenuators are not required if two-port calibration is applied with a VNA.
- 4) The uncertainty evaluation shall be done with the circuits shown in Figures 8 and 9, respectively (depending if a unbiased or bias test is performed).
- 5) The influence by mismatching of the connectors, cables and the test box are covered by the verification measurement as of 5.4.2 and 5.4.3.

A.4 Measurement uncertainty calculation example – impedance

The uncertainty analysis in Table A.2 demonstrates the uncertainty estimation approach to a measurement method of impedance defined in 6.2.

Table A.2 – Measurement uncertainty of impedance (example)

Source of uncertainty	Value %	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient	Standard uncertainty %
Impedance-measuring equipment	0,66	Rectangular	1,732	1	0,12
Test fixture	0,5	Rectangular	1,732	1	0,29
Repeatability	0,29	Normal	1	1	0,29
Combined standard uncertainty (u_C)	-	-	-	-	0,48
Expanded uncertainty (U) for $k=2$	-	-	-	-	0,96

Under the assumptions documented below, the expanded uncertainty for the impedance measurement at 100 MHz, unbiased case, is $\pm 0,96$ %.

- Measurement is conducted in accordance with 6.2 and Annex F.
- DUT is an SMD-type inductor and its typical parameter $|Z| = 1 \text{ k}\Omega$ at 100 MHz.
- Impedance-measuring equipment is calibrated by OPEN/SHORT/LOAD calibration.
- Test set-up (test fixture) is verified by OPEN (test port is not connected to GND) and SHORT (short chip which is the same dimension as DUT used) connection.

A.5 Measurement uncertainty calculation example – S-parameters

The uncertainty analysis in Table A.3 demonstrates the uncertainty estimation approach to a measurement method of S_{21} and S_{12} at 100 MHz, unbiased case, while Table A.4 describes an example of uncertainties for the S_{11} and S_{22} measurements.

Table A.3 – Measurement uncertainties of $|S_{21}|$ and $|S_{12}|$ (example)

Source of uncertainty	Value dB	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient	Standard uncertainty dB
Network analyzer	0,026	Rectangular	1,732	1	0,015
Test set-up (calibration)	0,498	Rectangular	1,732	1	0,288
Repeatability	0,078	Normal	1	1	0,078
Combined standard uncertainty (u_C)	-	-	-	-	0,30
Expanded uncertainty (U) for $k=2$	-	-	-	-	0,60

Table A.4 – Measurement uncertainties of $|S_{11}|$ and $|S_{22}|$ (example)

Source of uncertainty	Value dB	Probability distribution	Divisor	Sensitivity coefficient	Standard uncertainty dB
Network analyzer	0,014	Rectangular	1,732	1	0,008
Test set-up (calibration)	0,027	Rectangular	1,732	1	0,016
Repeatability	0,010	Normal	1	1	0,010
Combined standard uncertainty (u_C)	-	-	-	-	0,021
Expanded uncertainty (U) for $k=2$	-	-	-	-	0,04

Under the assumptions documented below, the expanded uncertainties for the measurement of magnitude of S_{21} and S_{12} , and S_{11} and S_{22} are 0,60 dB and 0,04 dB, respectively.

NOTE For high insertion loss devices, the uncertainty of transmission coefficients S_{21} and S_{12} could increase significantly due to the cross-talk error of network analyzer.

- a) Measurement is conducted in accordance with 7.1 of this standard.
- b) DUT is an SMD-type inductor and its typical parameters are $20\log |S_{21}| = -20$ dB and $20\log |S_{11}| = -0,94$ dB at 100 MHz.
- c) The network analyzer is calibrated by TRL calibration. The source level is 0 dBm and IF bandwidth is 100 Hz.
- d) The test fixture is implemented in accordance with Figure 18.

Annex B (informative)

Examples of test boxes for insertion loss measurement

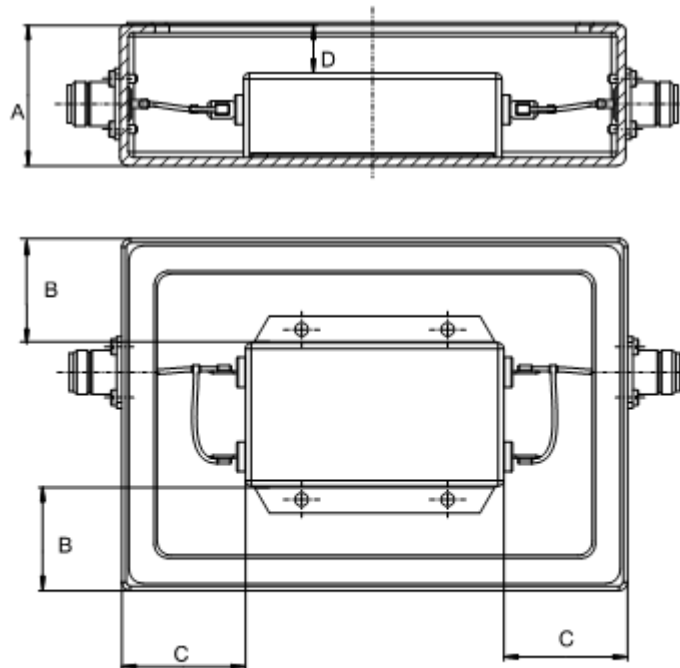
B.1 Facility and apparatus filters

B.1.1 General

An EMC filtering device under test should be mounted in an appropriate test box. Unless the specific test arrangement is otherwise specified for a specific application, by the user, manufacturer or test authority as appropriate, the test container is as described in the following manner.

B.1.2 Construction of the test box

Refer to Figures B.1 and B.2. The interference suppression elements and filters, which have no screens and coaxial plugs of their own at the input and output, are placed for measurements in a test box the dimensions of which depend on those of the device under test (e.g. on its length l , height h , and width w). A container is a box that is supplied with a metal cover and is made of non-magnetic metal. A box which is intended for measurement of feedthrough capacitors and filters with flange mounting should have an internal partition with a hole for the mounting of capacitors and filters. Reliable electrical contact should exist between separate parts of the container. Separate parts of the housing are joined by soldering or continuous-seam welding; the lid and the housing are joined together by a spring-contact device or by a screw joint, and particular care should be taken to ensure the lid makes good contact with the flange along its full length when measuring coaxial feedthrough capacitors and filters. Coaxial jacks are mounted on two walls of the box.



NOTE 'A' is the overall height of the test box. See B.1.3 for recommended values of dimensions B, C, and D.

Figure B.1 – Design of typical test box for general-purpose filters

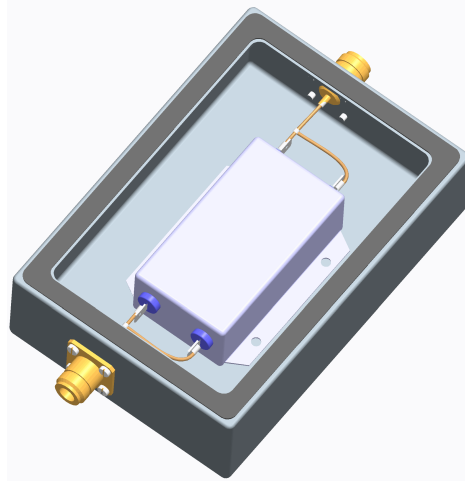


Figure B.2 – 3D view of typical test box for general purpose filters

B.1.3 Mounting of the EMC filtering devices in the test boxes

The filters under test are mounted in the test box as intended for their normal use, e.g. fixed by screwing to the bottom of the box or mounted RF tightly into the inner shielding wall of the box in case of a feedthrough filter. The connecting wires are as short as possible to avoid any error by coupling and parasitic inductances and capacitances.

The box is chosen to be only slightly bigger than the filter under test; recommended values are $B = 5$ cm, $C = 5$ cm, $D = 5$ cm.

B.2 Feedthrough components

Feedthrough capacitors and feedthrough filters with flange mounting are mounted as shown in Figures B.3 and B.4.

If the ground connection is made through a wire, this wire is used in the length specified by the manufacturer and arranged in a straight line. Other kinds of terminals are connected to the metalwork by a wire as short as possible for use in practice.

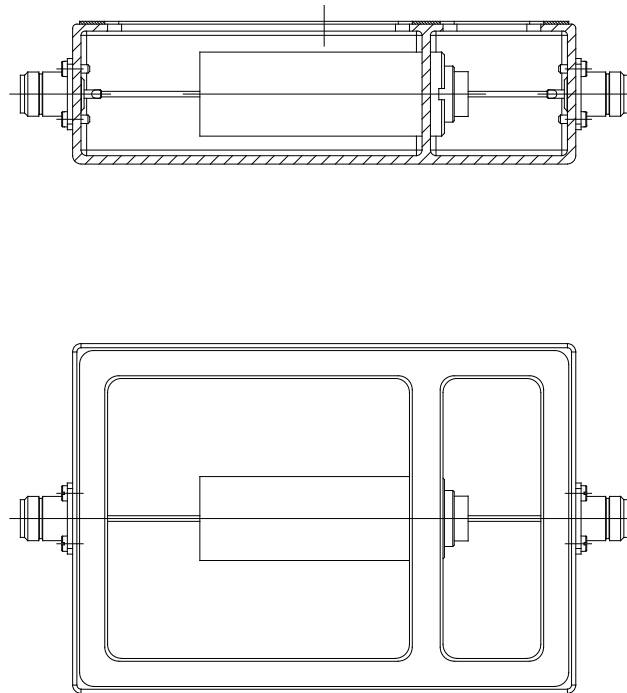


Figure B.3 – Design of typical test box for feedthrough components

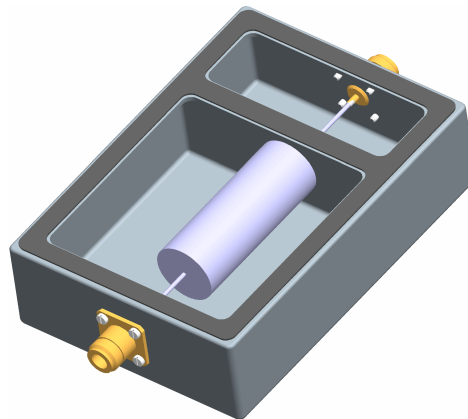


Figure B.4 – 3D view of typical test box for feedthrough components

B.3 Single components

B.3.1 Capacitors

Capacitors with two wires are mounted as intended by the manufacturer (e.g. on a PCB). If components have wire connections, care should be taken that, unless otherwise specified the length of each wire is 6 mm for bare wires or 50 mm for insulated wires.

B.3.2 Inductors

The mounting and connections of inductors are similar to filters as described in B.1. Care should be taken to have sufficient distance between the metal parts of the test box and the

inductor to avoid magnetic coupling. The inductors are connected to the terminals of the test box as intended by the manufacturer (e.g. by mounting on a PCB). The connecting wires are straight and as short as possible.

B.3.3 Interference-suppression resistors, cables and other devices used for suppression of interference from ignition systems of vehicles

The mounting, connecting and making of measurements should comply with the requirements of CISPR 12 [1].

Annex C (informative)

Insertion loss test methods with non-50 Ω systems

C.1 0,1 Ω / 100 Ω system

C.1.1 General

These systems are used for power line filters.

With this method, instead of measuring the insertion loss in a 50 Ω /50 Ω system (75 Ω /75 Ω), the filter is measured in a 0,1 Ω /100 Ω (and its reverse) system. In the frequency range of 1 kHz to 300 kHz, two wideband transformers are required (1,4:1 and 22:1 for a 50 Ω system). See Figure C.1.

NOTE For some filters, e.g. high-permeability ferrites, a 0,1 Ω /1,0 M Ω system provides the worst-case insertion loss.

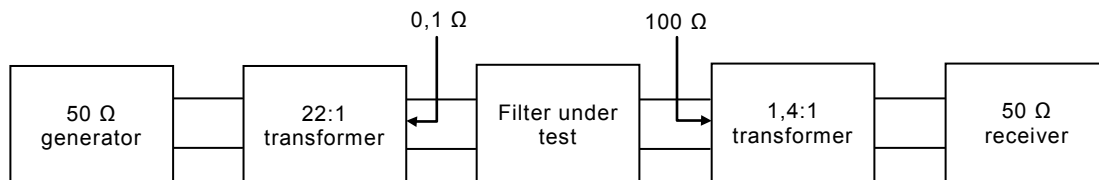


Figure C.1 – Test circuit

C.1.2 Theory of the method

With this method of measurement, the objective is to determine that in actual operation, with uncertain interface impedances, the filter:

- a) in the specified stop band has a good and reasonably predictable insertion loss characteristic, and
- b) in the pass band, does not exhibit unacceptable ringing.

The method takes into account boundary conditions representing actual circuits in terms of impedances established empirically from statistical data (sources and loads).

From theoretical analysis of mismatched filters, three distinct problem areas can be delineated:

- 1) Ringing in the pass band and transition band caused by two different mechanisms of different significance:
 - i) interfacial resonances (the filter resonates with the generator and/or load impedances corresponding to image parameter terminations). Fortunately, in actual circuits, such resonances are highly damped because of the low Q of the equivalent circuit. (An exception occurs in the common mode, but this can easily be overcome.)
 - ii) pronounced ringing that can be attributed to the eigen-resonances of the filter. Critical eigen-resonances can occur if, and only if, one interface impedance is much higher and the other much lower than the characteristic impedance of the filter. Then, the high Q of the filter itself is dominant. This mechanism can lead to insertion gain (negative insertion loss) of up to 30 dB. This phenomenon shows up in a 0,1 Ω /100 Ω (and reverse) measuring system. It can be eliminated by proper filter design.

NOTE Eigen-resonances occur for any combination of effectively 0 Ω or ∞ Ω terminations.

- 2) Poor performance in the lower part of the stop band. Generally, for low-pass filters such as power line filters, the effects of impedance mismatch are most severe at frequencies in the lowest part of the stop band. Here the 0,1 Ω /100 Ω (and reverse) method will identify any filter that deviates strongly from the performance expected from the results of measurements in a 50- Ω system. In this context it should be mentioned that multiple section filters ("partitioned" filters) are not only much better under strong mismatch than simple filters, but also much smaller and economical (for details, see [7]).
- 3) Method of measurement. Tests are made with the circuit shown in Figure C.1.

In addition, tests are made with the transformers interchanged and reversed. The transformers are wide-band (ferrite) and cover the frequency range of 1 kHz to 300 kHz. For 75 Ω systems, the transformer ratios are 27:1 and 1,15:1.

It should be noted that where equipment with adequate sensitivity is available, it may be possible to use test circuits providing the required resistance terminations without using transformers.

For a satisfactory filter, over the frequency range of 1 kHz to 100 kHz, the maximum insertion gain at any frequency should be less than 10 dB. Over the frequency range of the stop band, the insertion loss should not deviate more than 10 dB from the specified value.

Annex D (informative)

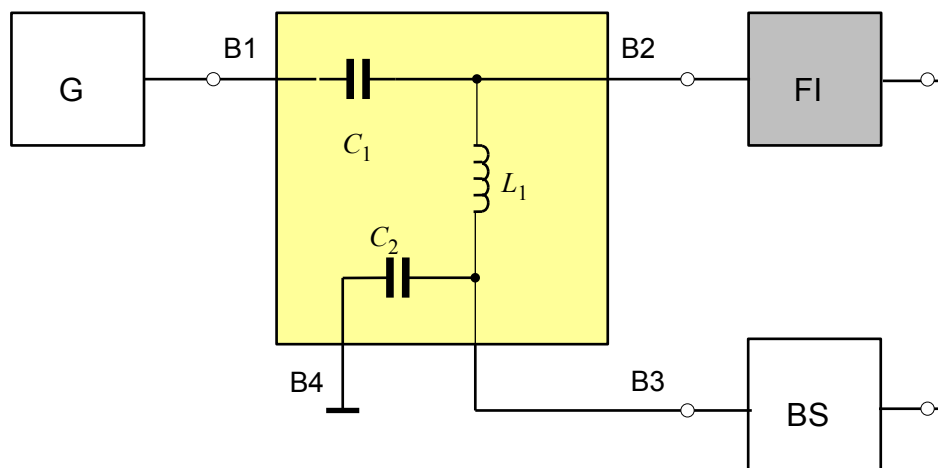
Realization of the buffer-network for insertion loss measurement

D.1 General

The buffer-network is needed for measurements under bias conditions to decouple the bias current source from the test set-up (generator, receiver and device under test).

D.2 Layout for a typical buffer-network

The layout for a typical buffer-network is shown in Figure D.1.



Key

G	signal generator
FI	EMC filtering device (DUT)
BS	bias current source
L_1	decoupling inductor
C_1	coupling capacitor for RF signal
C_2	decoupling capacitor for bias current
B1	terminal for connection of signal generator/receiver
B2	terminal for connection of the DUT
B3	terminal for connection of the bias current source
B4	terminal for connection to reference potential

Figure D.1 – Example of connecting buffer-networks for test with bias

The capacitor C_1 should couple the RF signal into the measurement circuit and decouple the RF signal generator from the bias circuit. It should have low impedance over the regarded frequency range compared to the impedance of the RF signal source and the impedance of the device under test, seen from the terminal B2, where the lower value has to be considered.

The inductor L_1 should decouple the bias current source from the RF measurement circuit. It should have high impedance over the regarded frequency range compared to the impedance of the RF signal source and the impedance of the device under test seen from the terminal B2,

where the higher value has to be considered. The inductor should not go into saturation by the maximum bias current to be applied to the device under test.

The capacitor C_2 together with L_1 should protect the bias current source from the RF signal. It should have low impedance over the regarded frequency range compared to the RF impedance of the bias current source. If possible, a feedthrough type should be utilized.

The components C_1 , C_2 and L_1 should have their self-resonance frequency outside the regarded frequency range and should be connected regarding the principles of RF compliant layout.

Before testing the attenuation of the biased device under test, it should be ascertained by a preliminary test made without current (unbiased device under test) that the tests in the frequency range considered are not influenced by the presence of the buffer-networks and of the bias current source.

D.3 Example for a buffer-network (0,1 MHz to 30 MHz)

Table D.1 contains recommendations for a buffer-network for use in the frequency range from 0,1 MHz to 30 MHz.

Table D.1 – Specifications of the elements of buffer-networks

Buffer-network for the range from 0,1 MHz to 30 MHz		
Element	Type	Value
C_1	Low-inductivity capacitor	100 nF
C_2	Feedthrough capacitor or low-inductivity capacitor	1 μ F
L	I-core choke	10 mH

These L and C values are considered only a guideline. It may be necessary to adapt them for the measurement of a certain device under test, e.g. in case of a filter with a very high insertion loss to prevent any influence to the measurement result.

Annex E (informative)

Insertion loss measurement – General discussion

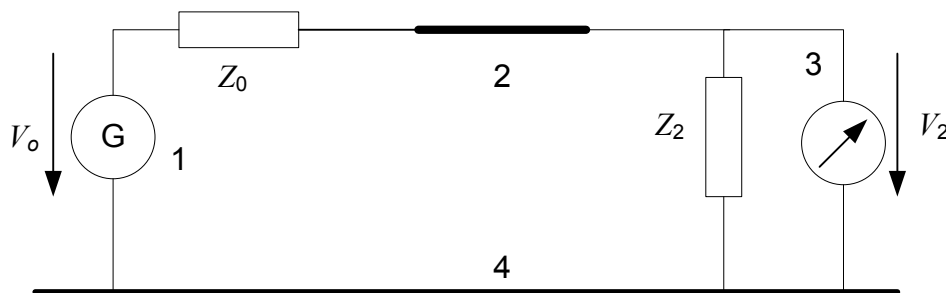
E.1 Theory of insertion loss measurement

E.1.1 General

Insertion loss measurement is a standardized method to determine the suppression of RF disturbances by a filter or any suppression circuit.

First a reference measurement is performed with a short connection between signal generator and receiver and the voltage V_{20} is measured across the termination Z_2 . See Figure E.1.

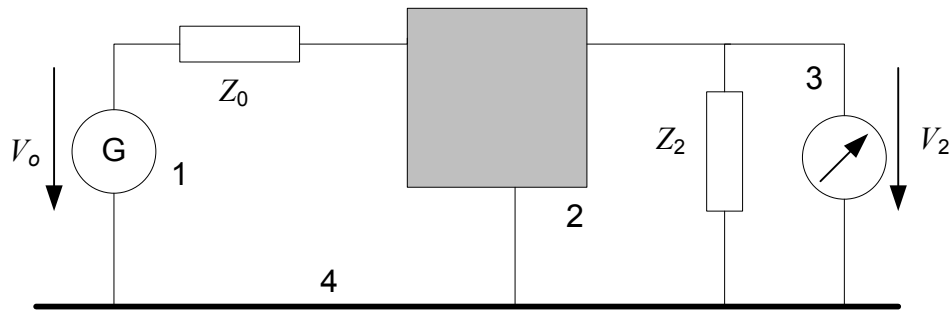
Then the filter is inserted into the test circuit (see Figure E.2) and a second measurement is performed to measure the voltage V_2 across the termination Z_2 .



Key

1	signal generator
2	short circuit
3	measuring receiver
4	reference potential (metallic ground plane)
V_o	open circuit generator voltage
V_2	output voltage
Z_0	generator impedance
Z_2	receiver impedance

**Figure E.1 – Test circuit for insertion loss measurement, reference measurement
(filter replaced by a short circuit)**



Key

- 1 signal generator
- 2 EMC filtering device under test
- 3 measuring receiver
- 4 reference potential (metallic ground plane)
- V_0 open circuit generator voltage
- V_2 output voltage
- Z_0 generator impedance
- Z_2 receiver impedance

Figure E.2 – Test circuit for insertion loss measurement, measurement of filter under test

E.1.2 Definition

The insertion loss is defined in dB by the following formula:

$$a_e = 20 \log \frac{V_{20}}{V_2} = 20 \log \frac{V_0}{2V_2} \quad , \quad (E.1)$$

where

$$Z_0 = Z_2 = 50 \ \Omega \ , \text{ and thus } V_2 = \frac{V_0}{2} \ .$$

E.2 Insertion loss measurement

E.2.1 Original test method

As defined in former standards, the insertion loss measurement is performed by taking a measurement using the test circuit shown in Figure E.1 to get the reference voltage and then a measurement after insertion of the filter shown in Figure E.2, either a complete scan or even for each test frequency separately. The results of both measurements are transformed into insertion loss values by the above formula.

E.2.2 Simplified test method

With modern signal generators and receivers usually only one measurement is performed of the voltage V_2 across the termination Z_2 with the filter inserted. The reference measurement may be omitted if evaluation determines that the signal generator delivers constant voltage V_0 even when a filter under test with a low impedance is connected (e.g. caused by high capacitor values in the filter).

If the signal generator is stable enough, the “reference voltage” always is the half value of V_0 and thus also a constant value that is put into the above formula. This allows faster and less costly measurements that may also be fully automated, which is a precondition for factory tests.

Annex F (informative)

Set-up for impedance measurement

F.1 General

This Annex describes an example of impedance measurement using impedance-measuring equipment.

F.2 Example of the set-up

F.2.1 Two-terminal devices with leads

A four-terminal impedance measuring equipment is used in measurement. Figures F.1 and F.2 show the measurement set-up and the four-terminal test fixture for the leaded device, respectively. This configuration enables measurement up to a maximum frequency of about 100 MHz.

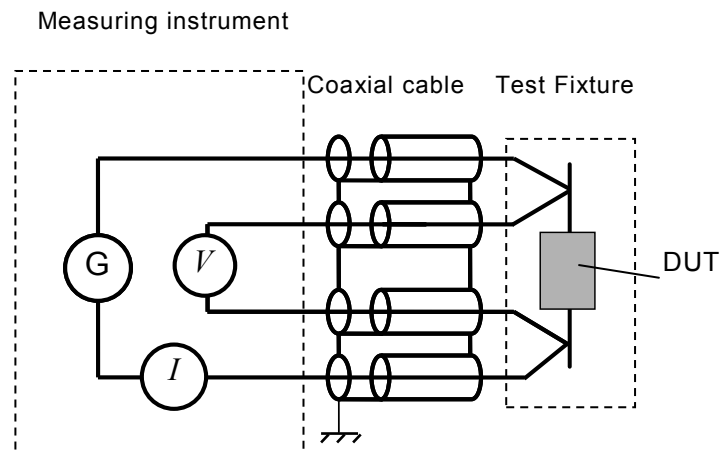
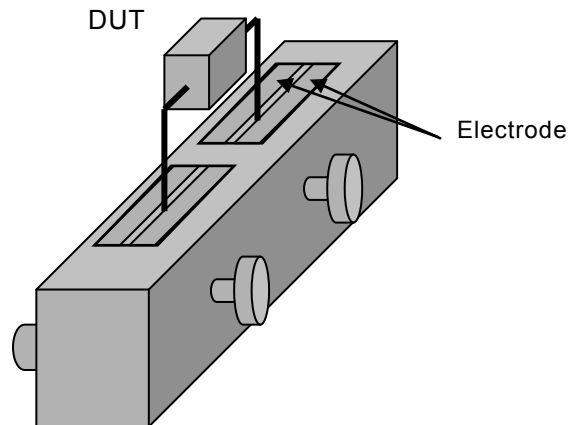


Figure F.1 – Measurement set-up for a leaded device (DUT)



NOTE A large DUT with leads is measured in the frequency range up to around 100 MHz. The DUT is fixed in place using electrode plates by turning the screws. The electrodes are wired to the connectors on the rear side.

Figure F.2 – Four-terminal test fixture for a leaded device (DUT)

F.2.2 Surface-mount device (SMD)

F.2.2.1 Measurement set-up

An impedance-measuring instrument is used for measurement as shown in Figure F.3.

