

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 5: RF MEMS switches**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 5: Commutateurs MEMS-RF**





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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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



IEC 62047-5

Edition 1.0 2011-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices –
Part 5: RF MEMS switches**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques –
Partie 5: Commutateurs MEMS-RF**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 31.080.99

ISBN 978-2-88912-584-5

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
3.1 Switching operation	7
3.2 Switching configuration	7
3.3 Actuating mechanism	7
3.4 Switching network configurations.....	8
3.5 Reliability (performance)	8
3.6 Electrical characteristics.....	9
4 Essential ratings and characteristics.....	10
4.1 Identification and types	10
4.2 Application and specification description	11
4.3 Limiting values and operating conditions	11
4.4 DC and RF characteristics.....	11
4.5 Mechanical and environmental characteristics	12
4.6 Additional information.....	12
5 Measuring methods	12
5.1 General.....	12
5.1.1 General precautions	12
5.1.2 Characteristic impedances.....	12
5.1.3 Handling precautions	12
5.1.4 Types	12
5.2 DC characteristics	12
5.2.1 DC actuation voltage	12
5.2.2 On or off resistance (d.c. contact or resistive type)	14
5.2.3 On or off capacitance (capacitive type)	15
5.2.4 Power consumption	16
5.3 RF characteristics	17
5.3.1 Insertion loss (L_{ins})	17
5.3.2 Isolation (L_{iso})	19
5.3.3 Voltage standing wave ratio (VSWR)	20
5.3.4 Input power at the intercept point	21
5.4 Switching characteristics	21
5.4.1 General	21
5.4.2 Switching time measurement	21
6 Reliability (performance).....	22
6.1 General	22
6.2 Life time cycles	22
6.2.1 General	22
6.2.2 Cold switching	23
6.2.3 Hot switching or power handling	23
6.3 Temperature cycles.....	24
6.3.1 General	24
6.3.2 Test temperature	24
6.3.3 Test cycle.....	24

6.4	High temperature and high humidity testing	24
6.5	Shock testing	25
6.6	Vibration testing	25
6.7	Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing	25
Annex A (informative)	General description of RF MEMS Switches.....	26
Annex B (informative)	Geometry of RF MEMS switches	27
Annex C (informative)	Packaging of RF MEMS switches	30
Annex D (informative)	Failure mechanism of RF MEMS switches	31
Annex E (informative)	Applications of RF MEMS switches	32
Annex F (informative)	Measurement procedure of RF MEMS switches	34
Figure 1	Terminals of RF MEMS switch	11
Figure 2	Circuit diagram for measuring d.c. actuation voltage and RF characteristics of RF MEMS switches	13
Figure 3	Circuit diagram for measuring impedance between the input and output ports	14
Figure 4	Circuit diagram for measuring RF characteristics between the input and output ports using a network analyzer	18
Figure 5	Circuit block diagram of a test setup to evaluate life time of RF MEMS switch	22
Figure 6	Circuit block diagram of a test setup for power handling capability of RF MEMS switch	24
Figure B.1	RF MEMS series d.c. contact switch with two contact areas.....	27
Figure B.2	RF MEMS series d.c. contact switch with one contact area	27
Figure B.3	RF MEMS shunt d.c. contact switch	28
Figure B.4	RF MEMS series capacitive type switch with one contact area.....	28
Figure B.5	RF MEMS shunt capacitive type switch.....	29
Figure F.1	Measurement procedure of RF MEMS switches	34
Table A.1	Comparison of semiconductor and RF MEMS switches	26
Table B.1	Comparison of RF MEMS switches with different actuation mechanism.....	29
Table D.1	Comparison of failure mechanism of RF MEMS switches	31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 5: RF MEMS switches

FOREWORD

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

International Standard IEC 62047-5 has been prepared by subcommittee 47F: Micro-electromechanical systems, of IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

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

FDIS	Report on voting
47F/83/FDIS	47F/93/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 62047 series, under the general title *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices*, can be found in the IEC website.

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

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

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

SEMICONDUCTOR DEVICES – MICRO-ELECTROMECHANICAL DEVICES –

Part 5: RF MEMS switches

1 Scope

This part of IEC 62047 describes terminology, definition, symbols, test methods that can be used to evaluate and determine the essential ratings and characteristic parameters of RF MEMS switches. The statements made in this standardization are also applicable to RF (Radio Frequency) MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) switches with various structures, contacts (d.c. contact and capacitive contact), configurations (series and shunt), switching networks (SPST, SPDT, DPDT, etc.), and actuation mechanism such as electrostatic, electro-thermal, electromagnetic, piezoelectric, etc. The RF MEMS switches are promising devices in advanced mobile phones with multi-band/mode operation, smart radar systems, reconfigurable RF devices and systems, SDR (Software Defined Radio) phones, test equipments, tunable devices and systems, satellite, etc.

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 normative documents (including any amended documents) referred to applies.

IEC 60747-1: 2006, *Semiconductor devices – Part 1: General*

IEC 60747-16-1, *Semiconductor devices – Part 16-1: Microwave integrated circuits – Amplifiers*

IEC 60747-16-4:2004, *Semiconductor devices – Part 16-4: Microwave integrated circuits – Switches*

IEC 60749-5, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 5: Steady-state temperature humidity bias life test*

IEC 60749-10, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 10: Mechanical shock*

IEC 60749-12, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 12: Vibration, variable frequency*

IEC 60749-27, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 27: Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing – Machine model (MM)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

NOTE In the text of this standard, the term of switch is used instead of RF MEMS switch to improve the readability.

3.1 Switching operation

3.1.1

capacitive switch

switch whereby an RF signal is passed or blocked by a change of impedance ratio caused by the capacitive effect of making contact using a movable metal plate onto a dielectric film presented on a fixed metal plate

3.1.2

d.c. contact switch

switch whereby an RF signal is passed or blocked by a movable metal contact

3.2 Switching configuration

3.2.1

series switch

switch whereby an RF signal applied to the input port is directly passed to the output port when a movable plate makes contact with a fixed plate

3.2.2

shunt switch

switch whereby an RF signal applied to the input port is passed to the ground plane when a movable plate makes contact with a fixed plate

3.3 Actuating mechanism

3.3.1

electro-statically actuated switch

switch whereby a moving contact is pulled down onto the fixed plate by an electrostatic force caused by the applied d.c. bias voltage, the moving plate returns to its original position when the bias voltage is removed

NOTE Advantages are virtually zero power consumption, small electrode size, relatively short switching time, and relatively simple fabrication and disadvantage is higher actuation voltage.

3.3.2

electro-magnetically actuated switch

switch whereby a movable plate or armature is pulled down onto a fixed plate by a magnetic force generated by a permanent magnet or an energised electromagnet

NOTE Advantage is a low actuation voltage and disadvantages are complexity of fabrication and high power consumption.