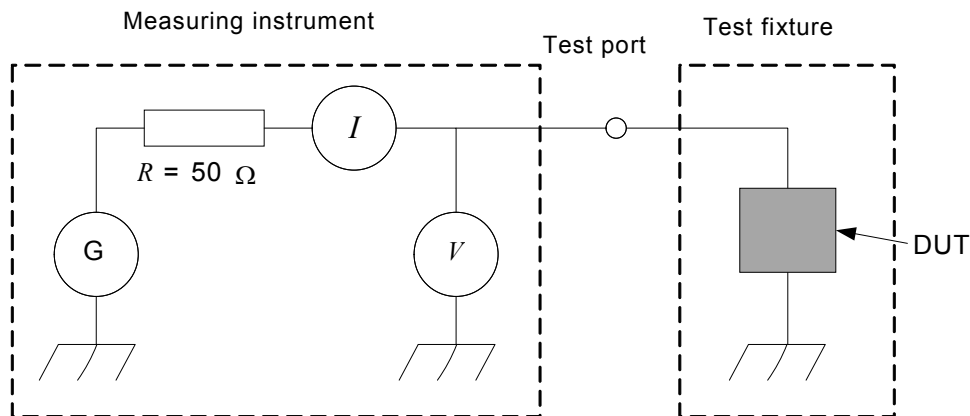


Figure F.3 – Measurement set-up for an SMD

F.2.2.2 Clamp-type measurement configuration

Figure F.4 shows the clamp-type test fixture of the two-terminal device. This configuration enables measurement up to a maximum frequency of about 2 GHz.

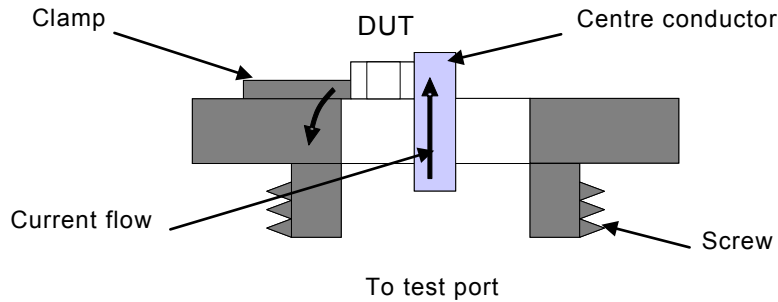


Figure F.4 – Clamp-type test fixture

F.2.2.3 Measurement using a coaxial test fixture

Impedance measuring equipment is used for measurement. Figure F.5 shows a coaxial test fixture for the two-terminal device. This configuration enables measurement up to a maximum frequency of about 3 GHz.

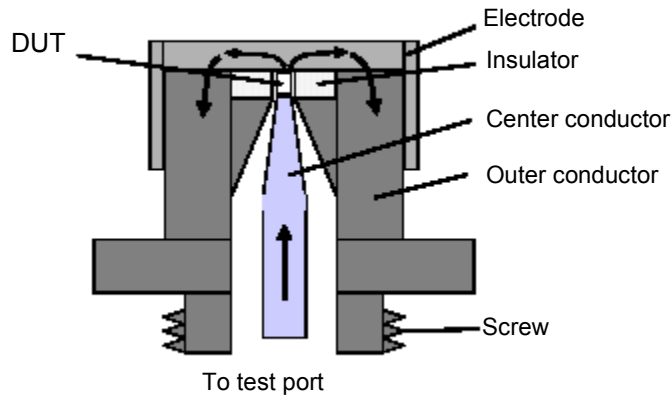


Figure F.5 – Coaxial test fixture for an SMD

F.2.2.4 Measurement using a press-type test fixture

Impedance measuring equipment is used for measurement. Figure F.6 shows a press-type test fixture for the two-terminal device. This configuration enables measurement up to a maximum frequency of about 3 GHz.

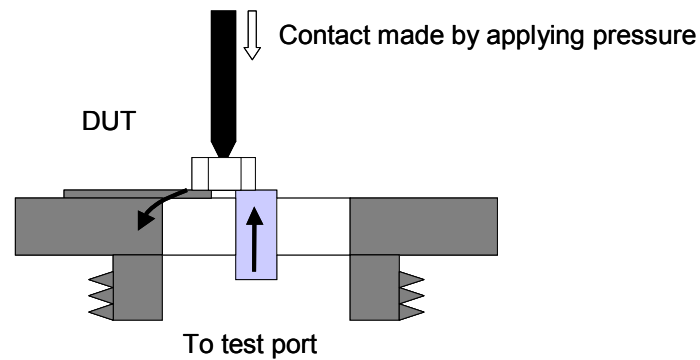
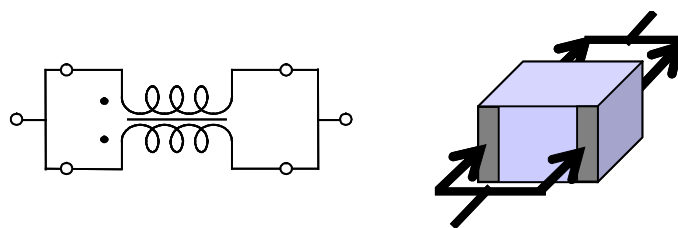


Figure F.6 – Press-type test fixture for an SMD

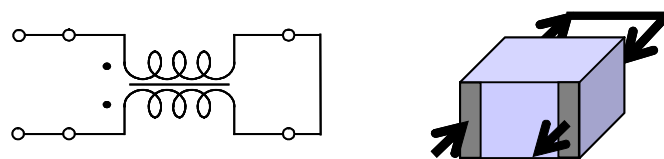
F.2.3 Common-mode choke coil (CMCC)

F.2.3.1 Definition

For a four-terminal CMCC, impedances measured with connections shown in Figure F.7 a) and b) are called the common-mode impedance (Z_c), and the differential-mode impedance (Z_d), respectively.



a) Common-mode impedance, Z_c



b) Differential-mode impedance, Z_d

Figure F.7 – Connection for CMCC measurement

F.2.3.2 Measuring instrument and test fixture

Impedance measuring equipment is used to measure the impedance between the two connected terminals for each mode. Figure F.8 shows the measurement set-up in which an SMD is tested. This configuration enables measurement up to a maximum frequency of around 3 GHz.

When a leaded DUT is tested, the test fixture used may be similar to that shown in Figure F.2.

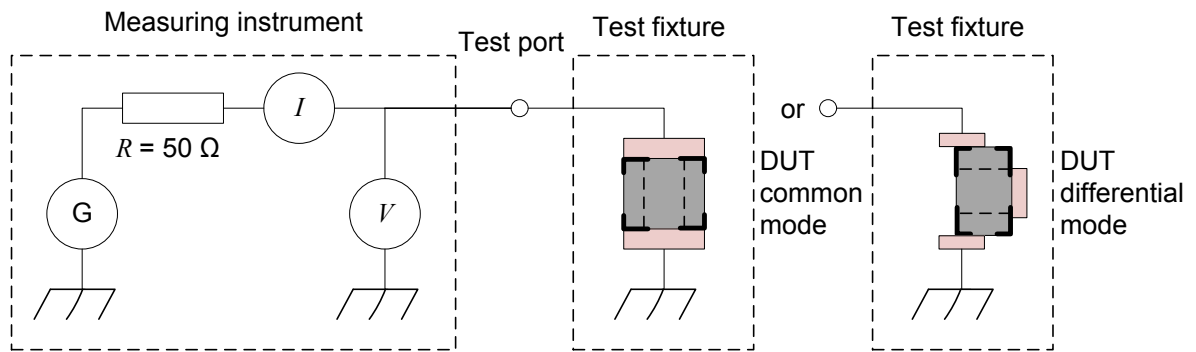


Figure F.8 – Test fixture and measurement set-up for an SMD common-mode choke coil

Annex G (informative)

S-parameter measurement of common-mode choke coils

G.1 General

Figure G.1 shows a schematic circuit of the common-mode choke coil (CMCC). The characteristics in common and differential modes can be measured by either direct measurement (see G.2 and G.3) or indirect measurement using four-port S -parameters (see G.4).

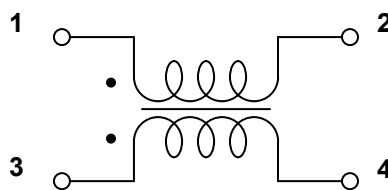


Figure G.1 – Common-mode choke coil

G.2 Set-up for measurements of common-mode characteristics

G.2.1 General

The input/output terminals of a CMCC are connected as shown in Figure G.2 to form a two-port device.

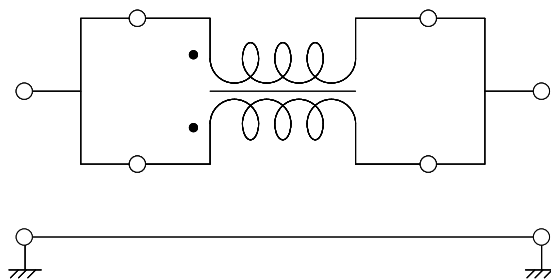


Figure G.2 – Set-up for measurements of common-mode characteristics

G.2.2 Test fixture for SMD

An example of a test fixture is shown in Figure G.3.

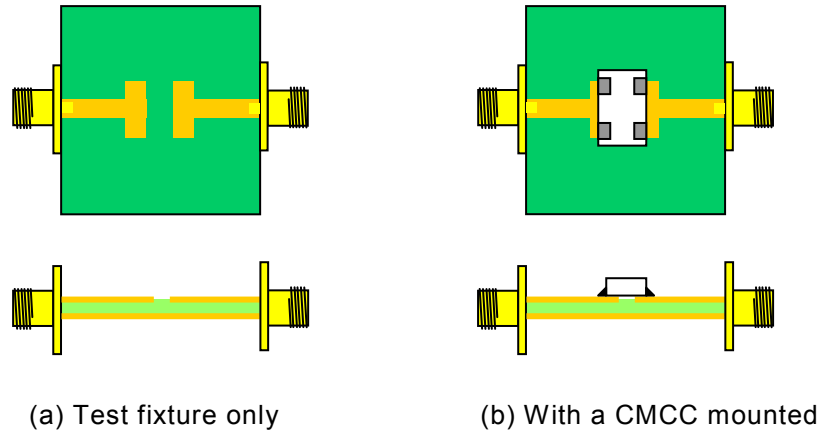


Figure G.3 – Test fixture for an SMD

G.2.3 Test fixture for a leaded device

An example of a test fixture is shown in Figure G.4.

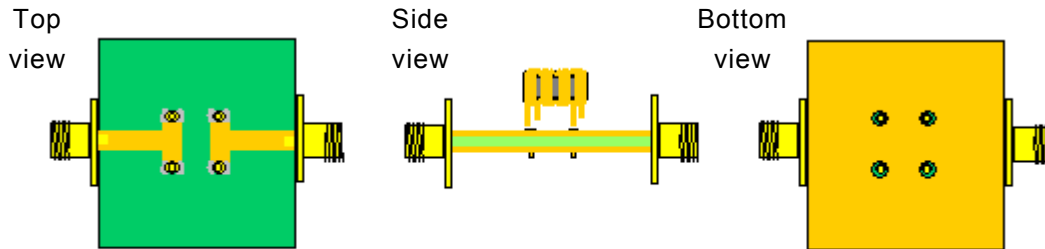


Figure G.4 – Test fixture for a leaded device

G.3 Set-up for measurements of differential-mode characteristics

G.3.1 General

One of the input/output terminals of a CMCC is grounded as shown in Figure G.5 to form a two-port device.

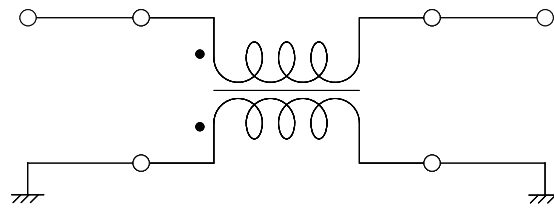


Figure G.5 – Set-up for measurements of differential-mode characteristics

G.3.2 Test fixture for SMD

An example of a test fixture is shown in Figure G.6.

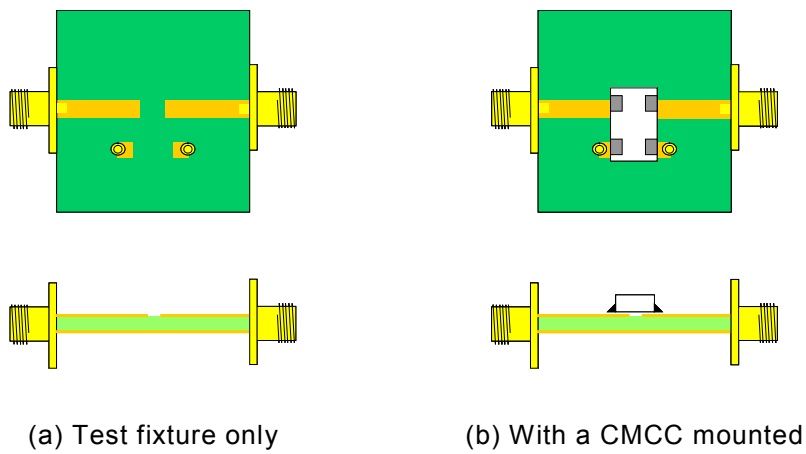
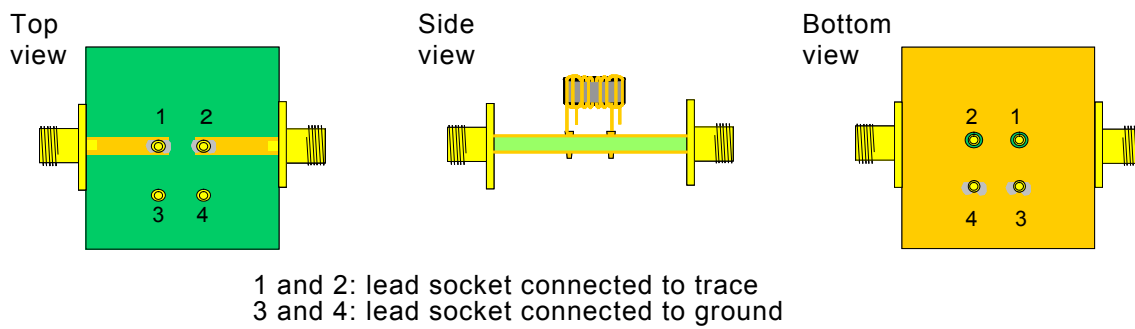


Figure G.6 – Test fixture for an SMD

G.3.3 Test fixture for a leaded device

An example of a test fixture is shown in Figure G.7.



1 and 2: lead socket connected to trace
3 and 4: lead socket connected to ground

Figure G.7 – Test fixture for a leaded device

G.4 Measurement in terms of four-port *S*-parameters

G.4.1 General

Since there are four terminals in a CMCC, the characteristics can be evaluated by using the four-port *S*-parameters as shown in Figure G.8.

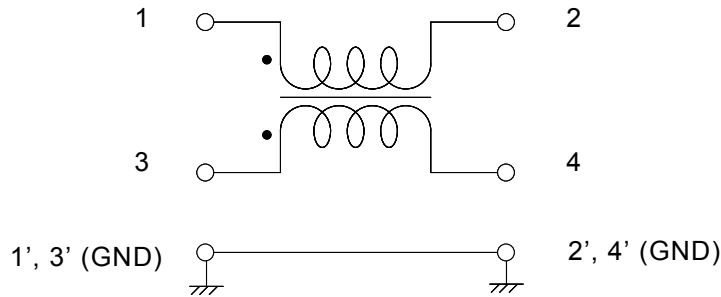


Figure G.8 – Set-up for measurement of four-port *S*-parameters

G.4.2 Test fixture for SMD

An example of a test fixture is shown in Figure G.9.

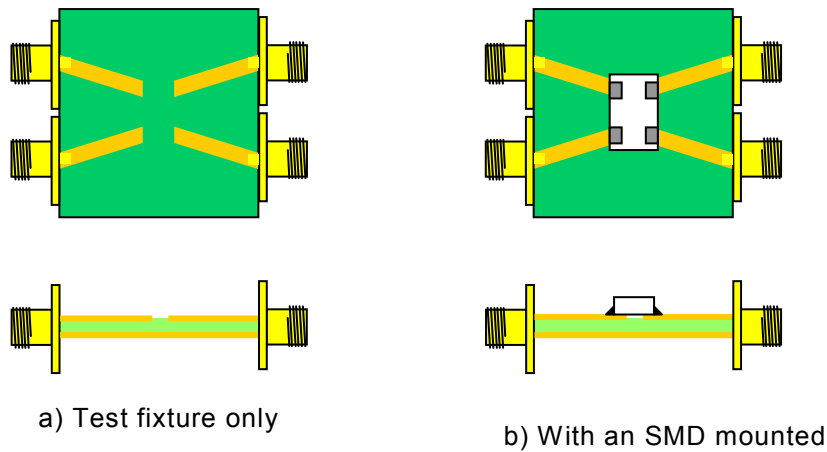


Figure G.9 – Test fixture for the four-port *S*-parameters of an SMD

G.4.3 Test fixture for a leaded device

An example of a test fixture is shown in Figure G.10.

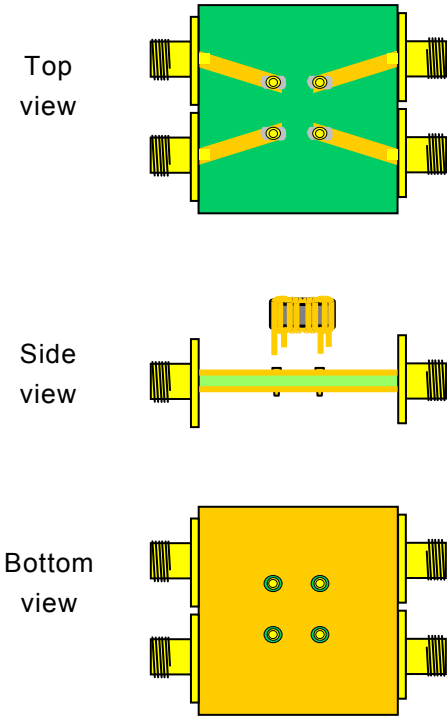


Figure G.10 – Test fixture for the four-port *S*-parameters of a leaded device

Annex H (informative)

Measurement set-up for *S*-parameters of a DUT without wire leads

H.1 General

Measurement method described in this annex can be applied for DUT without wire leads. For example, ferrite core and ferrite beads to suppress common-mode current on cables.

H.2 Measurement method

S-parameters of a DUT without leads, such as ferrite cores or ferrite beads, are measured by using a VNA with a test fixture as shown in Figure H.1. A conducting wire above a ground plane is inserted into the hole of the DUT using a spacer. The spacer should be of a material having a low permittivity, e.g. foamed polystyrene. Care should be taken for centring the wire in the hole. The wire in the hole should be placed in parallel with the ground plane.

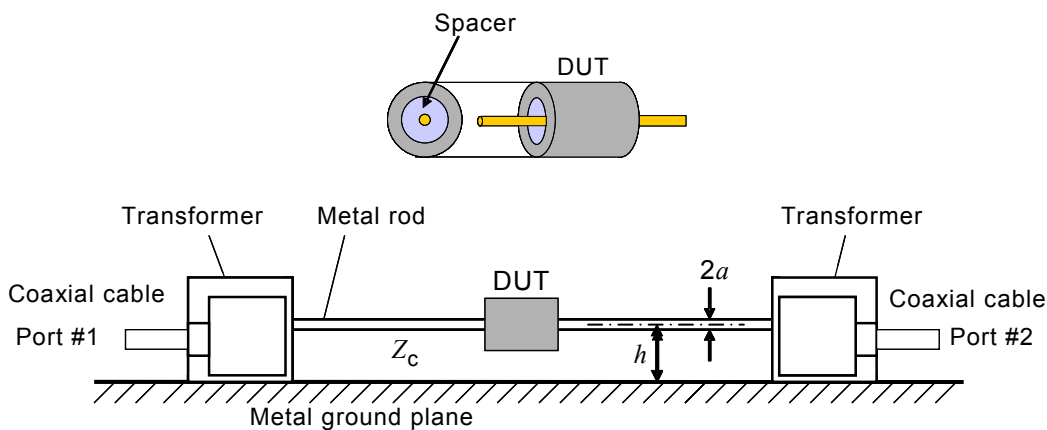


Figure H.1 – *S*-parameters measurement of a DUT without leads

The characteristic impedance, Z_c , of the transmission line is defined by

$$Z_c = 60 \cosh^{-1} \left(\frac{h}{a} \right) \tag{H.1}$$

in Ω , where h and a denote height and radius of the metal rod. $Z_c = 270 \Omega$ is preferred. See [8] and 4.9.2.1 of CISPR 16-3:2010 [2].

H.3 Calibration

To remove the effects of the transformer, a calibration should be performed. The TRL calibration method [6] should be used in this fixture. As shown in Figure H.2, two metal rods with different lengths are required for Thru and Line measurements in the TRL calibration procedure.

NOTE To check the limitation of measurable insertion loss of the test fixture, the S_{21} between transformers should be measured with the Reflect position as shown in Figure H.2.

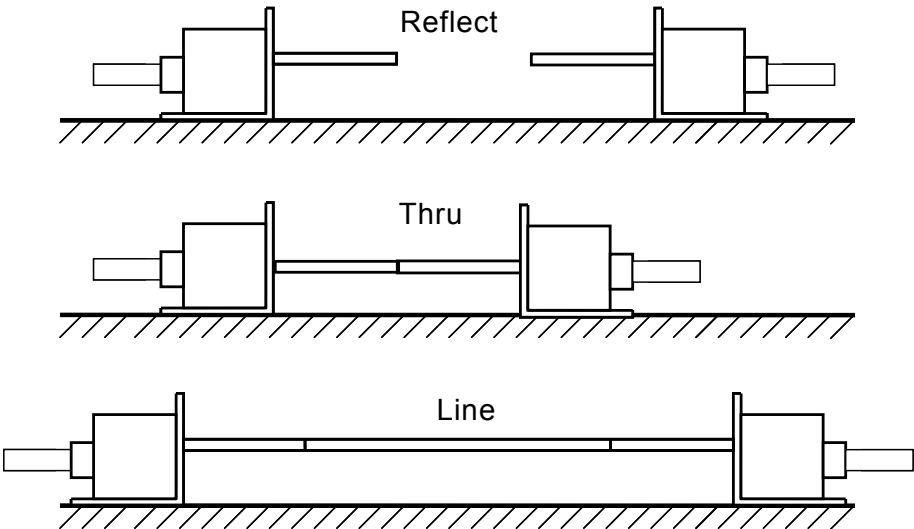


Figure H.2 – Procedure for TRL calibration

Bibliography

- [1] CISPR 12:2007, *Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers*
 - [2] CISPR 16-3:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*
 - [3] CISPR/TR 16-4-1, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainties in standardized EMC tests*
 - [4] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
 - [5] BOCKELMAN, D.E. and EISENSTADT, W.R., Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, July 1995, vol. 43, No. 7, p. 1530-1539
 - [6] ENGEN, G.F. and HOER, C.A. Thru-Reflect-Line: An Improved Techniques for Calibrating the Dual Six-Port Automatic Network Analyzer, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, December 1979, vol. MTT-27, No.12, p. 987-993
 - [7] SCHLICKE, H. M., Assuredly Effective Filters, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, August 1976, vol. EMC-18, No. 3, p. 106-110
 - [8] URABE, J., FUJII, K. et al., A method for measuring the characteristics of an EMI suppression ferrite core, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, November 2006, vol. 48, No. 4, p. 774-780
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	72
INTRODUCTION.....	74
1 Domaine d'application	75
2 Références normatives.....	75
3 Termes, définitions et abréviations	75
3.1 Termes et définitions	75
3.2 Abréviations	78
4 Classification des dispositifs de filtrage CEM.....	78
4.1 Affaiblissement d'insertion.....	80
4.1.1 Calcul de l'affaiblissement d'insertion	80
4.1.2 Mode (commun) asymétrique.....	80
4.1.3 Mode (différentiel) symétrique	80
4.1.4 Mode non symétrique	80
4.2 Impédance	81
4.3 Paramètres <i>S</i>	81
4.3.1 Généralités.....	81
4.3.2 Paramètres <i>S</i> d'un deux accès	81
4.3.3 Paramètres <i>S</i> d'un dispositif à quatre accès.....	82
5 Mesure d'affaiblissement d'insertion	83
5.1 Généralités.....	83
5.2 Installation de mesure	84
5.2.1 Généralités.....	84
5.2.2 Matériel d'essai	84
5.2.3 Circuit d'essai (de mode commun) asymétrique	85
5.2.4 Circuit d'essai (de mode différentiel) symétrique.....	86
5.2.5 Circuit d'essai non symétrique	86
5.3 Méthodes de mesure (mode opératoire)	87
5.3.1 Généralités.....	87
5.3.2 Mesure sans courant de polarisation	88
5.3.3 Mesure avec courant de polarisation	88
5.4 Etalonnage et vérification	89
5.4.1 Généralités.....	89
5.4.2 Validation de l'installation d'essai sans courant de polarisation	89
5.4.3 Validation de l'installation d'essai avec courant de polarisation	90
5.5 Incertitude	92
6 Mesure de l'impédance.....	92
6.1 Généralités.....	92
6.2 Méthode directe	92
6.2.1 Installation et méthode de mesure	92
6.2.2 Etalonnages de l'installation d'essai	93
6.2.3 Incertitude de mesure.....	93
6.3 Méthode indirecte.....	94
6.3.1 Installation et méthode de mesure	94
6.3.2 Etalonnage de l'installation d'essai.....	96
6.3.3 Incertitude de mesure.....	96
7 Mesure des paramètres <i>S</i>	96

7.1	Installation et méthode de mesure	96
7.1.1	Généralités	96
7.1.2	Montage d'essai	97
7.2	Etalonnage du montage d'essai	102
7.3	Incertitudes de mesure	102
8	Présentation des résultats	103
8.1	Généralités	103
8.2	Affaiblissement d'insertion	103
8.3	Impédance	103
8.4	Paramètres S	103
Annexe A (normative) Estimation de l'incertitude pour la mesure des caractéristiques des dispositifs de filtrage CEM		104
Annexe B (informative) Exemples de boîtes d'essai pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion		109
Annexe C (informative) Méthodes d'essai de l'affaiblissement d'insertion avec des systèmes autres que des systèmes à 50 Ω		113
Annexe D (informative) Constitution du réseau tampon pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion		115
Annexe E (informative) Mesure de l'affaiblissement d'insertion – Discussion générale		117
Annexe F (informative) Installation de mesure de l'impédance		120
Annexe G (informative) Mesure des paramètres S des bobines d'arrêt de mode commun		125
Annexe H (informative) Installation de mesure pour les paramètres S d'un dispositif en essai sans fils conducteurs		130
Bibliographie		132
Figure 1 – Installation de mesure pour les paramètres S d'un dispositif à deux accès		81
Figure 2 – Installation de mesure pour les paramètres S d'un dispositif à trois accès		82
Figure 3 – Installation de mesure pour les paramètres S à quatre accès		82
Figure 4 – Circuit d'essai pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion (exemple: filtre à 4 lignes)		84
Figure 5 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion asymétrique (exemple: filtre à 4 lignes)		85
Figure 6 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion symétrique (exemple: filtre à 4 lignes)		86
Figure 7 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion non symétrique (exemple: filtre à 4 lignes)		87
Figure 8 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion sans courant de polarisation		88
Figure 9 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion avec courant de polarisation		88
Figure 10 – Circuit d'essai pour la vérification du circuit de mesure sans courant de polarisation		90
Figure 11 – Circuit d'essai pour la vérification du circuit de mesure avec courant de polarisation		91
Figure 12 – Mesure d'un port d'un bi-accès		94
Figure 13 – Mesures des paramètres S pour l'évaluation de l'impédance d'un dispositif dans un montage en série		94

Figure 14 – Mesures des paramètres S pour l'évaluation de l'impédance d'un dispositif dans un montage en parallèle	95
Figure 15 – Installation de mesure des paramètres S d'un bi-accès.....	96
Figure 16 – Autre système spécifique de mesure de l'affaiblissement d'insertion d'un dispositif en essai (par la combinaison d'un générateur de recherche et d'un récepteur de mesure)	97
Figure 17 – Expressions symboliques	98
Figure 18 – Montage d'essai pour un bi-accès (montage en série).....	98
Figure 19 – Montage d'essai pour un bi-accès (montage en parallèle)	99
Figure 20 – Montage d'essai pour un filtre à trois bornes	99
Figure 21 – Montage d'essai pour un bi-accès avec conducteurs	100
Figure 22 – Montage d'essai pour un filtre à trois bornes avec conducteurs	101
Figure 23 – Montage d'essai pour un dispositif à noyau	101
Figure 24 – Exemple d'étalons applicables à l'étalonnage TRL	102
Figure B.1 – Conception d'une boîte d'essai typique pour des filtres polyvalents	110
Figure B.2 – Vue tridimensionnelle d'une boîte d'essai typique pour des filtres polyvalents	110
Figure B.3 – Conception d'une boîte d'essai typique pour des éléments traversant.....	111
Figure B.4 – Vue tridimensionnelle d'une boîte d'essai typique pour des éléments traversant	111
Figure C.1 – Circuit d'essai.....	113
Figure D.1 – Exemple de connexion de réseaux tampons pour un essai avec courant de polarisation	115
Figure E.1 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion, mesure de référence (court-circuit se substituant au filtre)	117
Figure E.2 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion, mesure du filtre en essai	118
Figure F.1 – Installation de mesure pour un dispositif à conducteurs (DUT).....	120
Figure F.2 – Montage d'essai à quatre bornes pour un dispositif à conducteurs (DUT).....	121
Figure F.3 – Installation de mesure pour un CMS	121
Figure F.4 – Montage d'essai à bride	122
Figure F.5 – Montage d'essai coaxial pour un CMS	122
Figure F.6 – Montage d'essai à poussoir pour un CMS	123
Figure F.7 – Connexion pour la mesure d'une CMCC.....	123
Figure F.8 – Montage d'essai et installation de mesure pour une bobine d'arrêt de mode commun de CMS	124
Figure G.1 – Bobine d'arrêt de mode commun	125
Figure G.2 – Installation de mesure des caractéristiques de mode commun.....	125
Figure G.3 – Montage d'essai d'un CMS	126
Figure G.4 – Montage d'essai pour un dispositif à conducteurs	126
Figure G.5 – Installation de mesure des caractéristiques de mode différentiel	127
Figure G.6 – Montage d'essai pour un CMS.....	127
Figure G.7 – Montage d'essai pour un dispositif à conducteurs	127
Figure G.8 – Installation de mesure des paramètres S à quatre accès.....	128
Figure G.9 – Montage d'essai pour les paramètres S à quatre accès d'un CMS.....	128

Figure G.10 – Montage d’essai pour les paramètres S à quatre accès d’un dispositif à conducteurs	129
Figure H.1 – Mesure des paramètres S d’un dispositif en essai sans conducteurs	130
Figure H.2 – Méthode d’étalonnage TRL	131
Tableau 1 – Exemples de dispositifs de filtrage CEM	79
Tableau 2 – Conditions et valeurs cibles pour la validation de l’installation d’essai sans courant de polarisation	90
Tableau 3 – Conditions et valeurs cibles pour la validation de l’installation d’essai avec courant de polarisation	92
Tableau A.1 – Incertitude de mesure de l’affaiblissement d’insertion (exemple)	106
Tableau A.2 – Incertitude de mesure de l’impédance (exemple).....	107
Tableau A.3 – Incertitudes de mesure du paramètre $ S_{21} $ et $ S_{12} $ (exemple).....	107
Tableau A.4 – Incertitudes de mesure du paramètre $ S_{11} $ et $ S_{22} $ (exemple).....	107
Tableau D.1 – Spécifications des éléments constitutifs des réseaux tampons	116

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES D'ANTIPARASITAGE DES DISPOSITIFS DE FILTRAGE CEM PASSIFS

AVANT-PROPOS

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

La norme internationale CISPR 17 a été préparée par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 1981, dont elle constitue une révision technique.

La présente édition inclut les modifications techniques significatives suivantes par rapport à l'édition précédente: ajout de nouvelles méthodes de mesure pour caractériser les dispositifs de filtrage CEM les plus complexes d'un point de vue technologique actuellement disponibles.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
CISPR/A/941/FDIS	CISPR/A/951/RVD

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

Les caractéristiques d'antiparasitage des filtres et éléments CEM utilisés pour la réduction des perturbations CEM, auxquels il est fait référence dans la présente norme en tant que dispositifs de filtrage CEM, sont fonction de nombreuses variables telles que l'impédance des circuits auxquels elles sont associées, la tension et le courant d'utilisation et la température ambiante. La présente norme spécifie des méthodes d'essai uniformes qui permettent de comparer les caractéristiques de filtrage et d'antiparasitage déterminées par les laboratoires d'essai ou précisées par les constructeurs.

La première édition du document CISPR 17 (1981) spécifiait les méthodes de mesure de l'affaiblissement d'insertion principalement pour les filtres réseau. Aujourd'hui, divers dispositifs électroniques comportent toutefois de nombreux types de filtres et d'éléments d'antiparasitage CEM complexes. Ces filtres doivent être caractérisés au moyen de méthodes de mesure normalisées. Cette seconde édition comporte les nouvelles méthodes de mesure de l'impédance et des paramètres S pour ce type de dispositifs EMI.

Par ailleurs, les méthodes de mesure de l'affaiblissement d'insertion suivantes, présentées dans la première édition, ont été supprimées du fait de leur abandon par le secteur industriel:

- méthode de mesure avec application d'une tension de polarisation pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion.
- méthode de mesure en conditions réelles, et
- méthodes du cas le plus défavorable.

MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES D'ANTIPARASITAGE DES DISPOSITIFS DE FILTRAGE CEM PASSIFS

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale spécifie les méthodes de mesure des caractéristiques d'antiparasitage des perturbations radioélectriques des dispositifs de filtrage CEM passifs utilisés dans les lignes électriques et de transmission de signaux et dans d'autres circuits.

Les méthodes définies peuvent également s'appliquer aux combinaisons de dispositifs de protection contre les surtensions et les dispositifs de filtrage CEM.

La méthode de mesure décrite couvre la gamme de fréquences comprise entre 9 kHz et plusieurs GHz, en fonction du dispositif et du circuit d'essai.

NOTE Les méthodes de mesure décrites dans la présente norme peuvent être appliquées jusqu'à une fréquence de 40 GHz.

La norme décrit des méthodes applicables aux essais en laboratoire (essais de type) et aux essais en usine. Des méthodes d'essai avec et sans conditions de polarisation sont définies.

Des méthodes de mesure sont fournies pour des conditions avec et sans polarisation. Les mesures effectuées dans des conditions de polarisation permettent de déterminer le comportement non linéaire potentiel des dispositifs de filtrage CEM, comme les effets de saturation exercés sur les inductances à noyaux magnétiques. Ces essais permettent de montrer la facilité d'emploi dans une application spécifique (telle que dans les cas de convertisseurs de fréquence qui produisent de grandes amplitudes de courant de choc de mode commun, et peuvent ainsi entraîner la saturation des inductances). Il n'est pas nécessaire d'effectuer des mesures dans des conditions de polarisation si le comportement non linéaire peut être déterminé par d'autres méthodes (par exemple, mesure séparée de la saturation des inductances utilisées).

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

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

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

3.1.1

courant de polarisation

courant d'alimentation d.c ou a.c traversant le ou les conducteurs du dispositif de filtrage CEM de l'appareil en essai

3.1.2**tension de polarisation**

tension d'alimentation d.c ou a.c appliquée entre des parties spécifiées du dispositif de filtrage CEM de l'appareil en essai

3.1.3**appareil en essai**

dispositif de filtrage CEM soumis à mesure, calibrage et essai selon cette norme

3.1.4**dispositif de filtrage CEM**

terme générique utilisé dans cette norme pour décrire tout type de circuit d'antiparasitage, qu'il s'agisse d'un élément discret ou d'un circuit complexe

3.1.5**filtre**

composition d'éléments discrets tels que des inductances et des condensateurs pouvant réduire les perturbations électromagnétiques

3.1.6**impédance**

Z

rapport d'un courant électrique I sur une tension c.a. V (à la fréquence f), qui peut être représenté par un nombre complexe exprimé sous la forme $Z = V/I$, indiquant l'opposition totale au passage d'un courant c.a., utilisé comme paramètre destiné à représenter les caractéristiques de bi-ports, tels que des inductances, condensateurs et résistances, ainsi que celles des dispositifs à quatre bornes tels que les bobines d'arrêt de mode commun

NOTE L'impédance comprend la résistance ohmique R et la réactance X , et est généralement représentée par la notation complexe $Z = R + jX$; elle est également représentée par les coordonnées polaires sous la forme $|Z| \exp(j\theta)$ (valeur absolue $|Z|$ et angle de phase θ); elle peut impliquer les performances d'un dispositif de filtrage CEM; Z est exprimée en Ω .

3.1.7**affaiblissement d'insertion**

pour un filtre relié à un système de transmission donné, rapport des tensions apparaissant dans le circuit immédiatement au-delà du point d'insertion, avant et après l'insertion du dispositif de filtrage CEM soumis à l'essai

NOTE L'affaiblissement d'insertion est exprimé en dB.

3.1.8**impédance du circuit d'essai**

impédance aux bornes du circuit d'essai, le filtre étant hors circuit

NOTE Pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion illustrée à la Figure 4, les impédances sont désignées Z_0 , Z_{11} , Z_{12} et Z_2 référencées par rapport à 50Ω ; dans des cas particuliers, les impédances peuvent prendre d'autres valeurs qui reflètent les conditions environnementales de certaines applications.

3.1.9**récepteur**

instrument sélectif ou non, tel qu'un voltmètre large-bande, voltmètre accordable, un analyseur de spectre ou la partie de réception d'un analyseur de réseau

NOTE Voir 5.2.2 pour les détails

3.1.10**impédance de référence**

impédance d'une ligne ou d'un accès au point de mesure ou d'évaluation de l'affaiblissement d'insertion ou des paramètres S . Cette impédance est spécifiée lorsque les résultats sont consignés dans un rapport

NOTE L'impédance de référence est habituellement fixée à 50 Ω.

3.1.11

potentiel de référence

point de référence de mesure de la tension auquel sont raccordés les connexions de masse du matériel d'essai et le filtre, normalement fourni par un plan métallique de dimension suffisante

3.1.12

élément discret

élément de base utilisé à des fins d'antiparasitage CEM, tel que des condensateurs ou des inductances

3.1.13

paramètre S

paramètre de diffusion

S_{ij}

élément de la matrice S qui exprime les coefficients de transmission et de réflexion d'un dispositif

NOTE 1 Chaque paramètre S , qui est le plus couramment utilisé, associe le champ électrique complexe (ou la tension) d'une onde réfléchie ou transmise à celui d'une onde incidente; les indices d'un paramètre S typique S_{ij} se rapportent aux ports de sortie et d'entrée liés par le paramètre S , qui peut varier avec la fréquence et s'appliquer à un ensemble spécifié de plans de référence d'entrée et de sortie; le paramètre S peut impliquer les performances d'un dispositif d'antiparasitage CEM.

EXEMPLE Les paramètres S d'un circuit bi-accès sont définis comme suit:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

où

S_{11} et S_{22} sont les coefficients de réflexion à l'accès 1 ou 2 d'un élément de circuit, respectivement, la borne de l'accès opposé comprenant une impédance de référence d'accès (par exemple, 50 Ω); et

S_{21} et S_{12} sont les coefficients de transmission qui représentent le rapport du signal transmis à l'accès 2 sur le signal incident émis par l'accès 1, et inversement, respectivement. La valeur de S_{21} constitue un bon indicateur d'antiparasitage pour un signal transitant par cet élément.

NOTE 2 Il est important d'évaluer la dégradation de la forme d'onde d'un signal, provoquée par la variation des paramètres S avec la fréquence.

3.1.14

circuits d'essais

3.1.14.1

circuit d'essai (de mode commun) asymétrique

circuit d'essai dans lequel toutes les lignes d'entrée d'un filtre soumis à essai sont reliées à un générateur de signaux, toutes les lignes de sortie étant reliées à un récepteur

NOTE Le circuit d'essai utilisé pour mesurer l'affaiblissement d'insertion (de mode commun) asymétrique d'un filtre est illustré à la Figure 5.

3.1.14.2

circuit d'essai (de mode différentiel) symétrique

circuit d'essai dans lequel la transmission du signal s'effectue par une paire de lignes d'entrée d'un filtre soumis à essai, la paire correspondante des lignes de sortie étant reliée à un récepteur, les autres lignes ne comportant aucune borne

NOTE Un exemple de circuit d'essai permettant de mesurer l'affaiblissement d'insertion (de mode différentiel) symétrique d'un filtre est illustré à la Figure 6; toutes les combinaisons de chaque paire de lignes du filtre sont mesurées, les bornes de terre ou les bornes PE (de protection) n'étant pas prises en considération.

3.1.14.3**circuit d'essai non symétrique**

circuit d'essai dans lequel la transmission du signal s'effectue par une ligne d'entrée d'un filtre soumis à essai, la ligne de sortie correspondante étant reliée à un récepteur; les bornes des autres lignes d'entrée et de sortie comprennent des impédances spécifiées

NOTE Un exemple de circuit d'essai permettant de mesurer l'affaiblissement d'insertion non symétrique d'un filtre est illustré à la Figure 7; chaque ligne du filtre est mesurée avec les bornes de toutes les lignes non utilisées réglées à un potentiel de référence avec Z_{11} ou Z_{12} .

3.2 Abréviations

CEM	Compatibilité électromagnétique
CMCC	Bobine de d'arrêt mode commun
CMS	Composant monté en surface
DUT	Dispositif en essai
e.m.f	Force électromotrice
EM	Electromagnétique
GND	Masse
HPF	Filtre passe-haut
L	Phase
N	Neutre
PE	Protection à la terre
RF	Radio fréquence
TRL ¹	Direct/Réflexion/Ligne
VNA	Analyseur de réseau vectoriel
VSWR ²	Rapport d'ondes stationnaires

4 Classification des dispositifs de filtrage CEM

Des exemples de dispositifs de filtrage CEM et leurs méthodes de mesure applicables sont présentés dans le Tableau 1.

¹ TRL = *Thru/Reflect/Line*.

² VSWR = *Voltage-standing wave ratio*.

Tableau 1 – Exemples de dispositifs de filtrage CEM

Type de filtre	Exemples		Symbole ou schéma de circuit	Paramètres à mesurer et méthode de mesure		
	Vue extérieure			Affaiblissement d'insertion	Impédance	Paramètre S
Noyaux en ferrite et pinces absorbantes				Article 5	Article 6	Article 7
Bobines de réactance, inductances et perles				Article 5	Article 6	Article 7
Condensateurs non traversants			Article 5	Article 6	Article 7	
Condensateurs traversants			Article 5	-	Article 7	
Condensateurs à trois bornes			Article 5	-	Article 7	
Bobines d'arrêt de mode commun			Article 7	Article 6	Article 8	
Résistances				Annexe E de la CISPR 12 :2007	-	-
Filtre (plusieurs lignes ^a avec masse)				Article 5	-	-

^a une ligne sans neutre, plusieurs lignes avec ou sans neutre.

4.1 Affaiblissement d'insertion

4.1.1 Calcul de l'affaiblissement d'insertion

La méthode d'essai normalisée utilise une source de signal étalonnée de 50 Ω et un récepteur de 50 Ω. L'affaiblissement d'insertion est déterminé par la formule suivante:

$$a_e = 20 \log \frac{V_0}{2V_2} \quad (1)$$

où

a_e est l'affaiblissement d'insertion (dB),

V_0 est la tension de sortie en circuit ouvert d'un générateur de signaux de 50 Ω, et

V_2 est la tension au point de sortie du circuit de filtrage.

Les données théoriques et la documentation relatives à la mesure de l'affaiblissement d'insertion sont présentées à l'Annexe E.

4.1.2 Mode (commun) asymétrique

La mesure ne concerne qu'un seul ensemble de valeurs relatives à l'affaiblissement d'insertion asymétrique du fait de la connexion parallèle de toutes les lignes d'entrée et de sortie (voir 5.2.3).

4.1.3 Mode (différentiel) symétrique

Chaque paire de lignes d'entrée doit être mesurée par rapport aux lignes de sortie correspondantes; un ensemble de valeurs ou de courbes d'affaiblissement d'insertion est mesuré pour chacune des paires de lignes. Les bornes de terre ou les bornes de protection (PE) ne sont pas prises en compte (voir 5.2.4).

Par exemple, dans le cas d'un filtre à trois lignes avec une ligne neutre (bornes des lignes L1, L2, L3, borne neutre N et borne PE), les mesures suivantes doivent être effectuées: L1 à L2, L1 à L3, L2 à L3, L1 à N, L2 à N, L3 à N (six mesures au total).

Les mesures en mode symétrique ne peuvent être appliquées aux filtres ou aux éléments à ligne unique.

4.1.4 Mode non symétrique

Chaque ligne d'entrée doit être mesurée par rapport à la ligne de sortie correspondante, les bornes de toutes les lignes non utilisées comprenant une impédance spécifiée (normalement 50 Ω) par rapport au potentiel de référence (voir 5.2.5).

Par exemple, dans le cas d'un filtre à trois lignes avec une ligne neutre (bornes des lignes L1, L2, L3, borne neutre N et borne PE), les mesures suivantes doivent être effectuées: L1 avec L2, L3 et N avec bornes, L2 avec L1, L3 et N avec bornes, L3 avec L1, L2 et N avec bornes et N avec L1, L2 et L3 avec bornes.

Les mesures en mode non symétrique ne peuvent être appliquées aux filtres ou éléments à ligne unique.

4.2 Impédance

Un dispositif de filtrage CEM d'une certaine impédance est souvent intégré à un circuit afin de réduire le courant non désiré. Les caractéristiques d'impédance du dispositif intégré et du circuit d'origine permettent de déterminer les caractéristiques d'antiparasitage.

L'impédance du dispositif, et par conséquent les caractéristiques d'antiparasitage, varie avec la fréquence, la condition de polarisation, etc. Il convient, par conséquent, de mesurer l'impédance à des fréquences différentes. Cette dépendance à la fréquence est utilisée pour la conception de filtrage CEM. Les mesures de l'impédance peuvent être appliquées dans la gamme de fréquences comprise entre 9 kHz et 3 GHz.

4.3 Paramètres S

4.3.1 Généralités

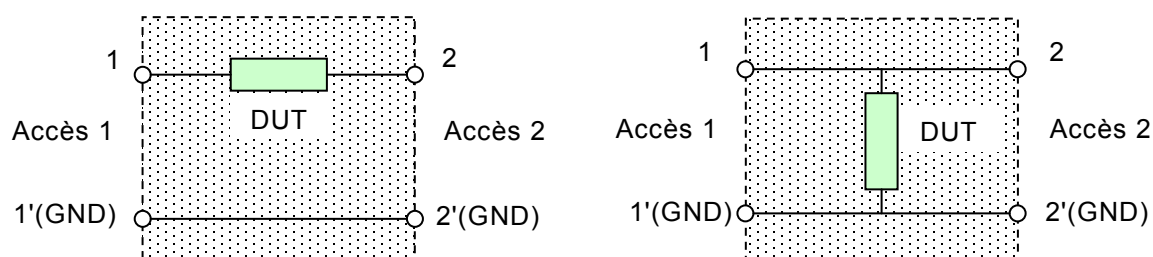
Les caractéristiques CEM d'un dispositif sont déterminées par les paramètres S du dispositif intégré et du circuit d'origine.

Les paramètres S du dispositif, et par conséquent les caractéristiques d'antiparasitage, varient avec la fréquence, la condition de polarisation, etc. Il convient par conséquent de mesurer les paramètres S à des fréquences différentes. Cette dépendance à la fréquence est utilisée pour la conception d'un dispositif de filtrage CEM. Les mesures des paramètres S peuvent s'appliquer dans la gamme de fréquences comprise entre environ 100 MHz et 6 GHz.

4.3.2 Paramètres S d'un deux accès

Les caractéristiques des éléments à deux bornes (inductances, condensateurs, etc.) peuvent être évaluées en termes des paramètres S d'un biaccès au moyen du montage d'essai illustré à la Figure 1. Les filtres à trois bornes (condensateurs traversant, autres filtres à trois bornes) sont également évalués à l'aide du montage d'essai illustré à la Figure 2.

Deux configurations de connexion des éléments à deux bornes et du montage d'essai sont possibles. Une configuration utilisant un montage en série, l'autre configuration utilisant un montage en parallèle. Il convient de choisir une de ces configurations selon l'application du dispositif. Le montage en série est choisi normalement pour les inductances, le montage en parallèle étant choisi pour les condensateurs. Il convient toutefois de choisir le montage en série lorsque les condensateurs servent de filtres passe-haut.



- a) Montage en série, pour un dispositif en essai de haute impédance par rapport à 50Ω
- b) Montage en parallèle pour un dispositif en essai de faible impédance par rapport à 50Ω

Figure 1 – Installation de mesure pour les paramètres S d'un dispositif à deux accès

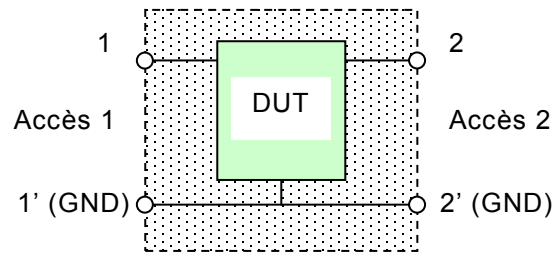


Figure 2 – Installation de mesure pour les paramètres S d'un dispositif à trois accès

Il convient que l'impédance caractéristique du montage d'essai des paramètres S soit adaptée à l'impédance d'accès d'un analyseur de réseau (50Ω).

Lorsque le montage d'essai est réglé à une impédance de 50Ω , l'affaiblissement d'insertion (a_e) en dB peut être exprimé par

$$a_e = -20 \log |S_{ij}|. \tag{2}$$

L'affaiblissement d'équilibrage (a_r) en dB est défini sous la forme

$$a_r = -20 \log |S_{ii}|. \tag{3}$$

4.3.3 Paramètres S d'un dispositif à quatre accès

Les caractéristiques d'un dispositif à quatre accès (illustré à la Figure 3), tel que les bobines d'arrêt de mode commun, peuvent être évaluées à l'aide des paramètres S à quatre accès (voir Annexe G).