3.3.3

electro-thermally actuated switch

switch whereby a movable plate constructed of two or more differing materials with differential thermal expansion coefficients deflects to contact a fixed plate or electrode

NOTE Advantages are nearly linear deflection-versus-power relations and environmental ruggedness and disadvantages are high power consumption, low bandwidth, and relatively complex fabrication.

3.3.4

piezo-electrically actuated switch

switch whereby a movable constructed of piezoelectric materials deflects to contact a fixed plate or electrode

3.4 Switching network configurations

3.4.1

single-pole-single-throw switch

SPST

device with a single input and a single output, which is providing an ON-OFF switching function with switch actuation

3.4.2

single-pole-double-throw switch

SPDT

device with a single input and two outputs, which is transferring the through connection from one output to the other output with switch actuation

3.4.3

single-pole-multi-throw switch

SPMT

device with one input and multiple outputs whereby connection to one or the other of the multiple outputs is determined by switch actuation

3.4.4

double-pole-double-throw switch

DPDT

device with two inputs and two outputs, which is transferring the through connection from one output to the other output with switch actuation

3.4.5

multi-pole-multi-throw switch

MPMT

device with multi inputs and outputs, which is transferring the through connection from multi outputs to the other multi outputs with switch actuation

3.5 Reliability (performance)

3.5.1

life time cycles

number of actuating times which the switches are operating with satisfactory electrical performances in the on/off positions

NOTE Unlike the electronic switch, a mechanical switch may fail due to stiction (micro-welding and material transfer) of a moving part and degradation of metal to metal contact used, whereas at electronic RF switches (capacitive switch) the reliability is limited by dielectric charging (charge injection and charge trapping).

3.5.2

cold switching

performed switching where the RF power is not applied during the switch operation

NOTE It is useful for examining the durability of the switch electrode to see if it can withstand the physical stresses of repeated switching.

3.5.3

hot switching

performed switching where the RF power is applied during the switch operation

NOTE The hot-switching tests are indicative of how the switch will survive under actual operating conditions, with current flowing through the device.

3.6 Electrical characteristics

3.6.1

d.c. characteristics

3.6.1.1

actuation voltage

d.c. voltage for the movable electrode (or membrane) of the switch being collapsed down onto the fixed plate and kept securing RF characteristics desired

3.6.1.2

on resistance – DC contact type

electrical resistance which is measured across fully closed contacts at their associated external terminals

3.6.1.3

off resistance – DC contact type

electrical resistance which is measured across fully opened contacts at their associated external terminals

3.6.1.4

on capacitance – Capacitive type

electrical capacitance which is measured in the down-state position (the movable electrode collapsed down on the dielectric layer on top of the fixed electrode) of the switch

3.6.1.5

off capacitance – Capacitive type

electrical capacitance which is measured in the up-state position of the switch (before the movable electrode is being actuated)

3.6.1.6

power consumption

power consumed to pull down and hold the movable plate onto the fixed electrode when the switch is ON

3.6.2

RF characteristics

3.6.2.1

insertion loss

[IEC 60747-16-4:2004, 3.1]

3.6.2.2

isolation

[IEC 60747-16-4:2004, 3.2]

NOTE It is caused by a RF energy leak from one conductor to another by radiation, ionization, capacitive coupling, or Inductive coupling.

3.6.2.3

return loss

[IEC 60747-16-4:2004, 3.3]

3.6.2.4

voltage standing wave ratio

VSWR

ratio of the electrical field strength at a voltage maximum on a transmission line to the electrical field strength of an adjacent voltage minimum

3.6.2.5

resonant frequency

frequency occurred at LC series resonance when the switch is up-state and down-state position, respectively

3.6.2.6

bandwidth

frequency range where the switch has good RF characteristics enough to use in subsystems and system applications

NOTE It is usually expressed as either the frequency or percentage differences between the lower or the upper relative 1 dB points of the frequency response curve.

3.6.2.7

power handling capability

capability of a switch to transmit a given amount of power through the device when the switch is on

3.6.3

Switching characteristics

3.6.3.1

self actuation power

radio frequency power where the switch movable plate is self-actuated without any voltages being applied directly to it

3.6.3.2

switching time

3.6.3.2.1

turn on time

[IEC 60747-16-4:2004, 3.6]

3.6.3.2.2

turn off time

[IEC 60747-16-4:2004, 3.7]

3.6.3.2.3

rise time

transition time of the switch from OFF to ON state

NOTE OFF state: 10 % of C_{up} , ON state: 90 % of C_{down} .

[IEC 60747-16-4:2004, 3.8]

3.6.3.2.4

falling time

transition time of the switch from ON to OFF state

[IEC 60747-16-4:2004, 3.9]

4 Essential ratings and characteristics

4.1 Identification and types

General description of the function of RF MEMS switches and their applications should be stated. The statement should include the details of manufacturing technologies about the RF MEMS switches with different operation, configuration, and actuation mechanism. The

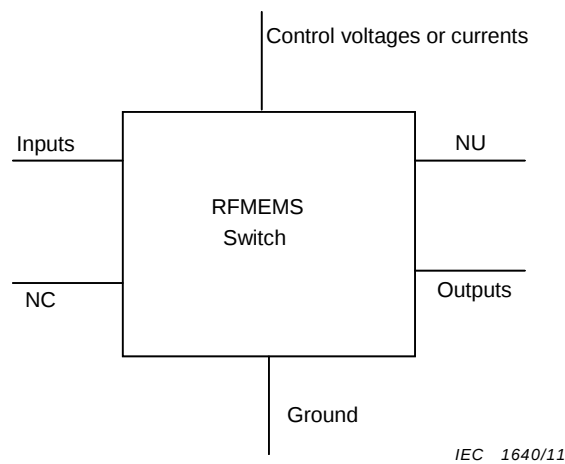
statement should also include packaged form including terminal numbering and package materials.

See 4.1 of IEC 60747-16-4:2004.

4.2 Application and specification description

Information on application of the RF MEMS switch shall be given. Block diagrams of RF MEMS switches and the applied systems should be also given. All terminals should be identified in the block diagram and their functions shall also be stated.

See 4.2 and 4.3 of IEC 60747-16-4:2004.



NOTE NC is a non-connected terminal and NU is a non-usable terminal.

Figure 1 – Terminals of RF MEMS switch

4.3 Limiting values and operating conditions

This statement should include limiting conditions and values. In particular, electrical limiting values (control voltages or control currents, input power, handling power, power dissipation, etc.) and temperature conditions (operating, ambient, storage, and soldering) shall be given in the statement. These values are indicated within the table including the note.

Parameters (note)	Symbols	Min.	Max.	Unit

See 4.4 and 4.5 of IEC 60747-16-4:2004

4.4 DC and RF characteristics

DC and RF characteristic parameters shall be stated with Min., Nominal, and Max. in a table form.

Characteristics	Symbols	Conditions	Min.	Nominal	Max.	Unit

4.5 Mechanical and environmental characteristics

Any specific mechanical characteristics and environmental ratings applicable shall be stated. The characteristics shall be stated with Symbol, Unit, Min, Nominal, and Max. in a table form.

See 4.6 of IEC 60747-16-4:2004.

4.6 Additional information

Some additional information shall be given such as equivalent input and output circuits (eg. Input/output impedance, d.c. block capacitors, etc.), internal protection circuits against high static voltages or electric fields, handling precautions, and application data/information, etc.

See 4.8 of IEC 60747-16-4:2004.

5 Measuring methods

5.1 General

This clause prescribes measuring methods for electrical characteristics of RF MEMS switches used at d.c. to microwave frequency bands.

5.1.1 General precautions

Special care shall be taken to use d.c. supplies, the input RF power supplies, and all bias supply voltages for the measurement of RF MEMS switches. The level of the input and/or output signal shall be specified in either power or voltage.

5.1.2 Characteristic impedances

The input and output characteristic impedances of the measurement systems are 50 Ω . If they are not 50 Ω , they shall be specified.

5.1.3 Handling precautions

See Clause 8 of IEC 60747-1:2006.

5.1.4 Types

RF MEMS switches in this standard are both packaged and chip types, measured using suitable test equipments and fixtures.

5.2 DC characteristics

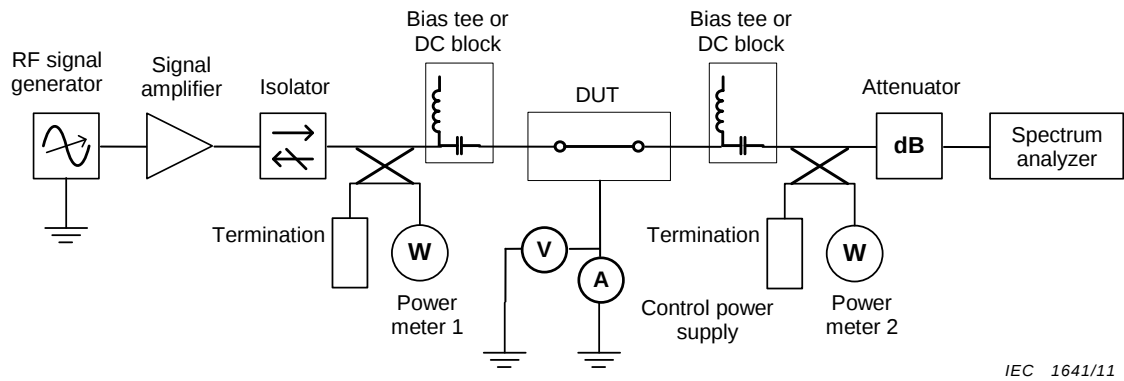
5.2.1 DC actuation voltage

5.2.1.1 Purpose

To measure the optimal control d.c. voltage to satisfy the desired RF characteristics.

5.2.1.2 Circuit diagram

Figure 2 shows a circuit diagram for measuring d.c. actuation voltage and RF characteristics of RF MEMS switches.



Key

Components and meters to monitor		Equipments and supplies	
DUT: device under test	a piece of RF MEMS switches	RF signal generator:	to supply a specified RF signal to a type of the signal amplifier
V:	DC voltage source for operating the DUT	Signal amplifier:	to apply a level of amplified signal to the input port of a piece of DUT through the isolator
A:	DC current source for operating the DUT	Isolator:	to apply the amplified input power to a piece of DUT without being returned to a signal amplifier
W:	power (watt) meter to monitor output power (watt) value of a piece of testing device	Bias tee or d.c. block:	to block a level of d.c. signal between the input and output orts of the DUT
dB:	attenuator to reduce the output power of DUT for protecting the spectrum analyzer	Control power supply:	to apply a specified bias voltage to a piece of DUT
Spectrum analyzer:	to measure the spectrum through the DUT	Termination:	to keep the measured power level steady

NOTE 1 The control bias for RF MEMS switch is supplied to become ON or OFF between the input and output ports.

NOTE 2 The purpose of the isolator is to enable the power level to the device being measured to be kept constant without considering the mismatched input impedance. Bias tee is used to block the d.c. signal between the input and output ports of device being measured.

Figure 2 – Circuit diagram for measuring d.c. actuation voltage and RF characteristics of RF MEMS switches

5.2.1.3 Principle of measurement

When a control voltage keeps increasing between the driving electrodes (a movable electrode and a fixed electrode), it is measured during the movable plate of the RF MEMS switch being collapsed down onto the fixed plate and kept securing the desired RF characteristics.

5.2.1.4 Measurement procedure

The frequency of the RF signal generator shall be set to the specified value.

An adequate input power shall be applied to the device being measured.

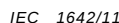
When the desired output power is obtained, the dc bias voltage is recorded as the optimal d.c. actuation voltage.

The specified conditions are as follows:

- ### 5.2.2 On or off resistance (d.c. contact or resistive type)

To measure the dc (or low frequency) resistance between the input and output ports under 'ON' or 'OFF' conditions.

Figure 3 shows a circuit diagram for measuring impedance between the input and output ports.



Components and meters to monitor

DUT: device under test

a piece of RF MEMS switch

Control power supply:

to apply a specified bias voltage to a piece of DUT

$$V:$$

DC voltage source for operating the DUT

Impedance analyzer:

to measure impedance between the
input and output ports of the DUT

A:

DC current source for operating the DUT

NOTE The control bias is supplied to become ON between the input and output ports.

Figure 3 – Circuit diagram for measuring impedance between the input and output ports

5.2.2.3 Principle of measurement

The on resistance, R_{on} and off resistance, R_{off} are derived from the impedance between the input and output ports in the unit of ohms. The resistance is being measured as follows:

$$R_{on} = \operatorname{re}(Z_{on}) \quad (2)$$

$$R_{off} = \operatorname{re}(Z_{off}) \quad (3)$$

where

Z_{on} and Z_{off} are the values indicated by the impedance analyzer.

5.2.2.4 Measurement procedure

A calibration of the impedance analyzer shall be made in order to eliminate systematic error in the impedance analyzer, cable, and connectors.

Impedance of open and short circuit, impedances of $50\ \Omega$, and through standard calibration shall be performed and stored.

When the actuation voltage is applied to the device being measured, its impedance will be displayed.

The real value of the measured impedance is treated as the ON resistance as described in 5.2.2.3.

NOTE Instead of the impedance analyzer, multi-meter or LCR meter can also be applied to measure the on/off resistance directly.

5.2.2.5 Specified conditions

The specified conditions are as follows:

- ambient or reference-point temperature;
- bias conditions;
- port being measured.

5.2.3 On or off capacitance (capacitive type)

5.2.3.1 Purpose

To measure the series capacitance between the input and output ports under 'ON' or 'OFF' conditions.

5.2.3.2 Circuit diagram

The measurement circuit is the same as shown in Figure 3.