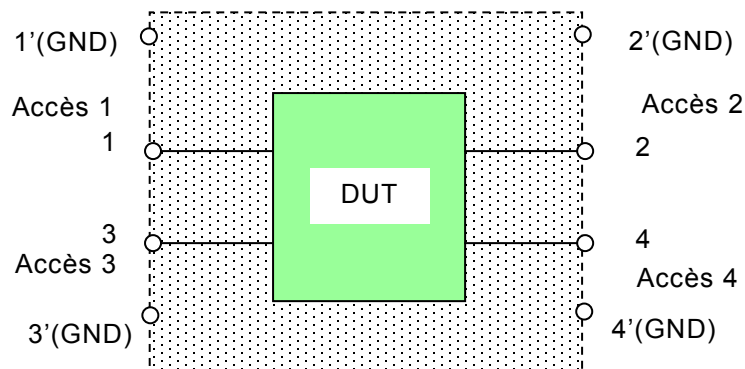


Figure 3 – Installation de mesure pour les paramètres S à quatre accès

Les mesures qui utilisent l'analyseur de réseau vectoriel (VNA) produisent des paramètres S S_{ij} pour les quatre ports. Toutefois, les paramètres S de mode commun/différentiel issus des paramètres S mesurés sont plus utiles pour caractériser le dispositif (désignés ci-après paramètres S de mode mixte) [5]³. Ils sont définis par la formule suivante:

³ Les chiffres entre crochets réfèrent à la Bibliographie.

$$\begin{aligned}
 S' &= \begin{bmatrix} S_{cc} & S_{cd} \\ S_{dc} & S_{dd} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cc|cc} S_{cc11} & S_{cc12} & S_{cd11} & S_{cd12} \\ S_{cc21} & S_{cc22} & S_{cd21} & S_{cd22} \\ \hline S_{dc11} & S_{dc12} & S_{dd11} & S_{dd12} \\ S_{dc21} & S_{dc22} & S_{dd21} & S_{dd22} \end{array} \right] \\
 &= \frac{1}{2} \left[\begin{array}{cc|cc} S_{11} + S_{31} + S_{13} + S_{33} & S_{12} + S_{32} + S_{14} + S_{34} & S_{11} + S_{31} - S_{13} - S_{33} & S_{12} + S_{32} - S_{14} - S_{34} \\ S_{21} + S_{41} + S_{23} + S_{43} & S_{22} + S_{42} + S_{24} + S_{44} & S_{21} + S_{41} - S_{23} - S_{43} & S_{22} + S_{42} - S_{24} - S_{44} \\ \hline S_{11} - S_{31} + S_{13} - S_{33} & S_{12} - S_{32} + S_{14} - S_{34} & S_{11} - S_{31} - S_{13} + S_{33} & S_{12} - S_{32} - S_{14} + S_{34} \\ S_{21} - S_{41} + S_{23} - S_{43} & S_{22} - S_{42} + S_{24} - S_{44} & S_{21} - S_{41} - S_{23} + S_{43} & S_{22} - S_{42} - S_{24} + S_{44} \end{array} \right]
 \end{aligned} \tag{4}$$

Les sous-matrices de la formule ci-dessus expriment les caractéristiques de conversion entre les modes, où

- S_{cc} est la matrice de conversion d'un mode commun à l'autre,
- S_{cd} est la matrice de conversion d'un mode différentiel en mode commun,
- S_{dc} est la matrice de conversion d'un mode commun en mode différentiel, et
- S_{dd} est la matrice de conversion d'un mode différentiel à l'autre.

Chaque sous-matrice comprend quatre éléments. Par exemple, pour la sous-matrice S_{cc} :

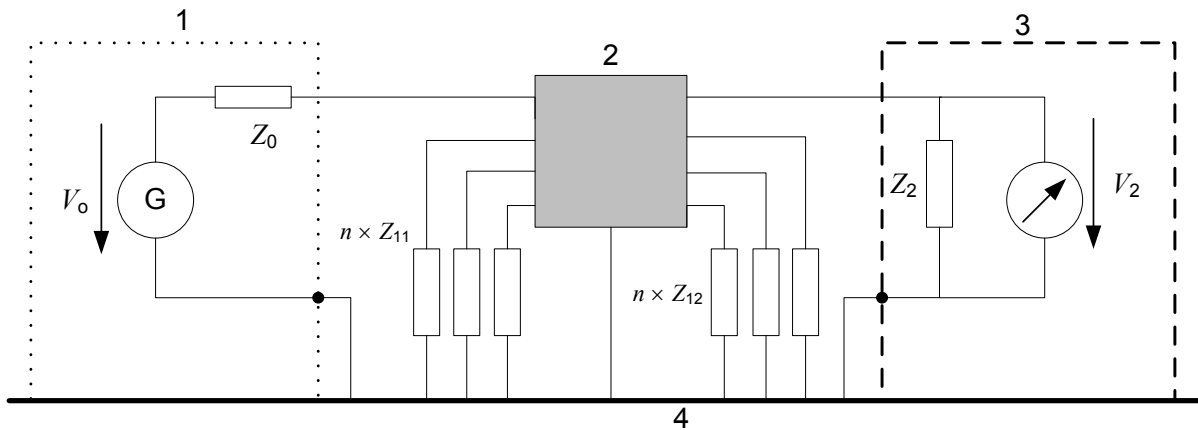
- S_{cc11} est le coefficient de réflexion à l'entrée,
- S_{cc12} est le coefficient de transmission de la sortie à l'entrée,
- S_{cc21} est le coefficient de transmission de l'entrée à la sortie, et
- S_{cc22} est le coefficient de réflexion à la sortie.

Les impédances de référence des modes commun et différentiel correspondent respectivement à la moitié et au double de l'impédance de référence d'accès réelle. Par exemple, lorsque les paramètres S d'origine sont mesurés à l'aide d'un instrument de 50 Ω , les impédances de référence d'accès de modes commun et différentiel sont de 25 Ω et 100 Ω , respectivement.

5 Mesure d'affaiblissement d'insertion

5.1 Généralités

Le présent article décrit les méthodes de mesure de l'affaiblissement d'insertion d'un dispositif en essai. Par ailleurs, la mesure des paramètres S d'un bi-accès décrite en 4.3.2 peut être appliquée. Un exemple d'installation de mesure est illustré à la Figure 4.



Légende

- 1 générateur de signaux
- 2 filtre CEM (dispositif en essai)
- 3 récepteur de mesure
- 4 potentiel de référence (plan de masse métallique)
- V_0 tension du générateur en circuit ouvert
- V_2 tension de sortie
- Z_0 impédance du générateur
- Z_{11} impédance d'extrémité (des lignes adjacentes) à l'entrée du filtre
- Z_{12} impédance d'extrémité (des lignes adjacentes) à la sortie du filtre
- Z_2 impédance du récepteur

Figure 4 – Circuit d'essai pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion (exemple: filtre à 4 lignes)

5.2 Installation de mesure

5.2.1 Généralités

L'affaiblissement d'insertion d'un dispositif de filtrage CEM doit être soumis à l'essai avec et sans courant d'utilisation.

5.2.2 Matériel d'essai

NOTE La simplification substantielle de la procédure de mesure peut être réalisée en utilisant un générateur de champ approprié et un récepteur accordé ou un analyseur de réseau. La caractéristique de perte d'insertion peut alors être observée sur un afficheur, ou enregistrée automatiquement.

5.2.2.1 Générateur de signaux

Il est recommandé d'utiliser un générateur de signaux sinusoïdaux. On peut également utiliser des générateurs d'autres signaux (par exemple, de bruit ou d'impulsions) ayant un spectre de sortie uniforme dans la gamme de fréquences utile mais, dans ce type de cas, le récepteur doit avoir une sélectivité et une insensibilité aux brouillages satisfaisantes. L'impédance du générateur de signaux doit être de 50 Ω.

5.2.2.2 Récepteur

Il est recommandé d'utiliser un récepteur sélectif (ayant au moins un circuit résonnant avant le premier étage d'amplification). L'utilisation d'un récepteur non sélectif est acceptable si les fréquences harmoniques et autres fréquences indésirables à la sortie du générateur sont suffisamment réduites, tout en étant prises en compte dans l'incertitude de mesure. L'impédance du récepteur doit être de 50 Ω.

5.2.2.3 Source de courant de polarisation

La source fournissant le courant de polarisation doit être flottante et ses deux bornes (E et F sur la Figure 9) doivent être isolées de la terre avec possibilité de mise à la terre de l'une d'entre elles, le cas échéant.

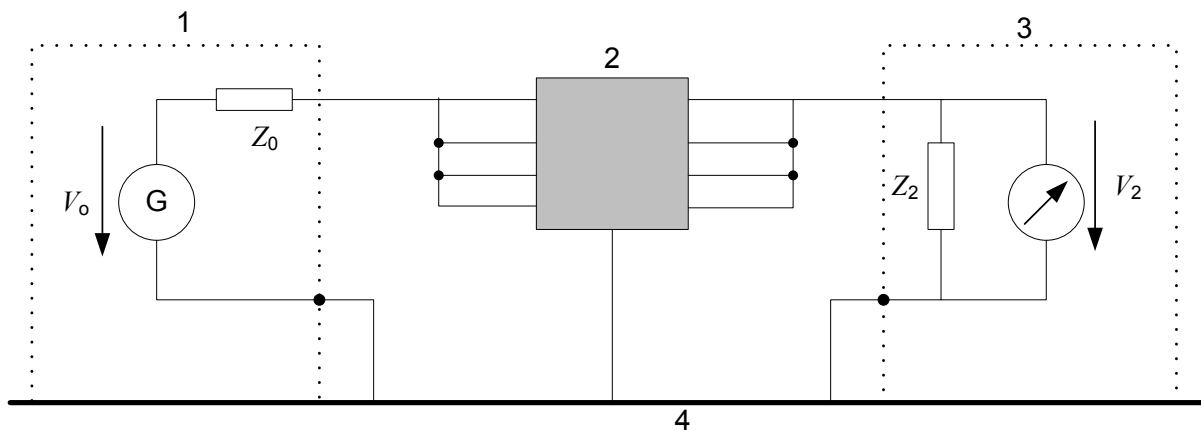
Il convient de veiller à ce que les perturbations de fréquence radioélectrique produites par la source de courant de polarisation (par exemple, si une alimentation en mode commutation est choisie comme source de courant de polarisation) n'influencent pas les résultats de mesure.

5.2.2.4 Boîte d'essai

Le filtre doit être monté sur une boîte métallique blindée et la masse du filtre doit être correctement reliée au fond de la boîte métallique de manière à assurer une mise à la terre faiblement inductrice. La taille de la boîte doit être choisie de telle sorte qu'elle assure une distance appropriée entre le filtre en essai et les parois métalliques et le couvercle de la boîte, tout en permettant l'emploi de fils de connexion courts entre les prises femelles coaxiales et les bornes du filtre. Une distance moyenne de 5 cm est recommandée pour les filtres polyvalents. Une boîte d'essai typique conçue pour l'essai d'un filtre polyvalent et d'un filtre traversant est illustrée à l'Annexe B.

5.2.3 Circuit d'essai (de mode commun) asymétrique

Le filtre doit être relié entre le générateur de signaux et le récepteur, toutes les lignes d'entrée et de sortie étant reliées entre elles en parallèle comme illustré à la Figure 5.



Légende

- 1 générateur de signaux
- 2 filtre CEM (dispositif en essai)
- 3 récepteur de mesure
- 4 potentiel de référence (plan de masse métallique)
- V_0 tension du générateur en circuit ouvert
- V_2 tension de sortie
- Z_0 impédance du générateur
- Z_2 impédance du récepteur

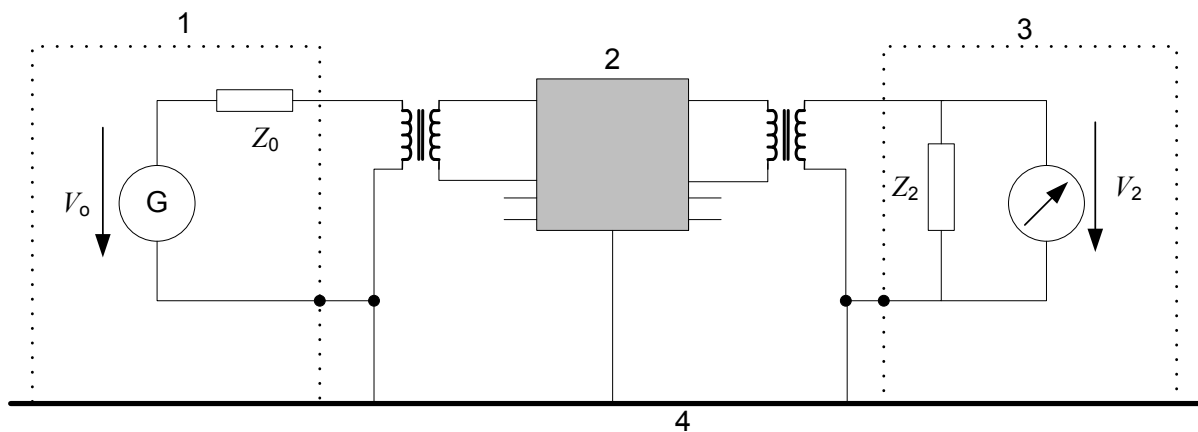
Figure 5 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion asymétrique (exemple: filtre à 4 lignes)

5.2.4 Circuit d'essai (de mode différentiel) symétrique

Chacune des deux lignes d'entrée et les lignes de sortie correspondantes doivent être mesurées par des transformateurs d'isolement, comme illustré à la Figure 6. Toutes les lignes non utilisées ne doivent pas comporter de borne.

Il convient que le rapport du nombre de tours du transformateur soit fixé à 1:1. Si d'autres rapports du nombre de tours sont choisis, ils doivent être décrits dans le rapport d'essai.

NOTE L'influence non désirée des caractéristiques du transformateur peut être évitée par l'utilisation d'un analyseur vectoriel de réseau à quatre ports à la place d'un transformateur.



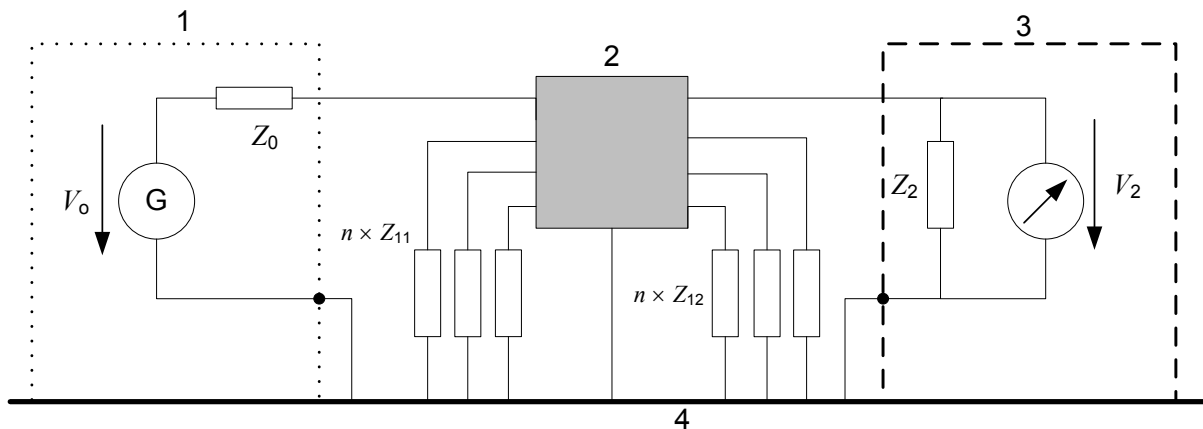
Légende

- 1 générateur de signaux
- 2 filtre CEM (dispositif en essai)
- 3 récepteur de mesure
- 4 potentiel de référence (plan de masse métallique)
- V_0 tension du générateur en circuit ouvert
- V_2 tension de sortie
- Z_0 impédance du générateur
- Z_2 impédance du récepteur

Figure 6 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion symétrique (exemple: filtre à 4 lignes)

5.2.5 Circuit d'essai non symétrique

Chaque ligne d'entrée et la ligne de sortie correspondante du filtre doivent être mesurées avec les bornes de toutes les lignes non utilisées réglées au potentiel de référence avec une impédance spécifiée (normalement 50 Ω , voir 3.1.8), comme illustré à la Figure 7.



Légende

- | | |
|----------|---|
| 1 | générateur de signaux |
| 2 | filtre CEM (dispositif en essai) |
| 3 | récepteur de mesure |
| 4 | potentiel de référence (plan de masse métallique) |
| V_o | tension du générateur en circuit ouvert |
| V_2 | tension de sortie |
| Z_0 | impédance du générateur |
| Z_{11} | impédance d'extrémité (des lignes adjacentes) à l'entrée du filtre |
| Z_{12} | impédance d'extrémité (des lignes adjacentes) à la sortie du filtre |
| Z_2 | impédance du récepteur |

Figure 7 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion non symétrique (exemple: filtre à 4 lignes)

5.3 Méthodes de mesure (mode opératoire)

5.3.1 Généralités

Deux méthodes sont utilisées:

- filtre sans courant de polarisation;
- filtre avec courant de polarisation c.c. ou c.a.

Ces deux méthodes doivent être appliquées pour l'examen des filtres comme suit:

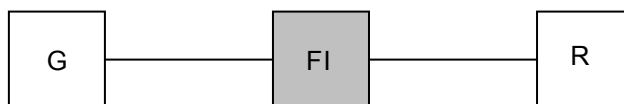
- sans courant de polarisation, et avec la gamme de fréquences applicables comprise entre 10 kHz et 10 GHz, ou
- avec un courant de polarisation pouvant atteindre 100 A dans la gamme de fréquences applicable comprise entre 10 kHz et 100 MHz.

La seule méthode d'essai spécifiée dans la présente norme doit être la méthode d'essai 50 Ω /50 Ω . Cela signifie que toutes les impédances du circuit d'essai Z_0 , Z_{11} , Z_{12} et Z_2 doivent être de 50 Ω (voir 3.1.10).

Les méthodes d'essai qui utilisent des impédances différentes et éventuellement non symétriques peuvent être appliquées si nécessaire. Un exemple est décrit à l'Annexe C. Normalement, les méthodes d'essai qui utilisent des valeurs d'impédance autres que 50 Ω , dépendent de l'application et doivent être décrites dans la norme d'équipement respective.

5.3.2 Mesure sans courant de polarisation

Les caractéristiques obtenues par la mesure sans courant de polarisation peuvent différer de celles observées dans la pratique, parce que les impédances de source et de charge diffèrent, lors de la mesure, de celles qui existent au cours de l'emploi dans un dispositif ou système réel. Voir Figure 8.



Légende

- G générateur de signaux
- FI filtre CEM (dispositif en essai)
- R récepteur de mesure

Figure 8 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion sans courant de polarisation

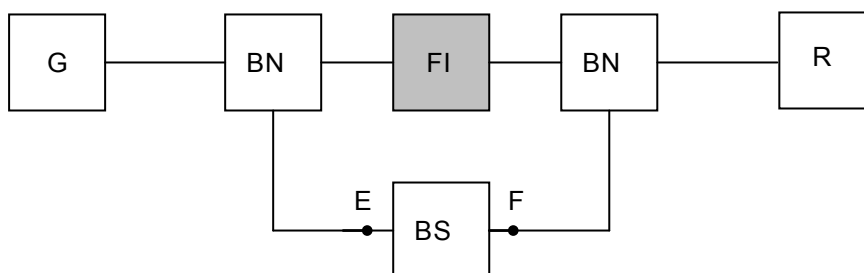
5.3.3 Mesure avec courant de polarisation

La méthode d'essai est identique à celle décrite en 5.3.2, avec des réseaux tampons pour les sources de courant de polarisation ajoutées. Voir Figure 9.

Le courant de polarisation appliqué au filtre en essai doit être le courant assigné du filtre. Il peut se révéler nécessaire, pour les filtres utilisés de manière régulière dans des applications avec des courants de choc élevés (par exemple, convertisseurs de fréquence), de choisir le courant de polarisation en conséquence.

La source du courant de polarisation est reliée au circuit de mesure par l'intermédiaire de deux réseaux tampons qui doivent produire un découplage suffisant entre la source de courant et le circuit de mesure dans la gamme de fréquences à mesurer. Les exigences relatives au réseau tampon de l'Annexe D doivent être respectées.

La source de courant de polarisation doit être isolée du circuit de mesure.



Légende

- G générateur de signaux
- FI dispositif de filtrage CEM en essai
- R récepteur de mesure
- BN réseau tampon
- BS source de courant de polarisation (source de courant) – isolée du potentiel de référence

Figure 9 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion avec courant de polarisation

5.4 Etalonnage et vérification

5.4.1 Généralités

Tous les matériels d'essai (générateur de signaux, récepteur, câbles, affaiblisseurs, etc.) doivent être étalonnés et tracés par rapport à une organisation de normes nationale.

L'installation d'essai complète doit être évaluée de manière à démontrer qu'elle satisfait à toutes les exigences. Ceci inclut également la boîte blindée utilisée pour contenir le filtre et les réseaux tampons pour les essais de polarisation et les contacteurs à commande manuelle ou les boîtes à relais utilisées pour les mesures automatiques.

Dans la mesure où les filtres n'ont pas une impédance de 50 Ω , certaines étapes de vérification se révèlent nécessaires pour montrer le fonctionnement correct de l'installation d'essai avec l'objet d'essai non adapté.

5.4.2 Validation de l'installation d'essai sans courant de polarisation

Une série de mesures comprenant des circuits d'essai ohmiques définis, comme illustré à la Figure 10, doit permettre de vérifier l'installation d'essai.

L'essai A montre la valeur correcte de la tension de sortie du générateur de signaux radioélectriques qui est la moitié de la tension en circuit ouvert lorsque la borne a une impédance de 50 Ω (impédance du récepteur d'essai).

L'essai B montre la capacité du générateur de signaux radioélectriques à fournir un courant de sortie suffisant aux objets d'essai à faible impédance (tels que des filtres à valeurs capacitives élevées).

L'essai C montre que l'étendue dynamique du récepteur d'essai est suffisante.

Pour chacun des essais A à C, les mesures doivent être effectuées dans les limites de tolérance spécifiées dans le Tableau 2.

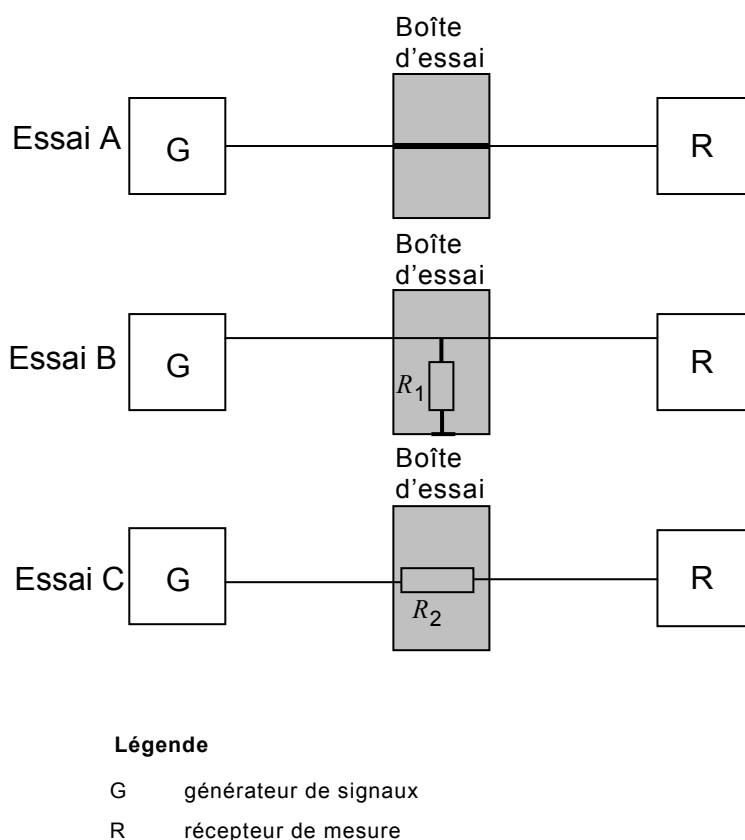


Figure 10 – Circuit d'essai pour la vérification du circuit de mesure sans courant de polarisation

Tableau 2 – Conditions et valeurs cibles pour la validation de l'installation d'essai sans courant de polarisation

Essai	R	V_2	V_2/V_0
A	DIRECT	$0,5 \times V_0$	-6 dB \pm 0,5 dB
B	$R_1 = 0,1 \Omega$	$0,002 \times V_0$	-54 dB \pm 1 dB
C	$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$	$0,000 5 \times V_0$	-66 dB \pm 1 dB
Tolérance pour R_1 et R_2 : ± 1 %.			

Les installations d'essai doivent être utilisées dans la gamme de fréquences dans laquelle les résultats de validation satisfont au Tableau 2, où V_0 est la tension f.e.m (V) du générateur de signaux, G, et V_2 est la tension (V) aux bornes du récepteur de mesure. Les valeurs de R_1 et R_2 peuvent être différentes selon la fréquence et le dispositif en essai.

5.4.3 Validation de l'installation d'essai avec courant de polarisation

Une série de mesures comprenant des circuits d'essai ohmiques définis, comme illustré à la Figure 11, doit permettre de vérifier l'installation d'essai.

L'essai A montre la valeur correcte de la tension de sortie du générateur de signaux radioélectriques qui est la moitié de la tension en circuit ouvert lorsque la borne a une impédance de 50 Ω (impédance du récepteur d'essai).