5.2.3.3 Principle of measurement

The on capacitance, C_{on} and off capacitance, C_{off} are derived from the impedance between the input and output ports in units of farad. The capacitance is being measured as follows:

$$C_{on} = -1/(\omega \operatorname{im}(1/Z_{on})) = -1/(2\pi f \operatorname{im}(1/Z_{on})) \quad (4)$$

$$C_{off} = -1/(\omega \operatorname{im}(1/Z_{off})) = -1/(2\pi f \operatorname{im}(1/Z_{off})) \quad (5)$$

where

Z_{on} and Z_{off} are the values indicated by the impedance analyzer, and
 C_{on} and C_{off} are expressed in farad.

5.2.3.4 Measurement procedure

A calibration of the impedance analyzer shall be made in order to eliminate systematic error in the impedance analyzer, cable, and connectors.

Impedance of open and short circuit, impedances of $50\ \Omega$, and through standard calibration shall be performed and stored.

When the actuation voltage is applied to the device being measured, its impedance will be displayed.

The imagery value of the measured impedance is divided by the measured angular frequency, ω as described in 5.2.3.3.

NOTE Instead of the impedance analyzer, multi-meter or LCR meter can also be applied to measure the on/off capacitance directly.

5.2.3.5 Specified conditions

The specified conditions are as follows:

- ambient or reference-point temperature;
- bias conditions;
- frequency;
- port being measured.

5.2.4 Power consumption

5.2.4.1 Purpose

To measure the power consumption under specified conditions.

NOTE Power is consumed to pull down and hold the movable plate onto the fixed electrode when the RF MEMS switch is ON or OFF.

5.2.4.2 Circuit diagram

See Figure 2 described in 5.2.1.2.

5.2.4.3 Principle of measurement

The consumed power is derived from the following equation:

$$P = IV \quad (6)$$

where

I is the current on control bias;
 V is the voltage on control bias;
 P is expressed in watt.

5.2.4.4 Measurement procedure

The frequency of the RF signal generator shall be set to the specified value.

An adequate input power shall be applied to the device being measured.

The control dc bias voltage will be applied and varied to find the desired output power which is close to the input power.

When the desired output power is obtained, the used control dc voltage or current of the RF MEMS switch is recorded and utilized to calculate the consumed power by using the Equation (6) described in 5.2.4.3.

5.2.4.5 Specified conditions

The specified conditions are as follows:

- ambient or reference-point temperature;
- bias conditions;
- frequency;
- port being measured.

5.3 RF characteristics

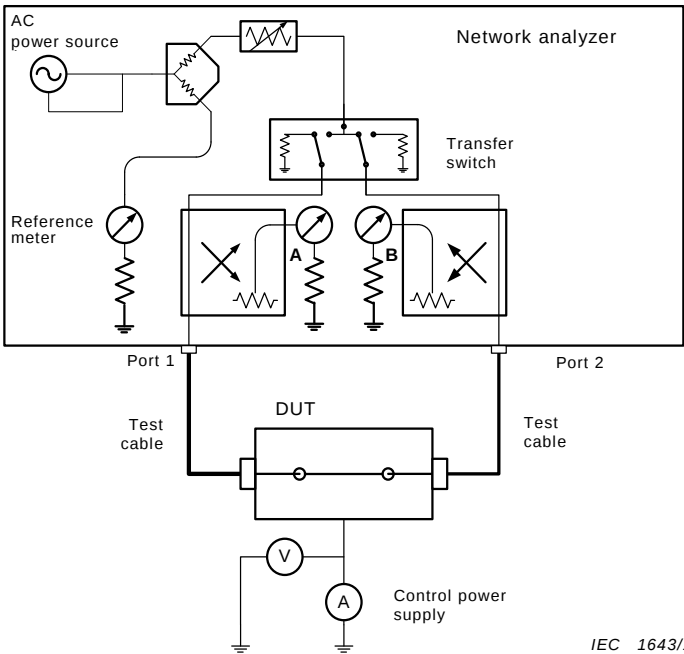
5.3.1 Insertion loss (L_{ins})

5.3.1.1 Purpose

To measure the insertion loss between the input and output ports under 'ON' condition.

5.3.1.2 Circuit diagram

Figure 4 shows a circuit diagram for measuring RF characteristics between the input and output port using a network analyzer.



IEC 1643/11

Key

Components and meters to monitor		Equipments and supplies	
DUT: device under test	a piece of RF MEMS switches	AC power source:	to supply a specified level of electric power to a type of transfer switch
V:	DC voltage source for operating the DUT	Transfer switch:	to transfer a specified input power by switching toward port 1 and port 2
A:	DC current source for operating the DUT	Control power supply:	to apply a specified bias voltage to a piece of DUT
A (channel):	to detect port 1 reflected from the input of a piece of DUT	Network analyzer:	to measure S-parameters through a piece of DUT
B (channel):	to detect port 2 power transmitted through the DUT		
Reference meter:	to detect supplying electric power in watt to keep a specified level		

NOTE 1 Ref channel is to detect source power for the reference. A channel is to detect Port 2 power reflected from the input of device being measured and B channel is to detect Port 2 power transmitted through the device.

NOTE 2 Other test equipments and set-ups can be used instead of the network analyzer.

Figure 4 – Circuit diagram for measuring RF characteristics between the input and output ports using a network analyzer

5.3.1.3 Principle of measurement

When the incident power is applied to the input port of RF MEMS switch, it is a measured ratio between the transmitted power into the output port and the incident power. The insertion loss of the switch is calculated from the measured S-parameter, S_{21} . The Insertion loss, L_{ins} is normally expressed in decibels (dB). It has a logarithmic expression of a ratio between two quantities (commonly voltage, current, or power),

$$L_{ins} = -20 \log(|S_{21}|) [\text{dB}] \quad (\text{switch is on}) \tag{7}$$

When the VNA (vector network analyzer) is not used, see 5.2 of IEC 60747-16-4:2004.

5.3.1.4 Measurement procedure

The measurement set-up is shown in Figure 4. An RF signal from the RF output Port 1 of a network analyzer is directly fed to Port 2 through a device being measured. Before connecting a device being measured, a calibration shall be made in order to eliminate systematic errors in the network analyzer, cable, and connectors.

The full 2-port calibration technique is highly recommended. Impedance of open and short circuit, impedances of 50 Ω , and through standard calibration shall be performed and stored in order.

After calibration, connect the device being measured at the place indicated in Figure 4. When the actuation voltage is applied to the device being measured (the switch is mechanically or electrically connected), its S-parameter shall be measured using the network analyzer.

5.3.1.5 Specified conditions

The specified conditions are as follows:

- ambient or reference-point temperature;
- bias conditions;
- frequency;
- port being measured.

5.3.2 Isolation (L_{iso})

5.3.2.1 Purpose

To measure the isolation between the input and output ports under 'OFF' conditions.

5.3.2.2 Circuit diagram

The measurement circuit is the same as shown in Figure 4.

5.3.2.3 Principle of measurement

RF energy can leak from one conductor to another by radiation, ionization, capacitive coupling, or inductive coupling. In the case of the switching devices, isolation is the measurement of the power level at the unconnected RF output(s) as referred to the power travelling between the input and the connected output. Isolation, L_{iso} is normally specified in dB below the Input power level and calculated from the measured S-parameter.

$$L_{iso} = -20 \log(|S_{21}|) [\text{dB}] \quad (\text{switch is off}) \quad (8)$$

When the VNA is not used, see 5.3 of IEC 60747-16-4:2004.

5.3.2.4 Measurement procedure

The measurement set-up is shown in Figure 4. An RF signal from the RF output Port 1 of a network analyzer is directly fed to Port 2 through a device being measured. Before connecting a device being measured, a calibration shall be made in order to eliminate systematic errors in the network analyzer, cable, and connectors.

The full 2-port calibration technique is highly recommended. Impedance of open and short circuit, impedances of 50 Ω , and through standard calibration shall be performed and stored in order.

After calibration, connect the device being measured at the place indicated in Figure 4. When the actuation voltage is not applied to the device being measured (the switch is mechanically or electrically disconnected), its S-parameter will be measured using the network analyzer.

5.3.2.5 Specified conditions

The specified conditions are the same as described in 5.3.1.5.

5.3.2.6 Return loss (L_{ret})

The specified conditions are the same as described in 5.3.1.5

5.3.2.7 Purpose

To measure the return loss in an input port under 'ON' conditions.

5.3.2.8 Circuit diagram

The measurement circuit is the same as shown in Figure 4.

5.3.2.9 Principle of measurement

It is the measured ratio, normally expressed in dB, of the reflected power to the incident power. It is calculated from the measured S-parameter, S_{11} .

$$L_{\text{ret}} = -20 \log(|S_{11}|) [\text{dB}] \quad (9)$$

When the VNA is not used, see 5.4 of IEC 60747-16-4:2004.

5.3.2.10 Measurement procedure

The measurement procedure is the same as described in 5.3.1.4.

5.3.2.11 Specified conditions

The specified conditions are the same as described in 5.3.1.5.

5.3.3 Voltage standing wave ratio (VSWR)

5.3.3.1 Purpose

To measure the VSWR under specified conditions.

5.3.3.2 Circuit diagram

When the VNA is not used, see 5.4 of IEC 60747-16-4:2004.

5.3.3.3 Principle of measurement

The VSWR is derived from the following equation:

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (10)$$

In above equation, the reflection coefficient Γ is derived from following equation:

$$|\Gamma| = 10^{\frac{L_{\text{ret}}}{20}} \quad (11)$$

where

L_{ret} is the return loss.

5.3.3.4 Measurement procedure

After measuring the return loss by using the same procedure described in 5.4 of IEC 60747-16-4:2004, the VSWR is calculated by inserting the measured return loss into the Equations (10) and (11) described in 5.3.3.3.

When the VNA is used, the return loss is obtained using the measured S-parameter described in 5.3.3.

5.3.3.5 Specified conditions

The specified conditions are as follows:

- ambient or reference-point temperature;
- bias conditions;
- frequency;
- input power;
- port being measured.

5.3.4 Input power at the intercept point

See IEC 60747-16-1.

5.4 Switching characteristics

5.4.1 General

The dynamic tests of the switch shall be done under vacuum to eliminate any environmental effects (or the device should be packaged with inert gases). Under the ambient atmospheric conditions, the humidity can cause the sticking problems of the switch during the test.

See 5.6 of IEC 60747-16-4:2004.

5.4.2 Switching time measurement

See 5.6 of IEC 60747-16-4:2004.

5.4.2.1 Turn on time

See 5.6 of IEC 60747-16-4:2004.

5.4.2.2 Turn off time

See 5.6 of IEC 60747-16-4:2004.

5.4.2.3 Rise time

See 5.6 of IEC 60747-16-4:2004.

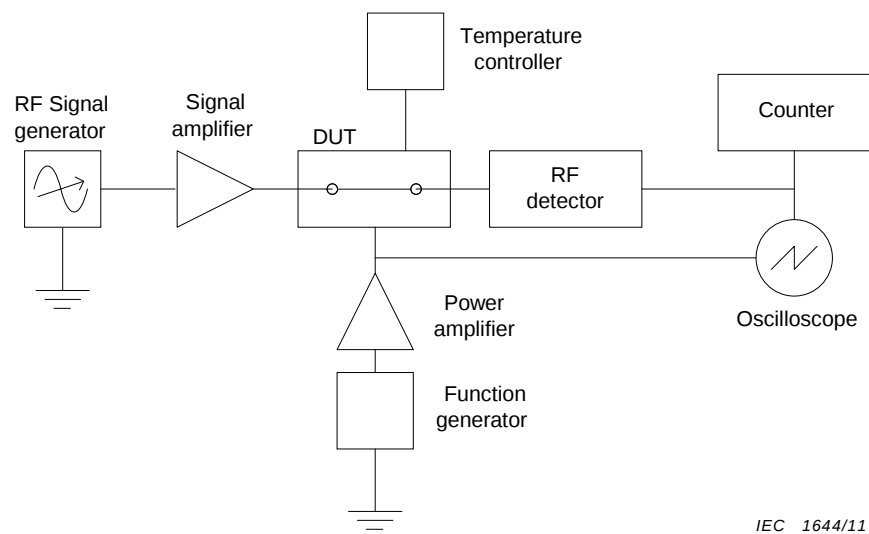
5.4.2.4 Fall time

See 5.6 of IEC 60747-16-4:2004.

6 Reliability (performance)

6.1 General

To test a life time of RF MEMS switch, the switch shall be repeatedly actuated until failure. The simplest method for monitoring switch actuation is to apply a continuous wave signal to the switch and measure the modulated RF signal that results from the switch actuation. Figure 5 shows a test setup to evaluate life time of RF MEMS switch. When a switch actuation signal is applied to the RF MEMS switch which is supplied by function generator and power amplifier, An RF signal is applied to the input of the RF MEMS switch. The modulated RF envelop that resulted from switch actuation is measured by oscilloscope and counter.



Key

Components and meters to monitor		Equipments and supplies	
DUT: device under test	a piece of RF MEMS switches	RF signal generator:	to supply a specified RF signal to a type of the signal amplifier
RF detector:	to detect output power of a piece of DUT	Signal amplifier:	to apply a level of amplified signal to the input port of a piece of DUT
Counter:	to count actuation times of a piece of DUT	Power amplifier:	to supply a specified amplified power to actuate a piece of DUT
Oscilloscope:	to monitor supplied power and output RF wave form of a piece of DUT	Function generator:	to supply a level of functional power to an appropriate power amplifier
		Temperature controller:	to keep a specified temperature range of apiece of DUT

Figure 5 – Circuit block diagram of a test setup to evaluate life time of RF MEMS switch

6.2 Life time cycles

6.2.1 General

It is tested by cycling the switch over a period and monitoring the output signal for degradation. It is normally expressed as the number of switching times which an electro mechanical switch or relay will operate with satisfactory electrical contact in the ON position. During the life time cycling test, the duty ratio of the switching pulse should be varied in the range of 0,1 to 0,9 for various applications.