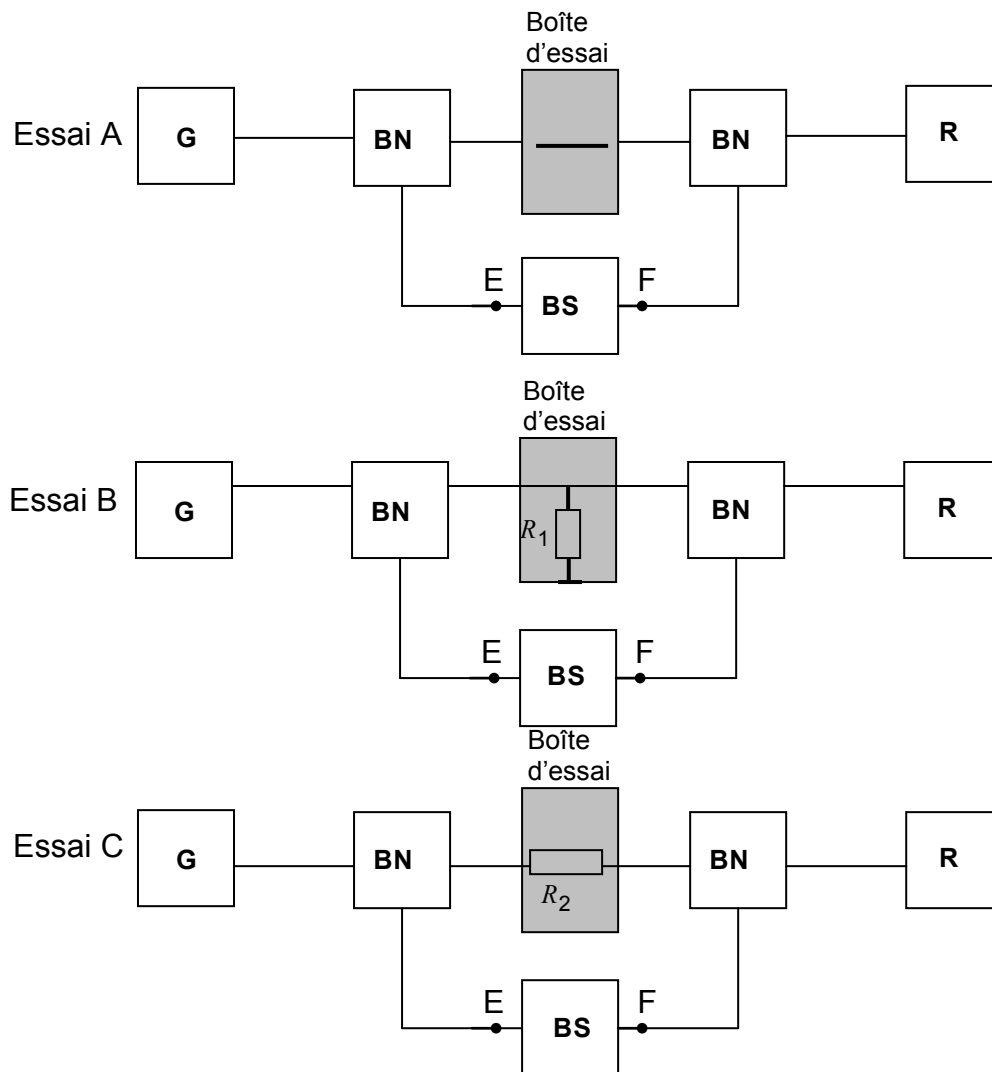
L'essai B montre la capacité du générateur de signaux radioélectriques à fournir un courant de sortie suffisant aux objets d'essai à faible impédance (tels que des filtres à valeurs capacitives élevées).

L'essai C montre que l'étendue dynamique du récepteur d'essai est suffisante.

Chacun des essais A à C doit être effectué pour ces conditions:

- les bornes E et F ne sont pas connectées (circuit ouvert) ,
- les bornes E et F sont connectées par un court-circuit.

Pour chacun des essais A à C, les mesures doivent être effectuées dans les limites de tolérance spécifiées dans le Tableau 3.



Légende

- G générateur de signaux
- FI dispositif de filtrage CEM en essai
- R récepteur de mesure
- BN réseau tampon
- BS source de courant de polarisation (source de courant) – isolée du potentiel de référence

Figure 11 – Circuit d'essai pour la vérification du circuit de mesure avec courant de polarisation

Tableau 3 – Conditions et valeurs cibles pour la validation de l'installation d'essai avec courant de polarisation

Essai		R	V_2	V_2/V_0
A	ouvert	DIRECT	$0,5 V_0$	$-6 \text{ dB} \pm 0,5 \text{ dB}$
	court-circuit		$0,5 \times V_0$	$-6 \text{ dB} \pm 0,5 \text{ dB}$
B	ouvert	$R_1 = 0,1 \Omega$	$0,002 \times V_0$	$-54 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$
	court-circuit		$0,002 \times V_0$	$-54 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$
C	ouvert	$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$	$0,000 5 \times V_0$	$-66 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$
	court-circuit		$0,000 5 \times V_0$	$-66 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$
Tolérance pour R_1 et R_2 : $\pm 1 \%$.				

Les installations d'essai doivent être utilisées dans la gamme de fréquences dans laquelle les résultats de validation satisfont au Tableau 3, où V_0 est la valeur f.e.m (V) du générateur de signaux, G , et V_2 est la tension (V) aux bornes du récepteur de mesure. Les valeurs de R_1 et R_2 peuvent être différentes selon la fréquence et le dispositif en essai.

5.5 Incertitude

Il doit être tenu compte des facteurs suivants pour l'évaluation des incertitudes associées aux mesures d'affaiblissement d'insertion:

- contribution à l'incertitude due au matériel de mesure (se reporter à la spécification du constructeur);
- contribution à l'incertitude due au montage d'essai, y compris les réseaux tampons (se reporter à la spécification du constructeur, si disponible);
- contribution à l'incertitude due à la variation des conditions de mesure (évaluée par des mesures répétées).

Les détails sont fournis à l'Annexe A.

6 Mesure de l'impédance

6.1 Généralités

L'impédance d'un dispositif en essai est mesurée selon l'une des deux méthodes suivantes: la méthode directe, qui consiste à mesurer directement l'impédance à l'aide d'un équipement de mesure de l'impédance, ou la méthode indirecte qui consiste à calculer l'impédance à partir des paramètres S mesurés par un VNA. Un VNA moderne inclus typiquement une fonction de calcul d'impédance.

NOTE La méthode indirecte est couramment utilisée pour les mesures effectuées à des fréquences supérieures à 1 GHz.

6.2 Méthode directe

6.2.1 Installation et méthode de mesure

Un équipement de mesure de l'impédance et un montage d'essai permettent de mesurer l'impédance d'un dispositif en essai.

L'impédance doit être mesurée en intégrant le dispositif en essai dans le montage d'essai et par un balayage de la fréquence de mesure à l'aide de l'équipement de mesure de l'impédance. La relation entre l'impédance et la fréquence doit être consignée dans la gamme de fréquences requise.

Une combinaison appropriée du matériel de mesure et du montage d'essai doit être choisie selon la configuration du dispositif en essai et la fréquence d'essai. Des exemples de mesure de l'impédance sont illustrés à l'Annexe F (pour un dispositif à conducteurs, CMS, bobine d'arrêt de mode commun à quatre bornes, etc.).

L'application d'une tension ou d'un courant de polarisation au dispositif en essai doit s'effectuer par un circuit tampon afin de ne pas affecter le circuit de mesure. Si l'équipement de mesure de l'impédance ne comporte pas de circuit tampon intégré, un circuit tampon peut alors être utilisé dans l'installation d'essai. Dans ce dernier cas, l'étalonnage doit être effectué avec le circuit tampon intégré.

L'équipement de mesure de l'impédance et le montage d'essai doivent être installés dans un environnement exempt de variations de température significatives et de champs électromagnétiques externes. Le système d'essai doit être étalonné avec le montage d'essai. Les conditions environnementales et les paramètres de l'analyseur utilisés pour la mesure doivent être consignés, tels que la température, la gamme de fréquence, la puissance d'entrée RF, le courant ou la tension de polarisation, etc. Il doit être tenu compte des éléments suivants:

- le système d'essai doit avoir un rapport signal/bruit suffisant (≥ 30 dB);
- sauf spécification contraire, l'essai doit être effectué dans les conditions assignées du dispositif en essai;
- lors de l'application de la tension ou du courant de polarisation, on doit veiller à ne pas surcharger le dispositif en essai (notamment dans le cas de dispositifs en ferrite);
- une méthode d'étalonnage appropriée doit être sélectionnée pour le montage d'essai utilisé (étalonnage en circuit ouvert/court-circuit, étalonnage en circuit ouvert/court-circuit/sous charge, etc.).

6.2.2 Etalonnages de l'installation d'essai

Le système de mesure doit être tracé par rapport à une organisation de normes nationale.

Les facteurs suivants peuvent affecter les résultats de mesures effectuées sur un dispositif en essai, aussi le système de mesure doit être étalonné afin de réduire l'incertitude de mesure due aux effets d'une impédance inconnue, associés aux instruments de mesure, montage d'essai et câbles.

L'étalonnage OSL, qui utilise un ensemble d'étalonnage comprenant des bornes normalisées OPEN (en circuit ouvert), SHORT (en court-circuit) et LOAD (sous charge), constitue un exemple de méthode d'étalonnage. Dans certains cas, si une exactitude de mesure supérieure n'est pas requise, il peut se révéler nécessaire de ne pas utiliser les trois sorties du kit de connexion. Les manuels d'instruction des instruments de mesure comportent les détails des modes opératoires.

Des dispositifs en essai normalisés peuvent être utilisés, s'ils sont disponibles, pour améliorer l'exactitude de mesure.

6.2.3 Incertitude de mesure

Les facteurs suivants doivent être pris en compte pour l'évaluation des incertitudes associées aux mesures qui utilisent un équipement de mesure de l'impédance:

- composantes d'incertitude associées à l'équipement de mesure de l'impédance (se reporter aux spécifications du constructeur);
- composantes d'incertitude associées au montage d'essai (se reporter aux spécifications du constructeur, si disponibles);
- composantes d'incertitude associées à la variation des conditions de mesure (évaluées par des mesures répétées).

Les détails sont fournis à l'Annexe A.

6.3 Méthode indirecte

6.3.1 Installation et méthode de mesure

6.3.1.1 Généralités

L'impédance d'un dispositif en essai peut être évaluée à partir de ses paramètres S . Dans ce cas, les paramètres S sont mesurés au moyen d'un analyseur de réseau. Voir 7.1 pour une description de l'installation de mesure des paramètres S .

L'impédance d'un dispositif en essai peut être calculée à partir des paramètres S à un accès, deux ports ou quatre ports. Noter qu'il convient que les valeurs mesurées des paramètres S soient celles du dispositif en essai uniquement, et ne subissent aucune influence des effets éventuels du montage d'essai.

6.3.1.2 Evaluation à partir du paramètre S à un accès

La formule suivante permet de calculer l'impédance Z_x à partir du paramètre S_{11} , où Z_0 est l'impédance de référence d'accès. Voir Figure 12.

$$Z_x = Z_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \tag{5}$$

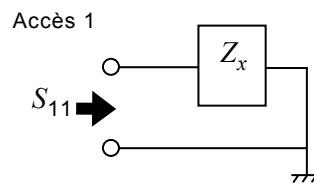
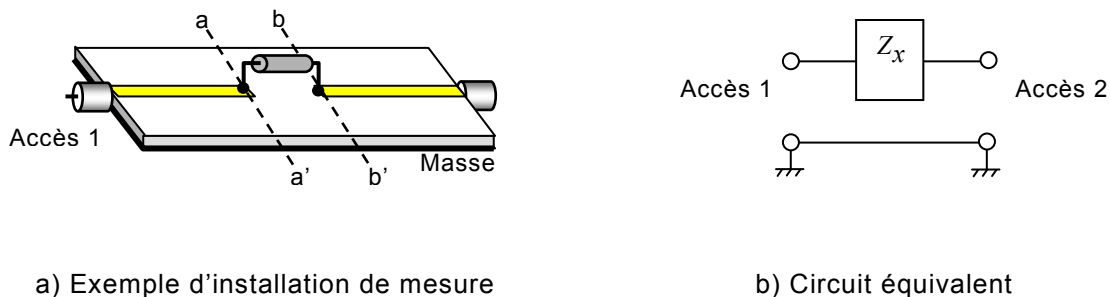


Figure 12 – Mesure d'un port d'un biaccès

6.3.1.3 Evaluation à partir des paramètres S d'un biaccès

L'impédance d'un dispositif en essai peut être évaluée à partir des mesures des paramètres S au moyen d'un VNA, en utilisant un montage d'essai approprié, comme illustré aux Figures 13 et 14.



a) Exemple d'installation de mesure

b) Circuit équivalent

Figure 13 – Mesures des paramètres S pour l'évaluation de l'impédance d'un dispositif dans un montage en série

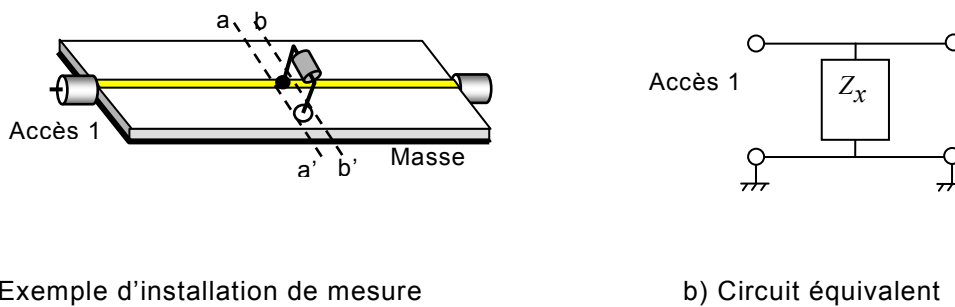


Figure 14 – Mesures des paramètres S pour l'évaluation de l'impédance d'un dispositif dans un montage en parallèle

Les paramètres S doivent être évalués entre deux plans de référence (a-a') et (b-b') par l'étalonnage TRL ou à l'aide des paramètres S de correction mesurés entre les ports 1 et 2 pour les longueurs électriques des lignes.

En supposant que les propriétés du dispositif en essai sont symétriques, les coefficients de réflexion et de transmission moyens sont donnés par:

$$R = \frac{S_{11} + S_{22}}{2} \quad \text{et} \quad T = \frac{S_{12} + S_{21}}{2} \quad (6)$$

Si la condition $|2T| \gg |(1-T)^2 - R^2|$ est satisfaite, l'impédance du dispositif, Z_x est calculée à partir des Equations (7) et (8):

Pour montage en série

$$Z_X = Z_0 \frac{(1+R)^2 - T^2}{2T} \quad (7)$$

Et pour un montage avec un shunt

$$Z_X = Z_0 \frac{2T}{(1-R)^2 - T^2} \quad (8)$$

où Z_0 est l'impédance caractéristique du montage d'essai.

Si la condition ci-dessus n'est pas satisfaite, le montage d'essai peut affecter les mesures, et les Equations (7) et (8) peuvent produire des résultats erronés.

Les impédances fournies par les paramètres S d'un bi-accès décrits dans le présent paragraphe peuvent être différentes, dans une certaine mesure à des fréquences élevées, de celles décrites en 6.3.1.2, car le paramètre S à un accès peut dépendre de la structure du montage d'essai utilisé.

6.3.1.4 Evaluation à partir des paramètres S à quatre accès

Les impédances de mode commun et de mode différentiel Z_c et Z_d , d'un dispositif en essai peuvent être évaluées en termes des paramètres S de mode mixte S_{cc} et S_{dd} , à l'aide des équations suivantes, si la symétrie du dispositif en essai est appropriée. Les définitions des paramètres S de mode mixte sont données en 4.3.3. Les impédances Z_c et Z_d sont dérivées des Equations (9) and (10) avec les paramètres S réels. Noter que Z_{c0} et Z_{d0} sont les impédances de référence de modes commun et différentiel, respectivement.

$$Z_c = Z_{c0} \frac{(1 + R_c)^2 - T_c^2}{2T}$$

$$R_c = \frac{S_{cc11} + S_{cc22}}{2} \tag{9}$$

$$T_c = \frac{S_{cc12} + S_{cc21}}{2}$$

$$Z_d = Z_{d0} \frac{(1 + R_d)^2 - T_d^2}{2T}$$

$$R_d = \frac{S_{dd11} + S_{dd22}}{2} \tag{10}$$

$$T_d = \frac{S_{dd12} + S_{dd21}}{2}$$

6.3.2 Etalonnage de l'installation d'essai

Voir 7.2.

6.3.3 Incertitude de mesure

L'incertitude de l'impédance obtenue à partir des paramètres S est calculée sur la base des incertitudes associées aux mesures des paramètres S . Voir 7.3.

7 Mesure des paramètres S

7.1 Installation et méthode de mesure

7.1.1 Généralités

Un analyseur de réseau (système de 50 Ω) permet de mesurer les paramètres S d'un dispositif en essai. Un VNA est un instrument comprenant une fonction qui permet de déterminer les paramètres S directement à partir de la mesure de l'amplitude et des différences de phase des ondes incidentes, réfléchies et transmises. La Figure 15 illustre l'installation de mesure d'un bi-accès.

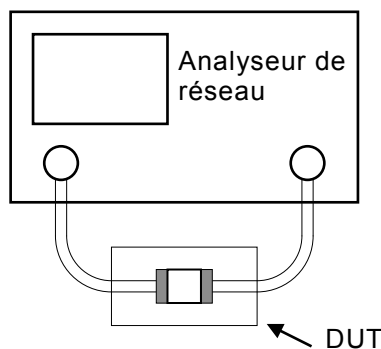


Figure 15 – Installation de mesure des paramètres S d'un bi-accès

Les paramètres S doivent être mesurés en intégrant le dispositif en essai dans le montage d'essai et par un balayage de la fréquence de mesure à l'aide de l'analyseur de réseau. Il convient de consigner la relation entre les paramètres S et la fréquence dans la gamme de fréquences requise.

Une tension ou un courant de polarisation au dispositif en essai doit s'effectuer par un circuit tampon afin de ne pas affecter le circuit de mesure. Si l'analyseur de réseau ne comporte pas de circuit tampon intégré, un circuit de polarisation en T du commerce peut être utilisé dans l'installation d'essai. Dans ce dernier cas, l'étalonnage doit être effectué avec le circuit tampon intégré.

Lorsque seul l'affaiblissement d'insertion $|S_{21}|$ est requis, les mesures peuvent être effectuées par la combinaison d'un générateur de recherche et d'un récepteur de mesure au lieu de l'analyseur de spectre décrit ci-dessus.

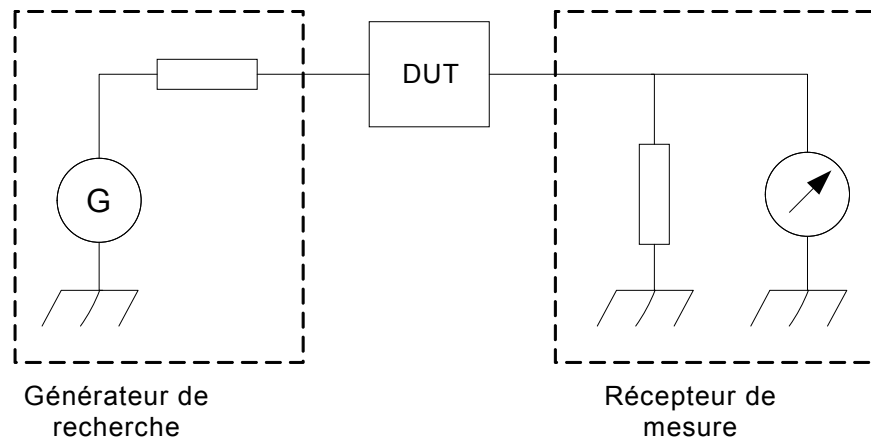


Figure 16 – Autre système spécifique de mesure de l'affaiblissement d'insertion d'un dispositif en essai (par la combinaison d'un générateur de recherche et d'un récepteur de mesure)

L'analyseur de réseau et le montage d'essai doivent être installés dans un environnement exempt de variations de température significatives et de champs électromagnétiques externes. Il convient d'étalonner le système d'essai avec le montage d'essai. Les conditions environnementales et les paramètres de l'analyseur utilisés pour les mesures doivent être consignés, tels que la température, la gamme de fréquences, la puissance radioélectrique d'entrée, le courant de polarisation ou la tension, etc.

Les éléments suivants constituent des exemples de caractéristiques requises du système de mesure des paramètres S :

- l'étendue dynamique de mesure doit permettre de mesurer l'affaiblissement du dispositif en essai;
- des câbles, connecteurs, adaptateurs, etc. appropriés doivent être choisis pour la gamme de fréquences de mesure. Les connecteurs doivent être serrés au couple spécifié;
- sauf spécification contraire, l'essai doit être effectué dans les conditions assignées du dispositif en essai;
- lors de l'application de la tension ou du courant de polarisation, il convient de veiller à ne pas surcharger le dispositif en essai (notamment dans le cas de dispositifs en ferrite).

7.1.2 Montage d'essai

7.1.2.1 Généralités

En général, un dispositif en essai est relié à l'analyseur de réseau par des câbles. Certains types de dispositifs, tels que des CMS et des dispositifs à conducteurs, peuvent ne pas

convenir à une connexion directe, lorsqu'ils doivent être mesurés à l'aide d'un montage d'essai. Les figures suivantes montrent des exemples de montages d'essai qui utilisent des cartes de circuits imprimés avec lignes de transmission planaires, telles que des microbandes et des droites coplanaires, avec une impédance caractéristique de 50Ω . Les connecteurs sont reliés aux extrémités des cartes de circuits imprimés. Les symboles sont définis à la Figure 17.

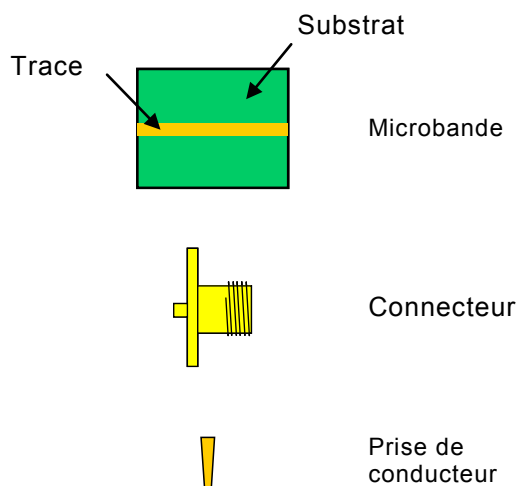


Figure 17 – Expressions symboliques

7.1.2.2 Montages d'essai pour CMS

7.1.2.2.1 Bi-accès – montage en série

La Figure 18 illustre un montage d'essai de mesure des paramètres S d'un bi-accès dans un montage en série. La fréquence applicable maximale est de l'ordre de 6 GHz.

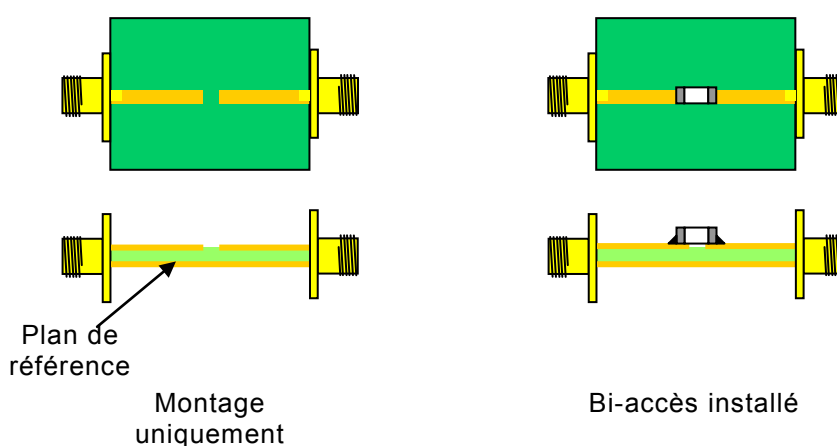


Figure 18 – Montage d'essai pour un bi-accès (montage en série)

7.1.2.2.2 Bi-accès – montage en parallèle

La Figure 19 illustre un montage d'essai de mesure des paramètres S d'un bi-accès dans un montage en série. La fréquence applicable maximale est de l'ordre de 6 GHz.

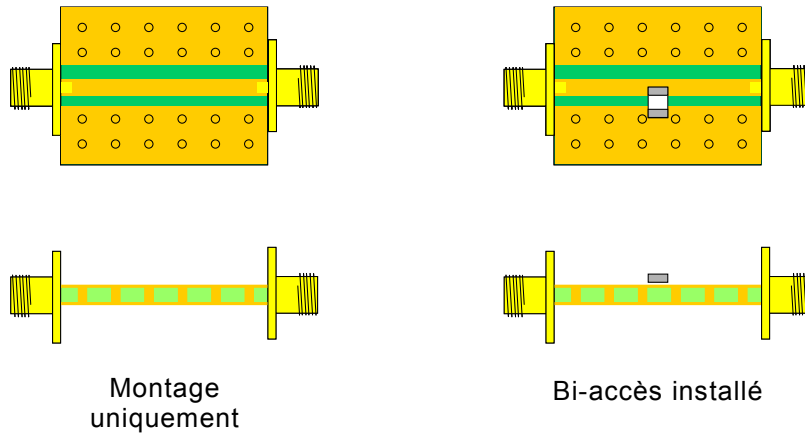


Figure 19 – Montage d’essai pour un bi-accès (montage en parallèle)

7.1.2.2.3 Filtre à trois bornes

La Figure 20 illustre un montage d’essai de mesure des paramètres S d’un filtre à trois bornes. La fréquence applicable maximale est de l’ordre de 6 GHz.