6.2.2 Cold switching

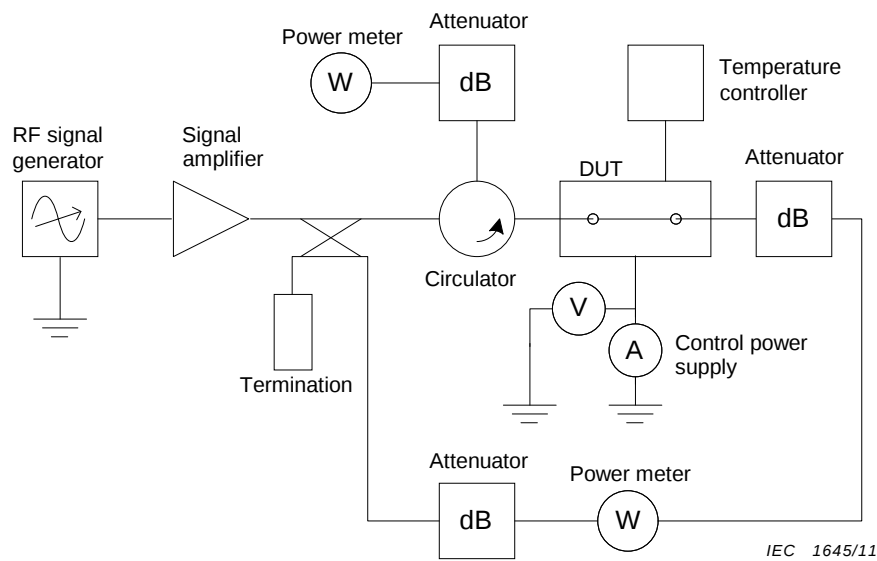
The cold switching is cycled with the input only turned on occasionally to see if the device is still working. It is useful for examining the durability of the switch electrode to see if it can withstand the physical stresses of repeated switching. It also shows if there are any problems present with regards to charge accumulation in the passivation layer, which will cause the switch to get stuck to the actuation pads. Cold switching is performed where the RF power is removed from the contacts during switch actuation.

6.2.3 Hot switching or power handling

The hot switching is cycled with the input power signals runs continuously. Hot-switching tests are indicative of how the switch will survive under actual operating conditions, with current flowing through the device. Figure 5 shows a test setup for power handling capability of RF MEMS switch. The input RF power is produced by microwave signal generator and power amplifier. The amplified signal is passed through a coupler, where the coupled port is connected to an attenuator. The attenuator is connected to one channel of a power meter. The input RF signal is delivered to the RF MEMS switch after passing through a circulator. The output RF signal of the RF MEMS switch is delivered to another channel of the power meter after passing through an attenuator. The power handling capability is determined by measuring the input RF power which the switch can withstand without abrupt degradation of RF characteristics such as insertion loss, isolation, etc. A d.c. voltage source is used for the switch actuation.

To test the RF power self actuation failure, RF power should be applied to the switch and steadily increased until the switch is actuated. As soon as it is actuated, the RF power level is recorded.

The reflected RF signal returns from the RF MEMS switch and enters into the power meter through the circulator and attenuator. The measurement of the reflected signal is needed to identify the cause of the power loss, especially in the case of high frequency range.



Key

Components and meters to monitor		Equipments and supplies	
DUT: device under test	a piece of RF MEMS switches	RF signal generator:	to supply a specified RF signal to a type of the signal amplifier
V:	DC voltage source for operating a piece of DUT	Signal amplifier:	to apply a level of amplified signal to the input port of a piece of DUT through the isolator
A:	DC current source for operating a piece of DUT	Circulator:	to enable to apply the amplified signal kept in a specified level to the DUT
W:	power (watt) meter to monitor output power (watt) value of a piece of DUT	Temperature controller:	to keep a specified temperature range of a piece of DUT
dB:	attenuator to reduce the output power of DUT for protecting the power meter	Termination:	to keep the measured power level steady

Figure 6 – Circuit block diagram of a test setup for power handling capability of RF MEMS switch

6.3 Temperature cycles

6.3.1 General

This test is performed to evaluate its reliability by changing the temperatures at the given period of time. Operating temperature and cycles are considered as optimal conditions when the performance characteristics of RF MEMS switches are guaranteed during the test.

6.3.2 Test temperature

The switch shall be tested in a certain range of temperatures required at the applications.

6.3.3 Test cycle

The switch shall be tested in the given range of cycles.

6.4 High temperature and high humidity testing

See IEC 60749-5: 2004.

6.5 Shock testing

See IEC 60749-10: 2002.

6.6 Vibration testing

See IEC 60749-12: 2002.

6.7 Electrostatic discharge (ESD) sensitivity testing

See IEC 60749-27: 2006.

Annex A (informative)

General description of RF MEMS Switches

RF MEMS switches are integrated and miniaturized switching devices that use a mechanical movement to achieve a short circuit or an open circuit in a transmission line. They are being developed to replace the currently used semiconductor switches (FETs (Field-Effect Transistors), diode switches) that have disadvantages such as low power handling capability, non-linearity, narrow bandwidth, high insertion losses, and poor isolation at high frequencies. They can be easily batch fabricated and integrated with the existing silicon CMOS (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor) and MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) circuits used for their control circuits. The moving forces in the RF MEMS switches necessary for the mechanical movement can be obtained by using electro-static, electro-magnetic, electro-thermal, or piezo-electric actuation. These micro-mechanical switches can also move laterally or horizontally, depending on their layouts. They can also be placed in either in series or shunt configurations and can be metal to metal d.c. contact or capacitive contact switches. This means that at least 32 different types of RF MEMS switches can be realized using different actuation mechanism, contact, and circuit implementations.

The RF MEMS switches have both the performance advantages of electromechanical relays and the manufacturability of solid-state switches such as GaAs (Gallium Arsenide) FETs and PIN diodes. In comparison with the solid-state switches, they provide the ultra-low losses, high isolation, high power handling capability, and high linearity. They are also unique in that they have broadband frequency characteristics (meaning they can operate over a wide frequency range). The unique attributes of the RF MEMS switches significantly increase the battery life and/or range of any radios, including cell phones, wireless LANs (Local Area Networks), and PDAs (Personal Digital Assistants). These switches are ideally suited for use in wireless handsets, smart antennas, wireless LANs, global positioning receivers, broadband wireless access equipments, base stations, and other applications where low insertion loss, high linearity, high isolation, and small size are critical.

Table A.1 – Comparison of semiconductor and RF MEMS switches

Characteristics/Types	GaAs FETs, PIN diode switches	RF MEMS switches
Insertion loss	High	Low
Isolation	Poor	Good
Switching time	Fast (~ ns)	Slow (~μs)
Power consumption	Low	Negligible (electro-static, piezo-electric)
Operation voltage	Low	High, Low(electro- magnetic, piezo-electric)
2 nd order harmonics	Poor	Very good
Life cycles	>> 10 ⁹	Approximately 10 ⁹
Linearity	Non-linear	Ultra-linear
Band width	Narrow	Wide

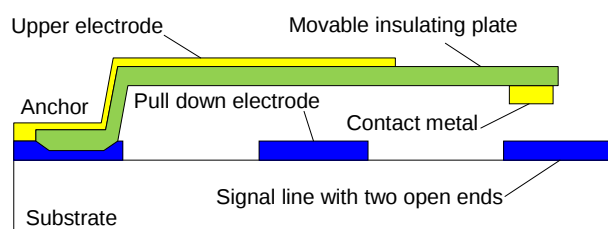
Annex B (informative)

Geometry of RF MEMS switches

B.1 DC contact (or resistive) switches

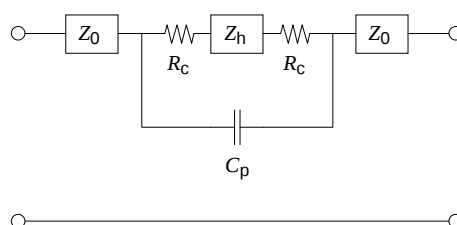
B.1.1 Series d.c. contact switch with two contact areas

Figure B.1 shows schematic drawings of RF MEMS series d.c. contact switch with two contact areas. When an actuation voltage is applied between the pull down electrode and the upper electrode formed on top of the insulating membrane, the signal line with two open ends is a short circuit as shown in the equivalent circuit model. When the switch is in the up-state position, R_c becomes a capacitance, C_s resulting in high isolation.



IEC 1646/11

B.1a) A cross-sectional view



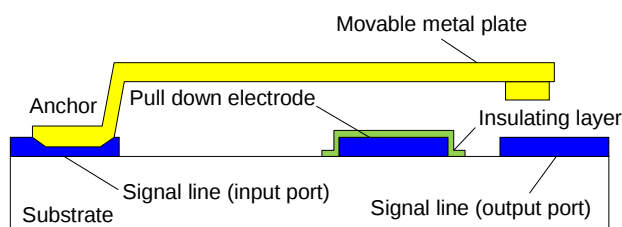
IEC 1647/11

B.1b) An equivalent circuit model

Figure B.1 – RF MEMS series d.c. contact switch with two contact areas.

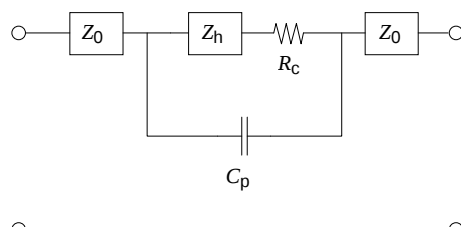
B.1.2 Series d.c. contact switch with one contact area

Figure B.2 shows schematic drawings of RF MEMS series d.c.-contact switch with one contact area. When an actuation voltage is applied between the pull down electrode and the upper movable metal plate, the isolated signal line is a short circuit through the movable metal plate as shown in the equivalent circuit model. When the switch is in the up-state position, R_c becomes a capacitance, C_s resulting in high isolation.



IEC 1648/11

B.2a) A cross-sectional view



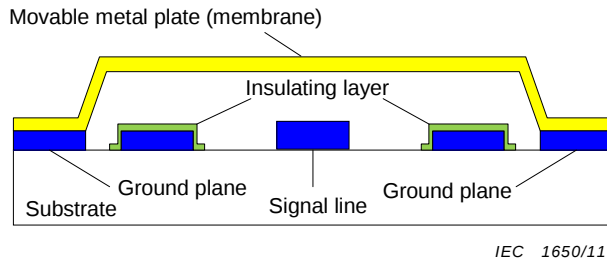
IEC 1649/11

B.2b) An equivalent circuit model

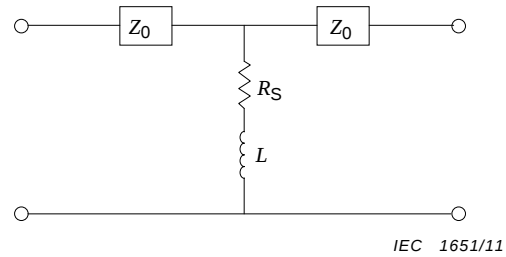
Figure B.2 – RF MEMS series d.c. contact switch with one contact area

B.1.3 Shunt d.c. contact switch

Figure B.3 shows schematic drawings of RF MEMS shunt d.c. contact switch. When an actuation voltage is applied between the upper movable metal plate and two pull down electrodes, the upper movable plate is pulled down onto the isolated signal line by an electrostatic force. It creates a short circuit as shown in the equivalent circuit model.



B.3a) A cross-sectional view



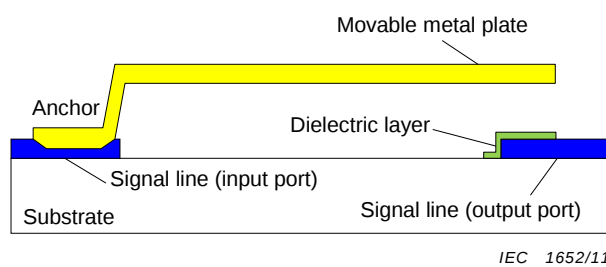
B.3b) An equivalent circuit model

Figure B.3 – RF MEMS shunt d.c. contact switch

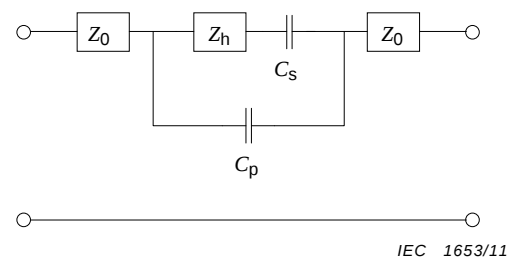
B.2 Capacitive switches

B.2.1 Series capacitive switch with one contact area

Figure B.4 shows RF MEMS series capacitive switch with one contact area. When an actuation voltage is applied between the upper movable metal plate and the isolated signal line, the upper movable metal plate is pulled down onto the dielectric layer on top of the isolated signal line. It creates a large capacitance resulting in a small insertion loss as shown in the equivalent circuit model. However, the ON capacitance is strongly related with the resonant frequency of the switch. The higher the capacitance is, the lower resonant frequency occurs. When the switch is in the up-state position, C_s is small enough to resulting in high isolation. When high RF power is applied into the input port, self actuation may occur without applying any d.c. actuation voltage.