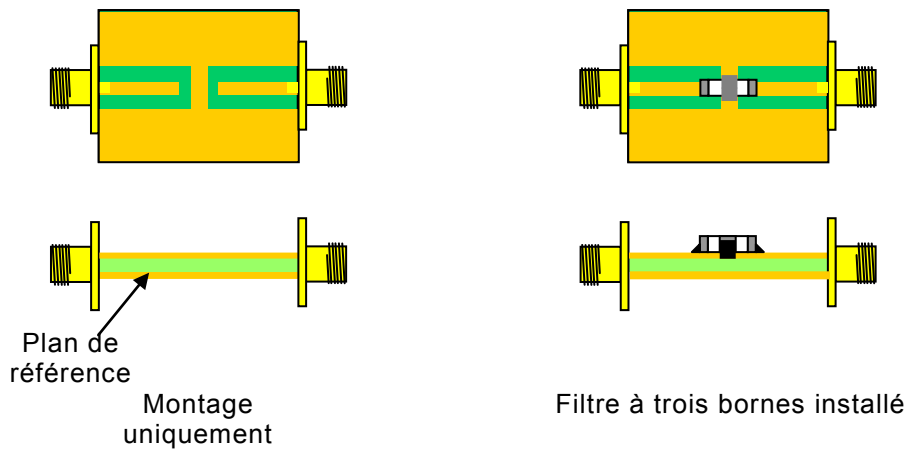


Figure 20 – Montage d’essai pour un filtre à trois bornes

7.1.2.3 Montage d'essai pour dispositifs à conducteurs

7.1.2.3.1 Bi-accès avec conducteurs

La Figure 21 illustre un montage d'essai de mesure des paramètres S d'un bi-accès avec conducteurs dans des montages en série ou en parallèle. La fréquence applicable maximale est de l'ordre de 1 GHz.

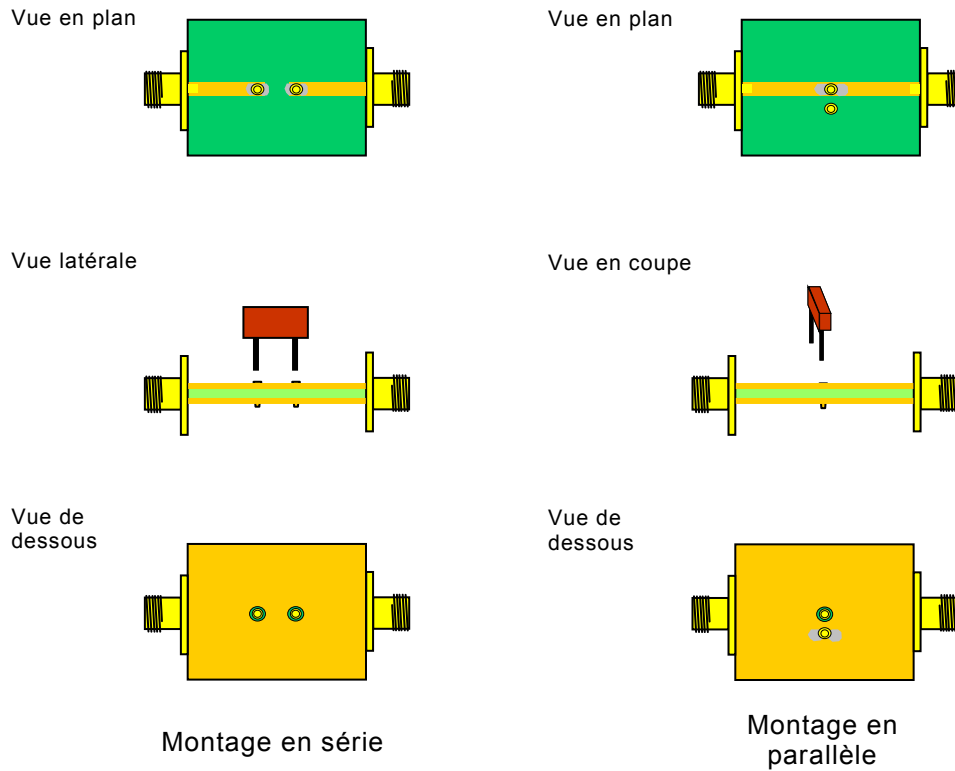


Figure 21 – Montage d'essai pour un bi-accès avec conducteurs

7.1.2.3.2 Filtre à trois bornes

La Figure 22 illustre un montage d'essai de mesure des paramètres S d'un filtre à trois bornes avec conducteurs. La fréquence applicable maximale est de l'ordre de 1 GHz.

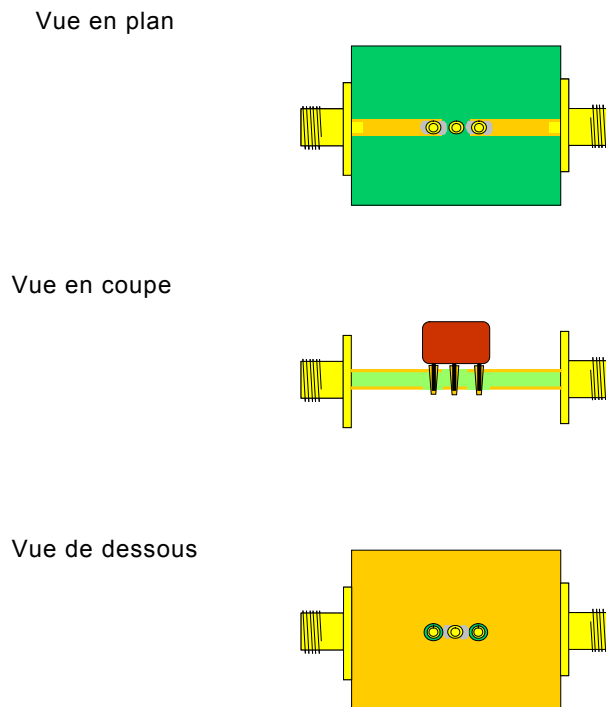


Figure 22 – Montage d'essai pour un filtre à trois bornes avec conducteurs

7.1.2.4 Montages d'essai pour un dispositif à noyau

Un dispositif en essai, tel que des noyaux en ferrite ou des perles de ferrite, est mesuré à l'aide d'un montage d'essai dans lequel un fil conducteur est introduit dans l'orifice du dispositif en essai comme illustré à la Figure 23. Voir également l'Annexe H.

Il convient de veiller à positionner le fil au centre de l'orifice à l'aide d'une entretoise. Le fil devant être introduit dans l'orifice doit être parallèle au plan de masse.

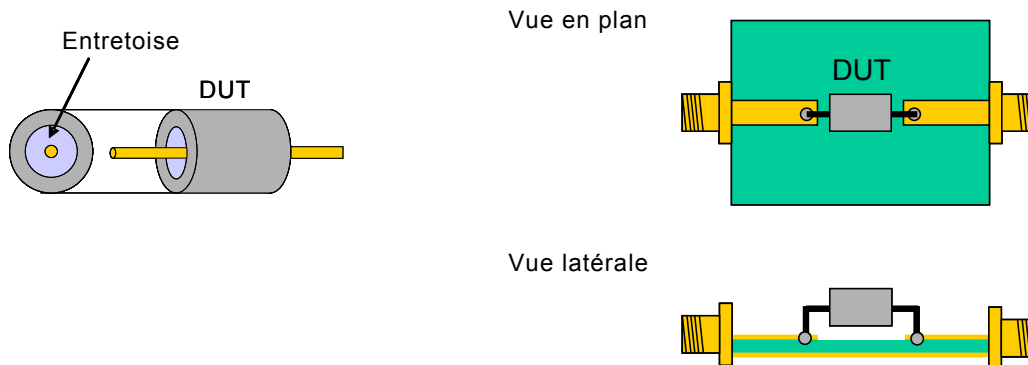


Figure 23 – Montage d'essai pour un dispositif à noyau

7.2 Etalonnage du montage d'essai

Des câbles et un montage d'essai fixés à l'analyseur de réseau affectent les résultats de mesure. L'étalonnage doit donc être réalisé pour supprimer ces effets.

L'une des méthodes d'étalonnage suivantes à n accès doit être utilisée:

- a) étalonnage SOLT: quatre types de références d'étalonnage (étalons) (court-circuit/circuit ouvert/sous charge/direct) sont utilisés.
- b) étalonnage TRL: trois types de références d'étalonnage (direct/réflexion/ligne [6]) sont utilisés.

Se reporter au manuel d'instructions de l'analyseur pour les détails concernant la procédure d'étalonnage.

NOTE Lorsque seul l'affaiblissement d'insertion $1/|S_{21}|$, est requis, un étalonnage utilisant un étalon direct (c'est-à-dire un étalonnage direct) est suffisant. Cependant, une calibration à 2 ports est une alternative d'une précision supérieure.

Des exemples de référence d'étalonnage (microbandes) pour l'étalonnage TRL sont présentés ci-dessous.

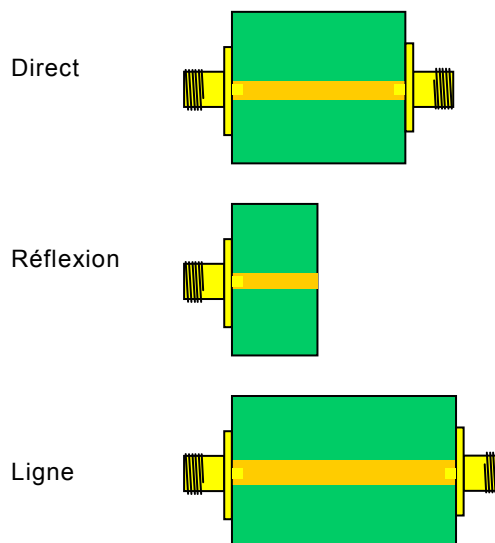


Figure 24 – Exemple d'étalons applicables à l'étalonnage TRL

7.3 Incertitudes de mesure

Les facteurs suivants doivent être pris en compte pour l'évaluation des incertitudes associées aux mesures qui utilisent un analyseur de réseau vectoriel:

- composantes d'incertitude associées à l'analyseur de réseau (se reporter aux valeurs du constructeur);
- composantes d'incertitude associées au montage d'essai (se rapporter aux spécifications du fabricant, si disponibles);
- composantes d'incertitude associées à la variation des conditions de mesure (évaluées par des mesures répétées).

Les détails sont fournis à l'Annexe A.

8 Présentation des résultats

8.1 Généralités

Le rapport de mesures doit comprendre au moins les données spécifiques suivantes:

- a) installation d'essai (instrument de mesure et montage d'essai);
- b) conditions de mesure: sortie RF (courant, tension), tension ou courant de polarisation, etc.;
- c) conditions environnementales: température, humidité, etc.;
- d) méthode d'étalonnage/validation;
- e) point de mesure;
- f) résultats des mesures (par exemple, sous forme de tableau ou de schéma indiquant l'affaiblissement d'insertion en décibels en fonction de la fréquence, par des coordonnées orthogonales semi-logarithmiques);
- g) incertitude de mesure;
- h) description (photographie ou croquis) du branchement et du montage du dispositif dans le circuit d'essai, en indiquant la forme et les dimensions du boîtier/montage d'essai, ainsi que les conducteurs de liaison (s'il y a lieu);
- i) description exacte du dispositif en essai (par exemple, numéro de commande, numéro de série, données techniques, schéma de circuit);
- j) date et heure des mesures;
- k) nom et fonction de la personne ayant effectué les mesures;
- l) normes et spécifications référencées; et
- m) affaiblissement d'insertion, impédance et paramètres S selon le paramètre à mesurer, conformément à 8.2 à 8.4.

8.2 Affaiblissement d'insertion

Le rapport de mesure doit comprendre les données spécifiques suivantes:

- impédance du circuit d'essai,
- affaiblissement d'insertion mesurable maximal du circuit d'essai.

8.3 Impédance

Le rapport de mesure doit comprendre l'impédance de référence d'accès en cas d'utilisation de la méthode indirecte. L'impédance ne figure pas dans le rapport d'essai dans le cas de la méthode directe.

8.4 Paramètres S

Le rapport de mesure doit comprendre les affectations de ports et l'impédance de référence d'accès.

Annexe A (normative)

Estimation de l'incertitude pour la mesure des caractéristiques des dispositifs de filtrage CEM

A.1 Procédure d'estimation

A.1.1 Généralités

Considérer en premier lieu la relation entre le mesurande Y (affaiblissement d'insertion, impédance ou paramètres S) et les grandeurs d'entrée X_i desquelles dépend Y . Il convient que la relation comporte chaque grandeur, y compris toutes les corrections et tous les facteurs de correction, susceptibles de représenter une composante significative d'incertitude pour le résultat de mesure.

Déterminer ensuite x_i , la valeur estimée de la grandeur d'entrée X_i , soit sur la base de l'analyse statistique de la série d'observations, soit par d'autres moyens.

A.1.2 Incertitude-type: $u(x_i)$

A.1.2.1 Généralités

Afin d'énumérer chaque grandeur d'influence contribuant à l'incertitude de mesure globale, identifier la grandeur d'influence x_i par rapport à son type, soit par une évaluation statistique (Type A), soit par une autre méthode (Type B). La méthode de type B doit être utilisée en présence de données de fabrication ou d'étalonnage, la méthode de type A doit pour sa part être limitée aux matériels pour lesquels ce type de données ne peut pas être mis à disposition (par exemple, adaptateurs ou montages d'essai spéciaux).

A.1.2.2 Type A (méthode statistique)

La méthode d'évaluation de type A peut être fondée sur toute méthode statistique valable pour le traitement des données.

Une méthode statistique permet de déterminer les statistiques descriptives des lectures (c'est-à-dire la valeur moyenne μ et l'écart-type σ des lectures). L'incertitude-type $u(x_i)$ représente l'écart-type de la moyenne de n mesures, exprimée par

$$u(x_i) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.1})$$

où n est le nombre de lectures.

A.1.2.3 Type B (autres méthodes)

Cette démarche nécessite d'identifier toutes les composantes d'incertitude significatives, ainsi qu'une estimation de leur amplitude. Par ailleurs, une fonction de loi de probabilité appropriée doit être choisie afin de « normaliser » chaque facteur de contribution à un écart-type.

La méthode de type B est fondée sur toutes les informations pertinentes disponibles, telles que les informations suivantes:

- a) données de mesures précédentes;
- b) spécifications du constructeur;

- c) données contenues dans le rapport d'étalonnage ou d'autres rapports;
- d) estimations basées sur l'expérience;
- e) autres données.

A.1.3 Incertitude-type composée: $u_c(y)$

Les écarts-types de toutes les composantes d'incertitude normalisées, c'est-à-dire les incertitudes-types $u(x_i)$, sont ensuite combinés pour déterminer l'incertitude-type composée $u_c(y)$ de la manière suivante (avec racine carrée):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i [c_i u(x_i)]^2} \quad (\text{A.2})$$

où c_i est appelé coefficient de sensibilité et décrit de quelle manière l'estimation y varie en fonction des modifications des valeurs de l'estimation d'entrée x_i .

A.1.4 Incertitude élargie: U

Un facteur d'élargissement k est appliqué pour élargir l'incertitude-type composée, afin de montrer l'intervalle ayant un niveau de confiance (par exemple, $k = 2$ pour un niveau de confiance d'environ 95 %).

L'équation suivante permet d'obtenir l'incertitude élargie.

$$U = k u_c(y) \quad (\text{A.3})$$

A.2 Consignation de l'incertitude

La méthode correcte de consignation de l'incertitude de mesure dans un rapport d'essai consiste à inclure une déclaration de l'incertitude élargie et du facteur k , avec le niveau de confiance. Par exemple:

Résultat de mesure = $(y \pm U)$ dB ou Ω , $k = 2$ (niveau de confiance de 95 %)

Noter que toute analyse de l'incertitude de mesure est basée sur un ensemble d'hypothèses. Ces dernières doivent être définies et documentées. Si le scénario de mesure réel s'écarte de ces hypothèses, l'estimation de l'incertitude n'est pas valable et doit faire l'objet d'un nouveau calcul afin de traiter l'écart.

A.3 Exemple de calcul de l'incertitude de mesure – affaiblissement d'insertion

L'analyse de l'incertitude spécifiée dans le Tableau A.1 démontre l'application de la démarche du Guide 98-3 ISO/CEI [4] à une méthode de mesure de l'affaiblissement d'insertion définie en 5.3. Il est supposé qu'une analyse de type B doit être effectuée, ce qui nécessite d'identifier tous les facteurs d'influence pertinents, ainsi qu'une estimation de leur amplitude. En cas de mesure d'un nombre important de filtres, comme dans le cas d'un milieu de production, l'analyse de l'incertitude de mesure peut également être basée sur une méthode de type A. Dans chaque cas, la détermination de l'amplitude de la répétabilité de mesure est basée sur une analyse de type A, dans laquelle le mesurande (c'est-à-dire l'affaiblissement d'insertion du filtre) est déterminé de manière répétée dans une série de mesures.

Tableau A.1 – Incertitude de mesure de l'affaiblissement d'insertion (exemple)

Source d'incertitude	Valeur dB	Loi de probabilité	Diviseur	Coefficient de sensibilité	Incertitude type dB
Générateur de signaux (G) ^a	0,2	Rectangulaire	1,732	1	0,12
Récepteur ^a	0,2	Rectangulaire	1,732	1	0,12
Validation du montage d'essai ^b	0,5	Rectangulaire	1,732	1	0,29
Répétabilité	0,1	Normale	1	1	0,1
Incertitude-type composée (u_C)	-	-	-	-	0,35
Incertitude élargie (U) pour $k=2$	-	-	-	-	0,70
^a Si un analyseur de réseau est utilisé, il peut n'y avoir qu'une seule valeur applicable à l'équipement de mesure complet (G + récepteur), la valeur de l'incertitude étant principalement déterminée par la stabilité de l'équipement de mesure. ^b L'incertitude de mesure issue du montage d'essai (câbles, boîte d'essai, etc.) est le résultat de la procédure de vérification comme mentionné en 5.4.2 ou 5.4.3.					

Selon les hypothèses documentées ci-dessous, l'incertitude élargie pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion du filtre, de mode commun, cas non polarisé, est de $\pm 0,70$ dB.

- a) La gamme de fréquences concernée pour cette mesure est supposée comprise entre 10 kHz et 1 GHz.
- b) L'installation de mesure est mise en œuvre conformément à la Figure 8.
- c) La procédure de mesure soulignée en 5.3 est respectée scrupuleusement.
- d) Une validation du caractère approprié du montage d'essai, conformément à 5.4.2 est effectuée préalablement à la mesure de l'affaiblissement d'insertion réel. Cette mesure de vérification démontre que le montage d'essai est adapté à la mesure d'une valeur constante de l'affaiblissement d'insertion dans des limites de $\pm 0,5$ dB dans la gamme de fréquences requise, en cas de mesure de l'affaiblisseur étalon.

De plus, l'analyse d'incertitude pour la mesure de perte d'insertion prendra en compte les précautions suivantes:

- 1) Un instrument d'essai peut comprendre le système d'essai (c'est-à-dire le générateur de signaux et le récepteur).
- 2) Les perturbations rayonnées dans l'environnement pouvant influencer les résultats d'essai de manière significative, des mesures doivent être prises pour réduire l'erreur générée par de telles perturbations externes à une valeur acceptable. Il peut se révéler nécessaire d'utiliser une boîte d'essai blindée ou de blinder intégralement le montage d'essai. La valeur résiduelle générée par les perturbations doit être au moins de 6 dB inférieure au signal mesuré.
- 3) L'utilisation d'affaiblisseurs de séparation (intégrés dans le montage d'essai au niveau de la sortie du générateur de signaux et de l'entrée du récepteur de mesure) est recommandée pour réduire l'influence du rapport d'ondes stationnaires et des résonances sur le résultat d'essai. Les affaiblisseurs de séparation ne sont pas requis si un étalonnage à deux ports est appliqué avec un VNA.
- 4) L'évaluation de l'incertitude doit être effectuée avec les circuits illustrés aux Figures 8 et 9, respectivement (selon qu'un essai avec ou sans courant ou tension de polarisation est effectué).
- 5) L'influence par désadaptation des connecteurs, des câbles et de la boîte d'essai est traitée par la mesure de vérification décrite en 5.4.2 et 5.4.3.

A.4 Exemple de calcul de l'incertitude de mesure – impédance

L'analyse de l'incertitude présentée dans le Tableau A.2 démontre la démarche d'estimation de l'incertitude appliquée à une méthode de mesure de l'impédance définie en 6.2.

Tableau A.2 – Incertitude de mesure de l'impédance (exemple)

Source d'incertitude	Valeur %	Loi de probabilité	Diviseur	Coefficient de sensibilité	Incertitude type %
Équipement de mesure de l'impédance	0,66	Rectangulaire	1,732	1	0,12
Montage d'essai	0,5	Rectangulaire	1,732	1	0,29
Répétabilité	0,29	Normale	1	1	0,29
Incertitude-type composée (u_C)	-	-	-	-	0,48
Incertitude élargie (U) pour $k=2$	-	-	-	-	0,96

Selon les hypothèses documentées ci-dessous, l'incertitude élargie pour la mesure de l'impédance à une fréquence de 100 MHz, sans courant ou tension de polarisation, est de $\pm 0,96$ %.

- La mesure est effectuée conformément à 6.2 et à l'Annexe F.
- Le dispositif en essai est une inductance de type CMS et son paramètre typique $|Z| = 1 \text{ k}\Omega$ à une fréquence de 100 MHz.
- Un étalonnage OPEN/SHORT/LOAD (circuit ouvert/court-circuit/charge) permet d'effectuer l'étalonnage de l'équipement de mesure de l'impédance.
- L'installation d'essai (montage d'essai) est vérifiée par les connexions OPEN (en circuit ouvert) (accès d'essai non connecté à GND (masse)) et SHORT (en court-circuit) (puce de petite dimension identique au dispositif en essai utilisé).

A.5 Exemple de calcul de l'incertitude de mesure – paramètres S

L'analyse de l'incertitude présentée dans le Tableau A.3 démontre la démarche d'estimation de l'incertitude appliquée à une méthode de mesure de S_{21} et S_{12} à 100 MHz sans polarisation, tandis que le Tableau 4 décrit un exemple d'incertitudes pour les mesures de S_{11} and S_{22} .

Tableau A.3 – Incertitudes de mesure du paramètre $|S_{21}|$ et $|S_{12}|$ (exemple)

Source d'incertitude	Valeur dB	Loi de probabilité	Diviseur	Coefficient de sensibilité	Incertitude type dB
Analyseur de réseau	0,026	Rectangulaire	1,732	1	0,015
Montage d'essai (étalonnage)	0,498	Rectangulaire	1,732	1	0,288
Répétabilité	0,078	Normale	1	1	0,078
Incertitude-type composée (u_C)	-	-	-	-	0,30
Incertitude élargie (U) pour $k=2$	-	-	-	-	0,60

Tableau A.4 – Incertitudes de mesure du paramètre $|S_{11}|$ et $|S_{22}|$ (exemple)

Source d'incertitude	Valeur dB	Loi de probabilité	Diviseur	Coefficient de sensibilité	Incertitude type dB
Analyseur de réseau	0,014	Rectangulaire	1,732	1	0,008
Montage d'essai (étalonnage)	0,027	Rectangulaire	1,732	1	0,016
Répétabilité	0,010	Normale	1	1	0,010
Incertitude-type composée (u_C)	-	-	-	-	0,021
Incertitude élargie (U) pour $k=2$	-	-	-	-	0,04

Selon les hypothèses documentées ci-dessous, les incertitudes élargies pour la mesure de l'amplitude de S_{21} et S_{12} , et S_{11} et S_{22} sont de 0,60 dB et 0,04 dB, respectivement.

NOTE Pour les dispositifs d'affaiblissement d'insertion élevés, l'incertitude des coefficients de transmission S_{21} et S_{12} pourraient augmenter significativement en raison de l'erreur de diaphonie de l'analyseur de réseau.

- a) La mesure est effectuée conformément au 7.1 de la présente norme.
- b) Le dispositif en essai est une inductance de type CMS, ses paramètres typiques sont $20\log |S_{21}| = -20$ dB et $20\log |S_{11}| = -0,94$ dB à 100 MHz.
- c) L'étalonnage TRL permet d'effectuer l'étalonnage de l'analyseur de réseau. Le niveau d'émission est de 0 dBm et la largeur de bande IF est de 100 Hz.
- d) Le montage d'essai est mis en œuvre conformément à la Figure 18.

Annexe B (informative)

Exemples de boîtes d'essai pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion

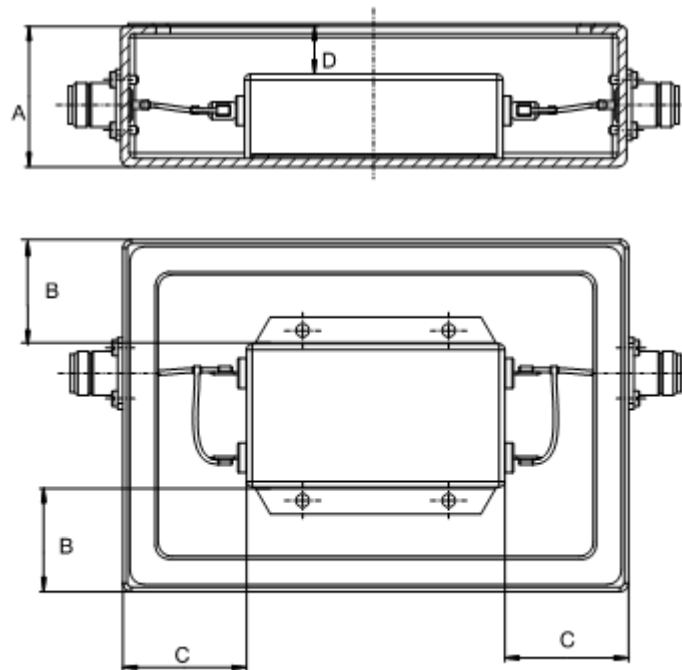
B.1 Installation et filtres d'appareillage

B.1.1 Généralités

Il convient de monter un dispositif de filtrage CEM en essai sur une boîte d'essai appropriée. A moins que le dispositif d'essai particulier ne soit défini par ailleurs pour une application spécifique, par l'utilisateur, le constructeur ou l'autorité d'essai selon le cas, le boîtier d'essai est conforme à la description suivante.

B.1.2 Construction de la boîte d'essai

Se reporter aux Figures B.1 et B.2. Les éléments et filtres d'antiparasitage dépourvus de leurs écrans et prises coaxiales propres aux entrées et aux sorties sont placés, pour les mesures, dans un boîtier d'essai dont les dimensions sont fonction de celles du dispositif en essai (par exemple, sa longueur l , sa hauteur h et sa largeur w). Un boîtier est une boîte munie d'un couvercle métallique et constituée d'un métal non magnétique. Il convient que toute boîte destinée à la mesure de condensateurs et filtres traversant à brides de fixation comporte une cloison intérieure percée d'un trou pour la fixation de ces condensateurs et filtres. Il convient d'établir un contact électrique fiable entre les différentes parties du boîtier. Les différentes parties de l'enveloppe sont réunies par soudage ou soudure autogène continue des joints; le couvercle et l'enveloppe sont réunis par un dispositif de contact à ressort ou par un joint fileté. Il convient de veiller tout particulièrement à ce que le couvercle fasse bon contact avec la bride sur toute sa longueur lorsque l'on mesure des condensateurs coaxiaux traversant et des filtres du même type. Les prises coaxiales sont montées sur deux parois du boîtier.



NOTE « A » est la hauteur totale de la boîte d'essai. Voir B.1.3 pour les valeurs recommandées des dimensions de B, C et D.

Figure B.1 – Conception d'une boîte d'essai typique pour des filtres polyvalents

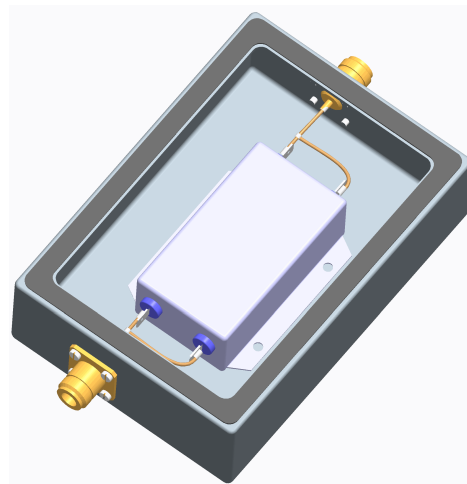


Figure B.2 – Vue tridimensionnelle d'une boîte d'essai typique pour des filtres polyvalents

B.1.3 Montage des dispositifs de filtrage CEM dans les boîtes d'essai

Les filtres en essai sont montés dans la boîte d'essai comme prévu en utilisation normale, par exemple, fixés par vissage sur le fond de la boîte ou installés par serrage RF sur la paroi de blindage intérieure de la boîte dans le cas d'un filtre traversant. Les fils de connexion sont aussi courts que possible afin d'éviter toute erreur due aux inductances et capacités de couplage et parasites.

La boîte est choisie de manière à n'être que légèrement plus grande que le filtre en essai; les valeurs recommandées sont B = 5 cm, C = 5 cm, D = 5 cm.

B.2 Éléments traversant

Les condensateurs et filtres traversant à brides de fixation sont montés comme illustré aux Figures B.3 et B.4.

Si le raccordement à la masse est effectué par l'intermédiaire d'un fil, ce fil est utilisé dans la longueur spécifiée par le constructeur et disposé en ligne droite. D'autres types de bornes sont connectés au châssis métallique par un fil aussi court que l'usage pratique le permet.

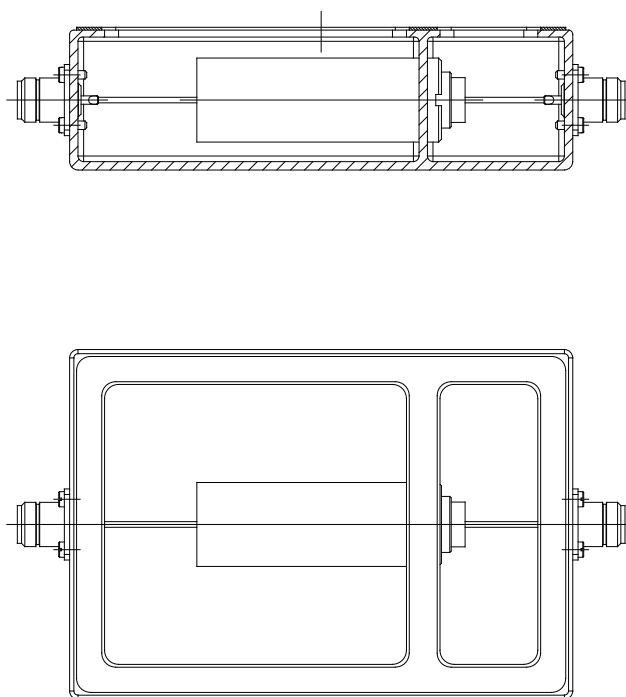


Figure B.3 – Conception d'une boîte d'essai typique pour des éléments traversant

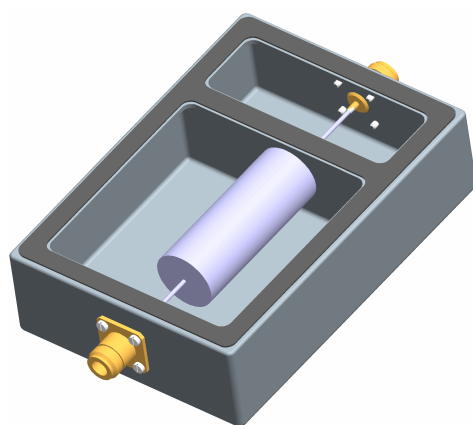


Figure B.4 – Vue tridimensionnelle d'une boîte d'essai typique pour des éléments traversant

B.3 Éléments discrets

B.3.1 Condensateurs

Les condensateurs munis de deux fils sont montés comme cela est prévu par le constructeur (par exemple, sur une carte de circuits imprimés). Si les éléments comportent des liaisons par fil, il convient de veiller à ce que la longueur de chaque fil soit de 6 mm pour les fils nus ou de 50 mm pour les fils avec isolant, sauf spécification contraire.

B.3.2 Inductances

Le montage et les connexions des inductances sont similaires à ceux des filtres comme décrit en B.1. Il convient de veiller à ce qu'il y ait une distance suffisante entre les parties métalliques de la boîte d'essai et l'inductance, afin d'éviter tout couplage magnétique. Les inductances sont reliées aux bornes de la boîte d'essai comme cela est prévu par le constructeur (par exemple, par montage sur une carte de circuits imprimés). Les fils de connexion sont droits et aussi courts que possible.

B.3.3 Résistances, câbles et autres dispositifs d'antiparasitage utilisés pour la réduction des perturbations dues aux dispositifs d'allumage des véhicules

Il convient que la fixation, le raccordement et l'exécution des mesures soient conformes aux exigences de la CISPR 12 [1].

Annexe C (informative)

Méthodes d'essai de l'affaiblissement d'insertion avec des systèmes autres que des systèmes à 50 Ω

C.1 Système 0,1 Ω / 100 Ω

C.1.1 Généralités

Ces systèmes sont utilisés pour des filtres réseau.

Dans cette méthode, au lieu de mesurer l'affaiblissement d'insertion dans un système 50 Ω/50 Ω (75 Ω/75 Ω), le filtre est mesuré dans un système 0,1 Ω/100 Ω (et inversement). Dans la gamme de fréquences de 1 kHz à 300 kHz, deux transformateurs à large bande sont nécessaires (1,4:1 et 22:1 pour un système à 50 Ω). Voir Figure C.1.

NOTE Pour certains filtres, par exemple des ferrites à haute perméabilité, de 0,1 Ω/1,0 MΩ le système fournit le pire cas d'affaiblissement d'insertion.

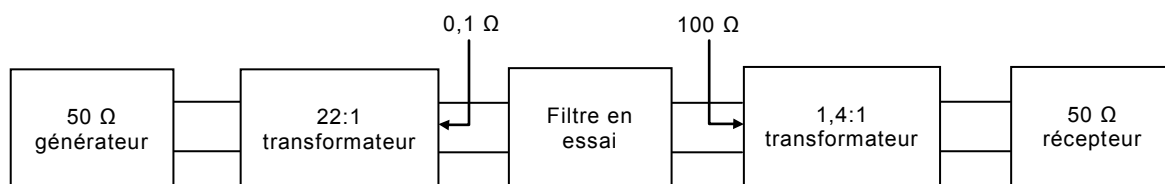


Figure C.1 – Circuit d'essai

C.1.2 Théorie de la méthode

L'objectif de cette méthode de mesure est de déterminer, en fonctionnement réel, avec des impédances d'interface incertaines, que le filtre:

- a) dans la bande d'arrêt stipulée, a une caractéristique d'affaiblissement d'insertion bonne et raisonnablement prévisible, et
- b) dans la bande passante, ne manifeste pas une résonance inacceptable.

La méthode tient compte des conditions limites représentant les circuits réels en termes des impédances déterminées empiriquement à partir de données statistiques (sources et charges).

L'analyse théorique de filtres non adaptés permet de décrire trois zones distinctes d'anomalies:

- 1) La résonance dans la bande passante et dans la bande de transition est causée par deux mécanismes différents d'importance différente:
 - i) des résonances d'interface (le filtre résonne avec le générateur et/ou les impédances de charge correspondant aux extrémités des paramètres images). Heureusement, dans les circuits réels, ces résonances sont fortement amorties par le faible Q du circuit équivalent. (Une exception se produit dans le mode commun, mais il est facile d'y remédier.)
 - ii) une résonance prononcée qui peut être attribuée aux résonances propres du filtre. Des résonances propres critiques peuvent se produire si, et seulement si, une impédance d'interface est très supérieure et l'autre, très inférieure à l'impédance caractéristique du filtre. Alors, le Q élevé du filtre, proprement dit, est dominant. Ce

mécanisme peut conduire à un gain d'insertion (affaiblissement d'insertion négatif) pouvant atteindre 30 dB. Ce phénomène se manifeste dans un système de mesure $0,1 \Omega/100 \Omega$ (et inversement). Il peut être éliminé par un filtre de conception adéquate.

NOTE Les résonances propres se produisent pour toute combinaison d'extrémités de 0Ω ou $\infty \Omega$ effectives.

- 2) Rendement médiocre de la partie basse de la bande d'arrêt. En général, pour les filtres passe-bas tels que les filtres réseau, les effets du désaccord d'impédance sont les plus marquants aux fréquences de la partie la plus basse de la bande d'arrêt. Dans ce cas, la méthode $0,1 \Omega/100 \Omega$ (et inversement) permet d'identifier tout filtre qui s'écarte fortement des performances attendues à partir des résultats des mesures dans un système à 50Ω . Dans ce contexte, il convient de souligner que les filtres multiples (filtres «compartimentés») sont non seulement bien meilleurs, dans le cas d'un fort désaccord, que les filtres simples, mais également qu'ils sont beaucoup plus petits et économiques (pour les détails, voir [7]).
- 3) Méthode de mesure. Les essais sont effectués avec le circuit illustré à la Figure C.1.

De plus, des essais sont effectués en changeant et en inversant les transformateurs. Les transformateurs sont à large bande (ferrite) et couvrent la gamme de fréquences de 1 kHz à 300 kHz. Pour les systèmes à 75Ω , les rapports de transformation sont de 27:1 et 1,15:1.

Il convient de noter qu'en présence d'un équipement de sensibilité appropriée, il peut être possible d'utiliser des circuits d'essai avec des extrémités de résistance requise sans aucun transformateur.

Pour un filtre satisfaisant, dans la gamme de fréquences de 1 kHz à 100 kHz, il convient que le gain d'insertion maximal à n'importe quelle fréquence soit inférieur à 10 dB. Pour la gamme de fréquences de la bande d'arrêt, il convient que l'affaiblissement d'insertion ne s'écarte pas de plus de 10 dB de la valeur spécifiée.

Annexe D (informative)

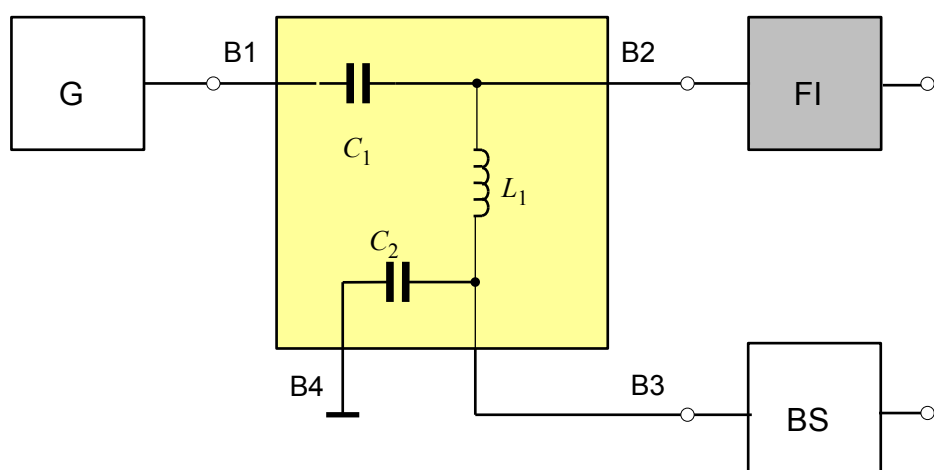
Constitution du réseau tampon pour la mesure de l'affaiblissement d'insertion

D.1 Généralités

Il est nécessaire d'utiliser le réseau tampon pour les mesures effectuées dans des conditions de polarisation afin de découpler la source de courant de polarisation du montage d'essai (générateur, récepteur et dispositif en essai).

D.2 Disposition d'un réseau tampon typique

La disposition d'un réseau tampon typique est illustrée à la Figure D.1.



Légende

G	générateur de signaux
FI	dispositif de filtrage CEM (dispositif en essai)
BS	source de courant de polarisation
L_1	inductance de découplage
C_1	condensateur de couplage pour un signal RF
C_2	condensateur de découplage pour courant ou tension de polarisation
B1	borne de connexion du générateur de signaux/récepteur
B2	borne de connexion du dispositif en essai
B3	borne de connexion de la source de courant de polarisation
B4	borne de connexion au potentiel de référence

Figure D.1 – Exemple de connexion de réseaux tampons pour un essai avec courant de polarisation

Il convient que le condensateur C_1 couple le signal RF au circuit de mesure et découple le générateur de signaux RF du circuit de polarisation. Il convient que l'impédance soit faible sur la gamme de fréquences considérée, par rapport à l'impédance de la source de signal RF et à l'impédance du dispositif en essai, observée de la borne B2, où il doit être tenu compte de la plus faible valeur.

Il convient que l'inductance L_1 découple la source de courant de polarisation du circuit de mesure RF. Il convient que l'impédance soit élevée sur la gamme de fréquences considérée, par rapport à l'impédance de la source de signal RF et à l'impédance du dispositif en essai, observée de la borne B2, où il doit être tenu compte de la plus grande valeur. Il convient que le courant de polarisation maximal devant être appliqué au dispositif en essai ne contribue pas à la saturation de l'inductance.

Il convient que le condensateur C_2 et l'inductance L_1 protègent la source de courant de polarisation contre le signal RF. Il convient que l'impédance soit faible sur la gamme de fréquences considérée, par rapport à l'impédance RF de la source de courant de polarisation. Il convient, si possible, d'utiliser un condensateur de type traversant.

Il convient que la fréquence propre des éléments C_1 , C_2 et L_1 ne se situe pas dans la gamme de fréquences considérée et il convient que ces éléments soient connectés en fonction des principes de disposition conformes à la fréquence radioélectrique.

Il convient de déterminer au moyen d'un essai préliminaire sans courant (dispositif en essai non soumis à un courant polarisé), et ce, avant de vérifier par essai l'affaiblissement du dispositif en essai soumis à un courant de polarisation, que les essais effectués dans la gamme de fréquences considérée ne subissent pas l'influence de la présence des réseaux tampons et de la source de courant de polarisation.

D.3 Exemple de réseau tampon (0,1 MHz à 30 MHz)

Le Tableau D.1 comporte les recommandations concernant un réseau tampon destiné à être utilisé dans la gamme de fréquences comprise entre 0,1 MHz et 30 MHz.

Tableau D.1 – Spécifications des éléments constitutifs des réseaux tampons

Réseau tampon pour la gamme comprise entre 0,1 MHz et 30 MHz		
Élément	Type	Valeur
C_1	Condensateur à faible inductivité	100 nF
C_2	Condensateur traversant ou condensateur à faible inductivité	1 μ F
L	Bobine de réactance à noyau I	10 mH

Ces valeurs L et C sont considérées uniquement comme des valeurs de recommandation. Il peut se révéler nécessaire de les adapter pour la mesure d'un dispositif en essai donné, par exemple, dans le cas d'un filtre avec un affaiblissement d'insertion très élevé afin d'éviter toute influence éventuelle sur le résultat de mesure.

Annexe E (informative)

Mesure de l'affaiblissement d'insertion – Discussion générale

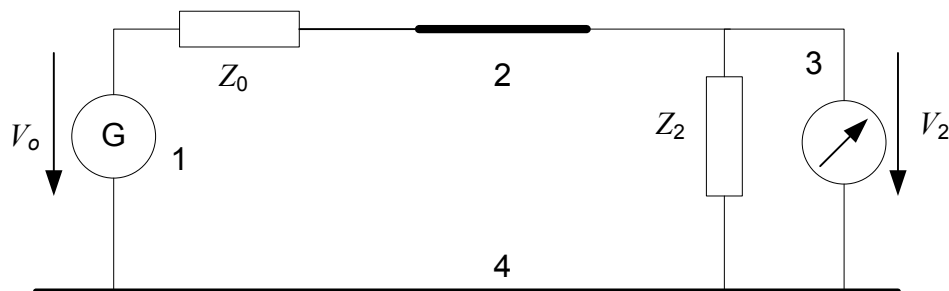
E.1 Théorie de la mesure de l'affaiblissement d'insertion

E.1.1 Généralités

La mesure de l'affaiblissement d'insertion est une méthode normalisée de détermination de la réduction des perturbations RF par un filtre ou tout circuit d'antiparasitage.

En premier lieu, une mesure de référence est effectuée avec une connexion courte entre le générateur de signaux et le récepteur, la tension V_{20} étant mesurée à la borne Z_2 . Voir Figure E.1.

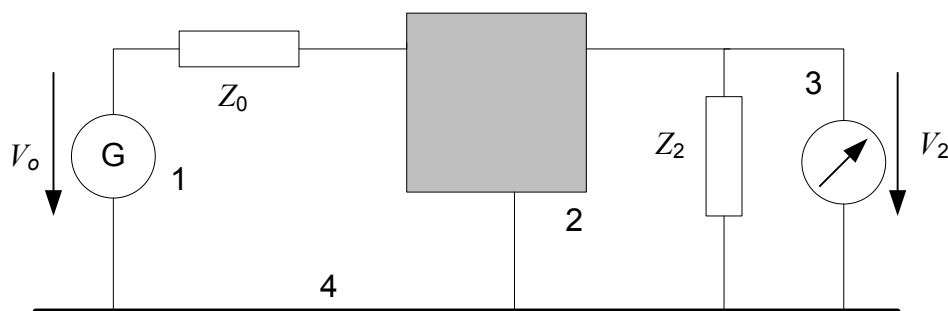
Ensuite, le filtre est intégré au circuit d'essai (voir Figure E.2), une seconde mesure étant effectuée pour déterminer la tension V_2 à la borne Z_2 .



Légende

- | | |
|-------|---|
| 1 | générateur de signaux |
| 2 | court-circuit |
| 3 | récepteur de mesure |
| 4 | potentiel de référence (plan de masse métallique) |
| V_0 | tension du générateur en circuit ouvert |
| V_2 | tension de sortie |
| Z_0 | impédance du générateur |
| Z_2 | impédance du récepteur |

Figure E.1 – Circuit d'essai pour la mesure d'affaiblissement d'insertion, mesure de référence (court-circuit se substituant au filtre)



Légende

- 1 générateur de signaux
- 2 dispositif de filtrage CEM en essai
- 3 récepteur de mesure
- 4 potentiel de référence (plan de masse métallique)
- V_o tension du générateur en circuit ouvert
- V_2 tension de sortie
- Z_0 impédance du générateur
- Z_2 impédance du récepteur

Figure E.2 – Circuit d’essai pour la mesure d’affaiblissement d’insertion, mesure du filtre en essai

E.1.2 Définition

L’affaiblissement d’insertion est défini en dB par la formule suivante:

$$a_e = 20 \log \frac{V_{20}}{V_2} = 20 \log \frac{V_o}{2V_2} , \tag{E.1}$$

pour lesquels $Z_0 = Z_2 = 50 \ \Omega$

et ainsi $V_2 = \frac{V_o}{2}$.

E.2 Mesure de l’affaiblissement d’insertion

E.2.1 Méthode d’essai d’origine

Comme défini dans les normes précédentes, la mesure de l’affaiblissement d’insertion comporte une première mesure utilisant le circuit d’essai illustré à la Figure E.1 pour obtenir la tension de référence, puis une seconde mesure après insertion du filtre illustré à la Figure E.2, soit un balayage complet ou pour chaque fréquence d’essai séparément. Les résultats des deux mesures sont convertis en valeurs d’affaiblissement d’insertion par la formule ci-dessus.

E.2.2 Méthode d'essai simplifiée

Les générateurs de signaux et récepteurs modernes effectuent habituellement une seule mesure de la tension V_2 à l'extrémité Z_2 , avec intégration du filtre. La mesure de référence peut être omise si l'évaluation détermine que le générateur de signaux fournit une tension constante V_0 même en cas de connexion d'un filtre en essai à faible impédance (par exemple, du fait de valeurs élevées du condensateur du filtre).

Si le générateur de signaux est suffisamment stable, la « tension de référence » correspond toujours à la demi-valeur de V_0 , ainsi qu'à une valeur constante introduite dans la formule ci-dessus. Ceci permet d'effectuer des mesures plus rapides et moins coûteuses qui peuvent également être entièrement automatisées, ce qui constitue par ailleurs une condition préalable pour les essais en usine.

Annexe F (informative)

Installation de mesure de l'impédance

F.1 Généralités

La présente Annexe décrit un exemple de mesure de l'impédance au moyen d'un équipement de mesure adapté.

F.2 Exemple d'installation de mesure

F.2.1 Bi-ports avec conducteurs

Un équipement de mesure de l'impédance à quatre bornes est utilisé pour effectuer les mesures. Les Figures F.1 et F.2 montrent l'installation de mesure et le montage d'essai à quatre bornes pour le dispositif à conducteurs, respectivement. Cette configuration permet d'effectuer des mesures jusqu'à une fréquence maximale d'environ 100 MHz.

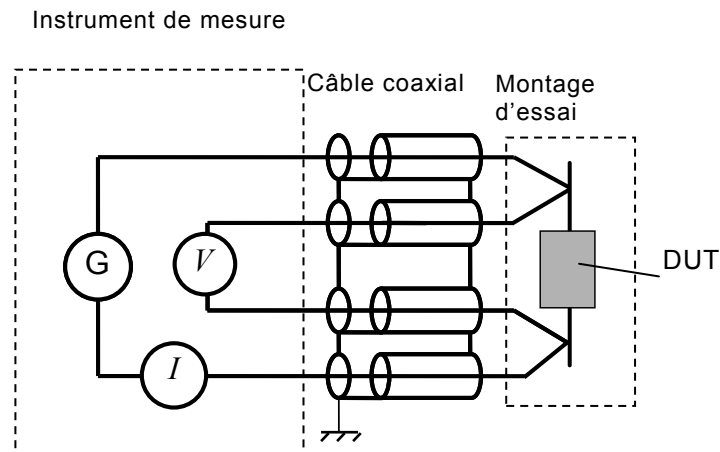
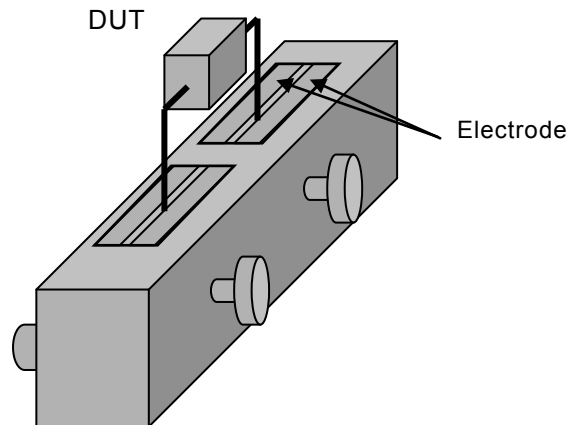


Figure F.1 – Installation de mesure pour un dispositif à conducteurs (DUT)



NOTE Un dispositif en essai de grande dimension avec conducteurs est mesuré dans la gamme de fréquences jusqu'à environ 100 MHz. Le dispositif en essai est installé à l'aide de plaques d'électrode par serrage des vis. Les électrodes sont reliées aux connecteurs sur la partie arrière.

Figure F.2 – Montage d'essai à quatre bornes pour un dispositif à conducteurs (DUT)

F.2.2 Composant monté en surface (CMS)

F.2.2.1 Dispositif de mesure

Un instrument de mesure de l'impédance est utilisé pour effectuer les mesures comme illustré à la Figure F.3.

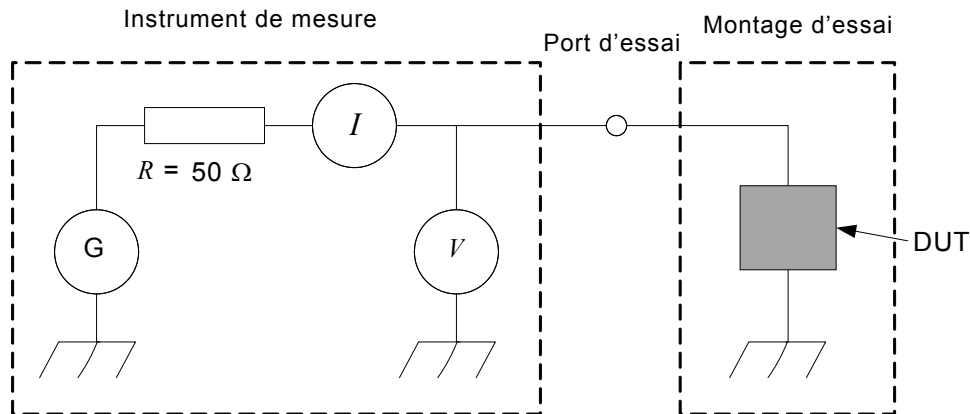


Figure F.3 – Installation de mesure pour un CMS

F.2.2.2 Installation de mesure à bride

La Figure F.4 illustre le montage d'essai à bride du bi-ports. Cette configuration permet d'effectuer des mesures jusqu'à une fréquence maximale d'environ 2 GHz.

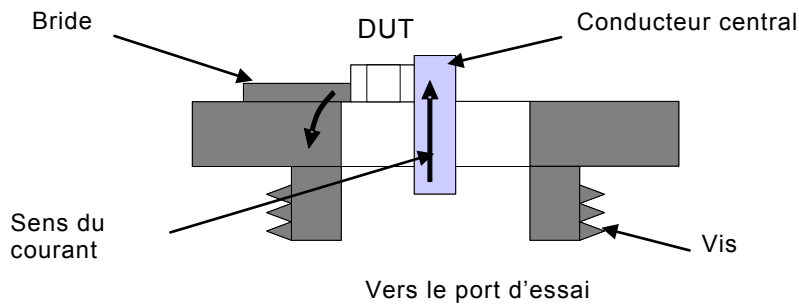


Figure F.4 – Montage d'essai à bride

F.2.2.3 Mesure à l'aide d'un montage d'essai coaxial

Un équipement de mesure de l'impédance est utilisé pour effectuer les mesures. La Figure F.5 illustre un montage d'essai coaxial du bi-accès. Cette configuration permet d'effectuer des mesures jusqu'à une fréquence maximale d'environ 3 GHz.

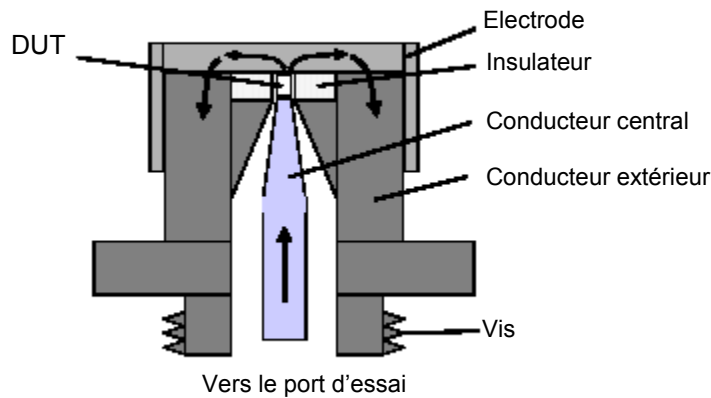


Figure F.5 – Montage d'essai coaxial pour un CMS

F.2.2.4 Mesure à l'aide d'un montage d'essai à pousoir

Un équipement de mesure de l'impédance est utilisé pour effectuer les mesures. La Figure F.6 illustre un montage d'essai à pousoir du bi-accès. Cette configuration permet d'effectuer des mesures jusqu'à une fréquence maximale d'environ 3 GHz.

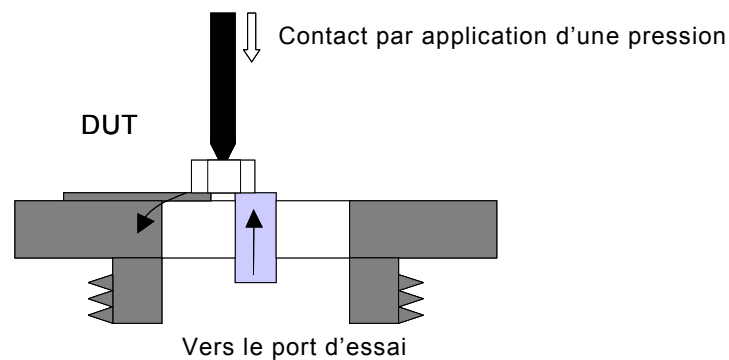
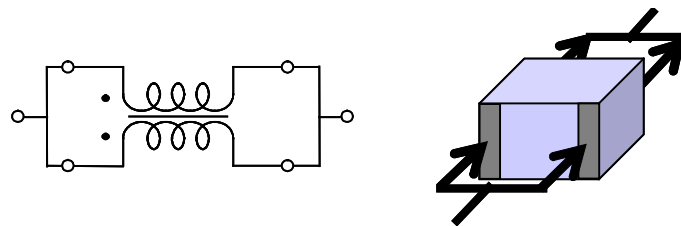


Figure F.6 – Montage d'essai à poussoir pour un CMS

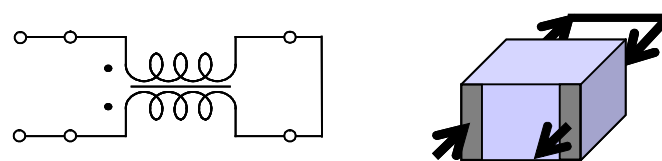
F.2.3 Bobine d'arrêt de mode commun (CMCC)

F.2.3.1 Définition

Pour une bobine d'arrêt de mode commun à quatre bornes, les impédances mesurées avec les connexions illustrées à la Figure 7 a) et b) sont appelées impédance de mode commun (Z_c), et impédance de mode différentiel (Z_d), respectivement.



a) Impédance de mode commun, Z_c



b) Impédance de mode différentiel, Z_d

Figure F.7 – Connexion pour la mesure d'une CMCC

F.2.3.2 Instrument de mesure et montage d'essai

Un équipement de mesure de l'impédance permet de mesurer l'impédance entre les deux bornes connectées pour chaque mode. La Figure F.8 illustre l'installation de mesure utilisée pour l'essai d'un CMS. Cette configuration permet d'effectuer des mesures jusqu'à une fréquence maximale d'environ 3 GHz.

Lors de l'essai d'un dispositif en essai à conducteurs, le montage d'essai utilisé peut être similaire à celui illustré à la Figure F.2.

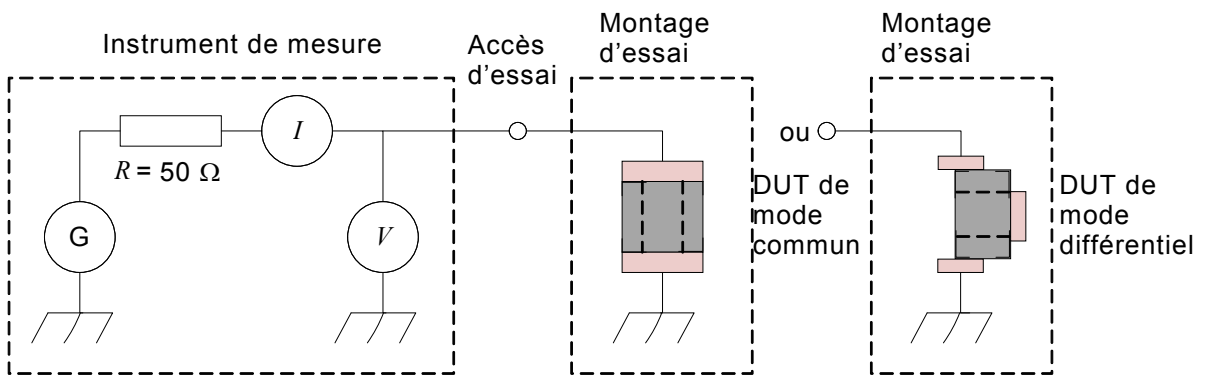


Figure F.8 – Montage d'essai et installation de mesure pour une bobine d'arrêt de mode commun de CMS

Annexe G (informative)

Mesure des paramètres S des bobines d'arrêt de mode commun

G.1 Généralités

La Figure G.1 illustre un circuit schématisé de la bobine d'arrêt de mode commun (CMCC). Les caractéristiques en modes commun et différentiel peuvent être déterminées par mesure directe (voir G.2 et G.3) ou indirecte en utilisant des paramètres S à quatre ports (voir G.4).

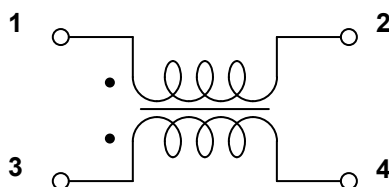


Figure G.1 – Bobine d'arrêt de mode commun

G.2 Installation de mesure des caractéristiques de mode commun

G.2.1 Généralités

Les bornes d'entrée/sortie d'une bobine d'arrêt de mode commun sont connectées comme illustré à la Figure G.2 afin de constituer un bi-accès.

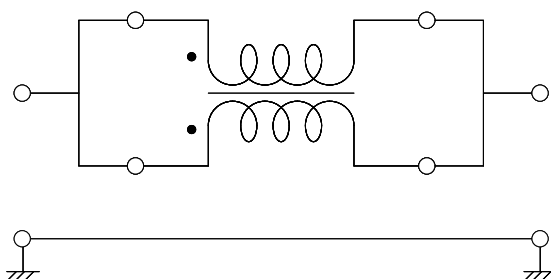


Figure G.2 – Installation de mesure des caractéristiques de mode commun

G.2.2 Montage d'essai de CMS

Un exemple de montage d'essai est illustré à la Figure G.3.

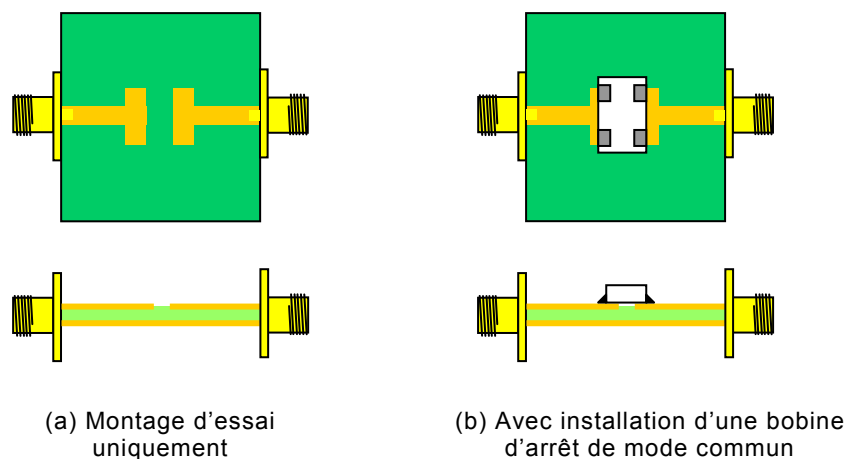


Figure G.3 – Montage d'essai d'un CMS

G.2.3 Montage d'essai pour un dispositif à conducteurs

Un exemple de montage d'essai est illustré à la Figure G.4.

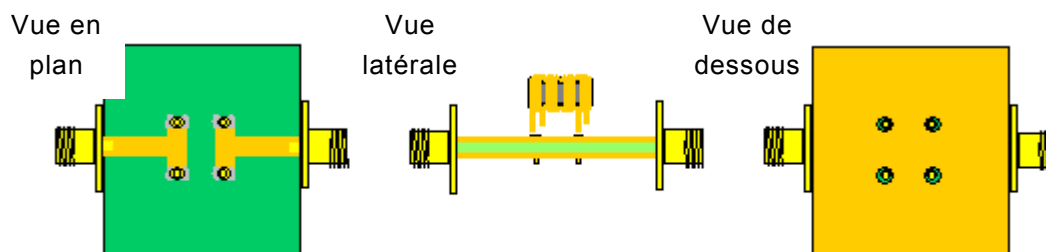


Figure G.4 – Montage d'essai pour un dispositif à conducteurs

G.3 Installation de mesure des caractéristiques de mode différentiel

G.3.1 Généralités

L'une des bornes d'entrée/sortie d'une bobine d'arrêt de mode commun est reliée à la terre comme illustré à la Figure G.5 afin de constituer un bi-accès.

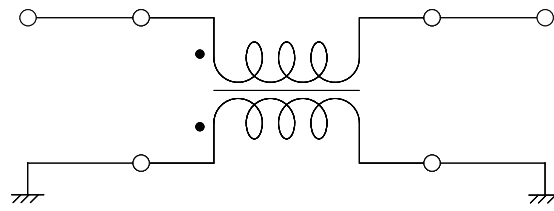


Figure G.5 – Installation de mesure des caractéristiques de mode différentiel

G.3.2 Montage d’essai de CMS

Un exemple de montage d’essai est illustré à la Figure G.6.

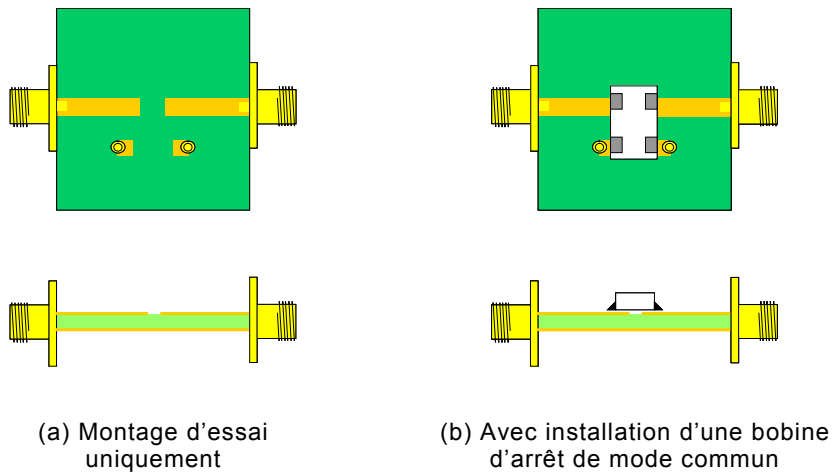
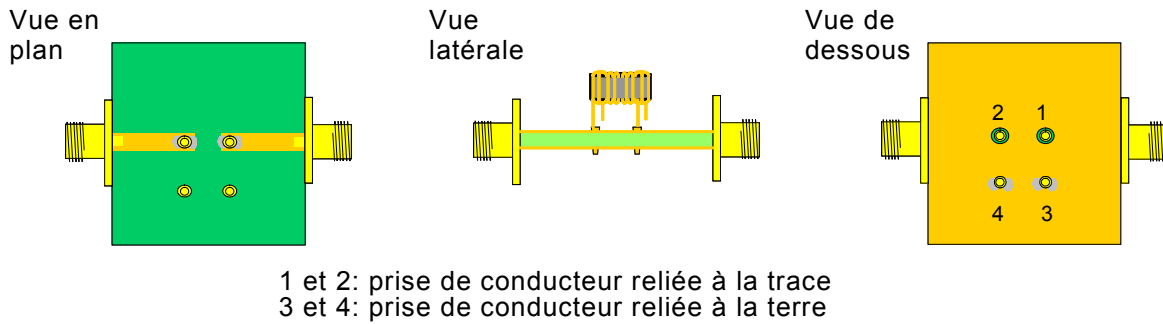


Figure G.6 – Montage d’essai pour un CMS

G.3.3 Montage d’essai pour un dispositif à conducteurs

Un exemple de montage d’essai est illustré à la Figure G.7.



1 et 2: prise de conducteur reliée à la trace
3 et 4: prise de conducteur reliée à la terre

Figure G.7 – Montage d’essai pour un dispositif à conducteurs

G.4 Mesure en termes des paramètres S à quatre accès

G.4.1 Généralités

Dans la mesure où une bobine d'arrêt de mode commun comporte quatre bornes, les caractéristiques peuvent être évaluées à l'aide des paramètres S à quatre accès comme illustré à la Figure G.8.

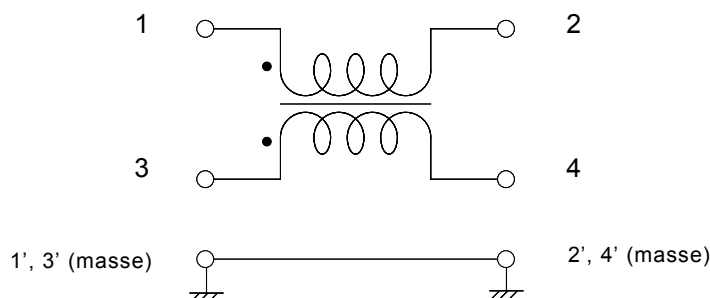


Figure G.8 – Installation de mesure des paramètres S à quatre accès

G.4.2 G.4.2 Montage d'essai de CMS

Un exemple de montage d'essai est illustré à la Figure G.9.

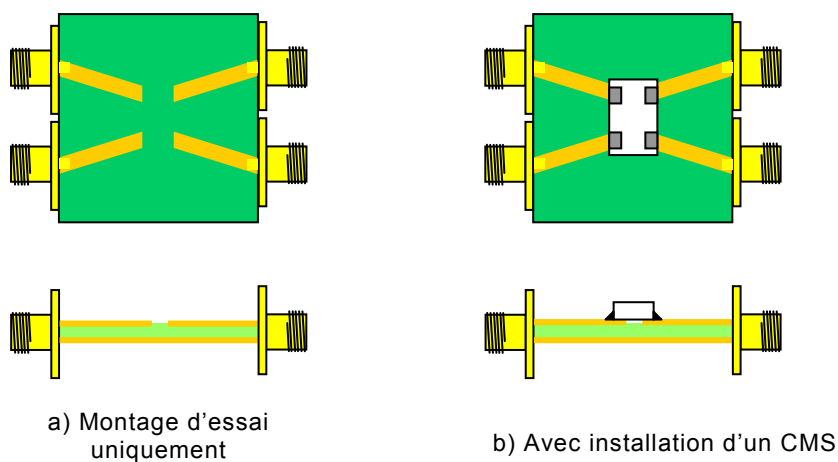


Figure G.9 – Montage d'essai pour les paramètres S à quatre accès d'un CMS

G.4.3 Montage d'essai pour un dispositif à conducteurs

Un exemple de montage d'essai est illustré à la Figure G.10.

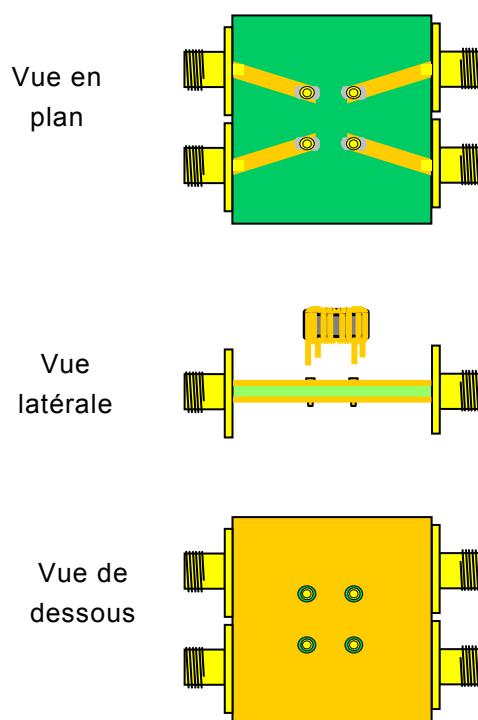


Figure G.10 – Montage d'essai pour les paramètres S à quatre accès d'un dispositif à conducteurs

Annexe H (informative)

Installation de mesure pour les paramètres S d'un dispositif en essai sans fils conducteurs

H.1 Généralités

La méthode de mesure décrite dans la présente annexe peut être appliquée à un dispositif en essai sans fils conducteurs. Par exemple, un noyau en ferrite et des perles de ferrite afin de supprimer le courant de mode commun circulant dans les câbles.

H.2 Méthode de mesure

Les paramètres S d'un dispositif en essai ne comprenant pas de conducteurs, tels que les noyaux en ferrite ou les perles de ferrite, sont mesurés à l'aide d'un VNA avec le montage d'essai illustré à la Figure H.1. Un fil conducteur placé au-dessus d'un plan de masse est introduit dans l'orifice du dispositif en essai au moyen d'une entretoise. Il convient que l'entretoise soit d'une matière ayant une faible permittivité, par exemple du polystyrène expansé. Il convient de veiller à centrer le fil dans l'orifice. Il convient que le fil introduit dans l'orifice soit parallèle au plan de masse.

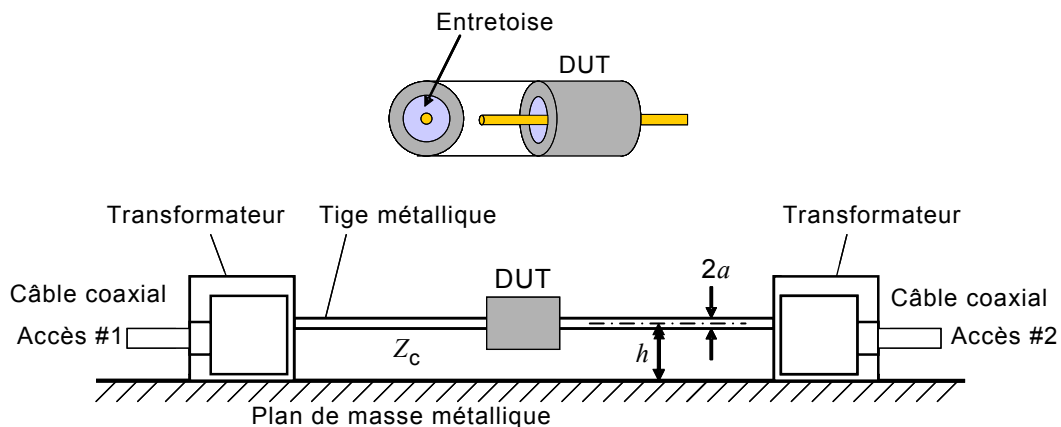


Figure H.1 – Mesure des paramètres S d'un dispositif en essai sans conducteurs

L'impédance caractéristique, Z_c , de la ligne de transmission est définie par

$$Z_c = 60 \cosh^{-1} \left(\frac{h}{a} \right) \tag{H.1}$$

en Ω , où h et a désignent la hauteur et le rayon de la tige métallique. $Z_c = 270 \Omega$ est la valeur préférentielle, voir [8] et 4.9.2.1 du CISPR 16-3:2010 [2].

H.3 Etalonnage

Il convient d'effectuer un étalonnage pour supprimer les effets d'influence du transformateur. Il convient d'utiliser la méthode d'étalonnage TRL [6] dans ce montage d'essai. Comme illustré à la Figure H.2, la méthode d'étalonnage TRL nécessite d'utiliser deux tiges métalliques de différentes longueurs pour les mesures Direct et Ligne.

NOTE Afin de vérifier la limite de l'affaiblissement d'insertion mesurable du montage d'essai, il convient de mesurer le paramètre S_{21} entre les transformateurs avec la position Reflect (Réflexion) illustrée à la Figure H.2.

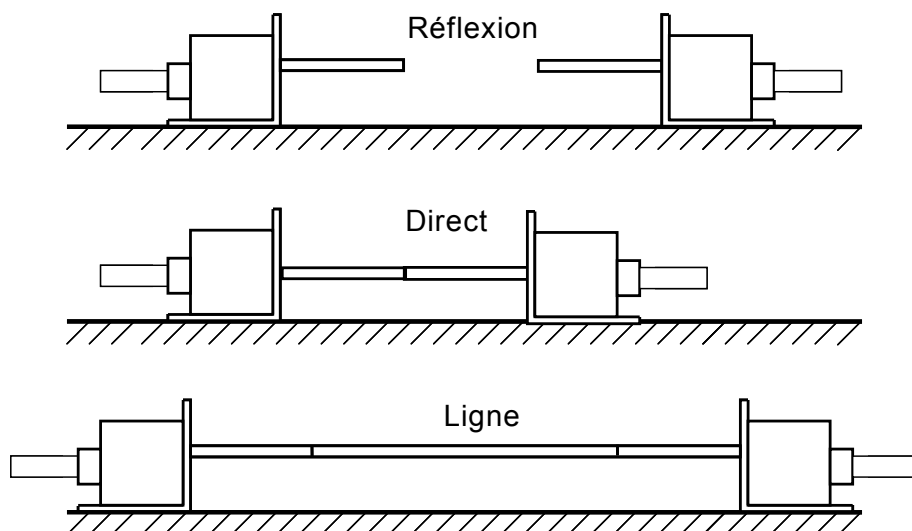


Figure H.2 – Méthode d'étalonnage TRL

Bibliographie

- [1] CISPR 12:2007, *Véhicules, bateaux et moteurs à combustion interne – Caractéristiques de perturbation radioélectrique – Limites et méthodes de mesure pour la protection des récepteurs extérieurs*
 - [2] CISPR 16-3:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports* (disponible en anglais seulement)
 - [3] CISPR/TR 16-4-1, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainties in standardized EMC tests* (disponible en anglais seulement)
 - [4] ISO/IEC Guide 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*
 - [5] Bockelman, D.E. and Eisenstadt, W.R., Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, July 1995, vol. 43, No. 7, p. 1530-1539 (disponible en anglais seulement)
 - [6] Engen, G.F. and Hoer, C.A. Thru-Reflect-Line: An Improved Techniques for Calibrating the Dual Six-Port Automatic Network Analyser, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, December 1979, vol. MTT-27, No.12, p. 987-993 (disponible en anglais seulement)
 - [7] Schlicke, H. M., Assuredly Effective Filters, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, August 1976, vol. EMC-18, No. 3, p. 106-110 (disponible en anglais seulement)
 - [8] URABE, J., FUJII, K. et al., A method for measuring the characteristics of an EMI suppression ferrite core, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, November 2006, vol. 48, No. 4, p. 774-780 (disponible en anglais seulement)
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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