B.4a) A cross-sectional view



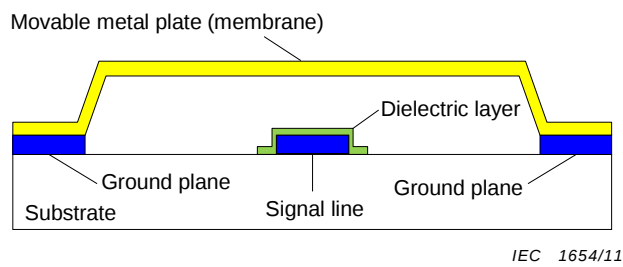
B.4b) An equivalent circuit model

Figure B.4 – RF MEMS series capacitive type switch with one contact area

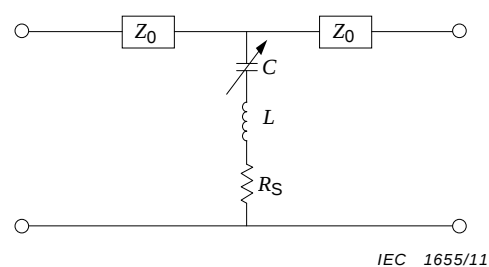
B.2.2 Shunt capacitive switch

Figure B.5 shows RF MEMS shunt capacitive switch. When an actuation voltage is applied between the upper movable metal plate and the signal line, the upper movable metal plate is pulled down onto the dielectric layer on top of the signal line by an electrostatic force. It creates a large capacitance resulting in a short circuit at microwave frequencies as shown in the equivalent circuit model. Since the large capacitance lowers resonant frequency, its value should be optimized. When the bias voltage is removed, the switch returns back to its original position due to the restoring force of the bridge. When the switch is in the up-state position, C

is small enough to resulting in high isolation. When high RF power is applied into the input port, self actuation may occur without applying any d.c. actuation voltage.



B.5a) A cross-sectional view



B.5b) An equivalent circuit model

Figure B.5 – RF MEMS shunt capacitive type switch

Table B.1 – Comparison of RF MEMS switches with different actuation mechanism

	Actuation voltage (V)	Actuation current (mA)	Consumed power (mW)	Device size	Switching speed (μ s)	Contact force (μ N)	Fabrication
Electro-statically actuated device	High	Negligible	Negligible	Small	Fast	Medium	Easy
Electro-thermally actuated device	Low	High	High	Large	Slow	High	Easy
Electro-magnetically actuated device	Low	High	High	Medium	Slow	Low	Hard
Piezo-electrically actuated device	Low	Negligible	Negligible	Medium	Medium	Low	Hard

Annex C (informative)

Packaging of RF MEMS switches

Packaging is the most important factor for the commercialization of the RF MEMS switches because the free standing mechanical structures must be protected and free of contamination. Additionally, the layout and materials in the package of the RF MEMS switches gives also large effects on their RF performances. The RF MEMS packaging should have hermetic sealing with inert gases such as nitrogen or argon. The RF MEMS switch package should not contain outgas organic compounds, hydrogen, moisture, particles, and the other corrosive gases such as ammonia, sulfur dioxide, and hydrogen sulfide. But the cost of the packaging should be low for reducing total cost of the switches. Thus, chip scale/ wafer level packaging is well suited for the RF MEMS switches, since it significantly reduces cost, improves reliability, and improves RF performance by eliminating wire bonds and leads. The bonding technique between the package and device substrates which is the core technology for the RF MEMS switch packaging can be classified as follows:

- C.1 Metal to metal solder bonding
- C.2 Glass to glass anodic bonding
- C.3 Glass frit bonding
- C.4 Gold to gold thermo-compression bonding
- C.5 Epoxy or BCB (Bis-benzocyclobutene) bonding with a metal coat

Annex D (informative)

Failure mechanism of RF MEMS switches

The reliability of the RF MEMS switches is of major concern for commercial applications. In d.c.-contact switches, the lifetimes are limited by stiction (micro-welding and material transfer) of a moving part and degradation of metal to metal contact used, whereas in capacitive switches, the reliability is limited by dielectric charging (charge injection and charge trapping). Atomic force microscopes (AFM), scanning electron microscopes (SEM), and Auger spectrometer are excellent tools to determine the failure mechanism of the d.c.-contact switches.

Table D.1 shows several major sources to contribute mechanical failure of the RF MEMS switches when they are keep operating.

Table D.1 – Comparison of failure mechanism of RF MEMS switches

Contact mode	Power level		
	Low (<1 mW)	Medium (1 mW to 100 mW)	High (>100 mW)
Capacitive switches	Dielectric charging	Dielectric charging, high current density	Self-actuation without pull down voltage, high current density
DC-contact switches	Pitting, hardening, dielectric formation	High current density, material transfer	Temperature increase in contact, high current density, material transfer

Annex E (informative)

Applications of RF MEMS switches

E.1 Most important characteristic parameters for system and subsystem applications

- E.1.1 Wireless communications: low cost, small size, wide bandwidth, long life time
- E.1.2 Test and measurement equipments, automatic testing equipments (ATE): low cost, small size, wide bandwidth, long life time
- E.1.3 Software defined radio (SDR), medical instruments: low cost, wide bandwidth, high switching speed
- E.1.4 Base station, Radar, military/aerospace applications: small size, long life time

E.2 Applicable subsystems based on reliability

- E.2.1 Switching networks: SPST, SPDT, SPMT, DPDT, MPMT, etc
- E.2.2 Phase shifters (analog and digital)
- E.2.3 T/R (transmitting/receiving) switches
- E.2.4 Very high isolation switches for instrumentation
- E.2.5 Spatial diversity antenna
- E.2.6 Tuning elements: variable inductors and capacitors
- E.2.7 Reconfigurable antennas
- E.2.8 Reconfigurable matching networks
- E.2.9 Tunable filters
- E.2.10 Switched filter banks
- E.2.11 Switched diversity antennas

E.3 Applicable systems based on reliability

E.3.1 Phased arrays

- (a.1) Communication systems: commercial (1 to 10^9 cycles), space and airborne (10 to 10^{10} cycles)
- (a.2) Radar systems: commercial, space, and airborne (10 to 10^{10} cycles), missile ($0,2$ to 10^9 cycles), automotive (1 to 10^9 cycles)

E.3.2 Switching and reconfigurable networks

- (b.1) Wireless communication: portable ($0,01$ to 4×10^9 cycles), base station ($0,1$ to 10^{10} cycles)
- (b.2) Satellite and airborne ($0,1$ to 10^9 cycles)
- (b.3) Instrumentation (10 to 10^{10} cycles)

E.3.3 Low power oscillators and amplifiers

- (c.1) Wireless communication: portable ($0,01$ to 2×10^9 cycles)
- (c.2) Satellite and airborne ($0,1$ to 10^9 cycles)

Annex F (informative)

Measurement procedure of RF MEMS switches

Figure F.1 shows the measurement procedure of RF MEMS switches.

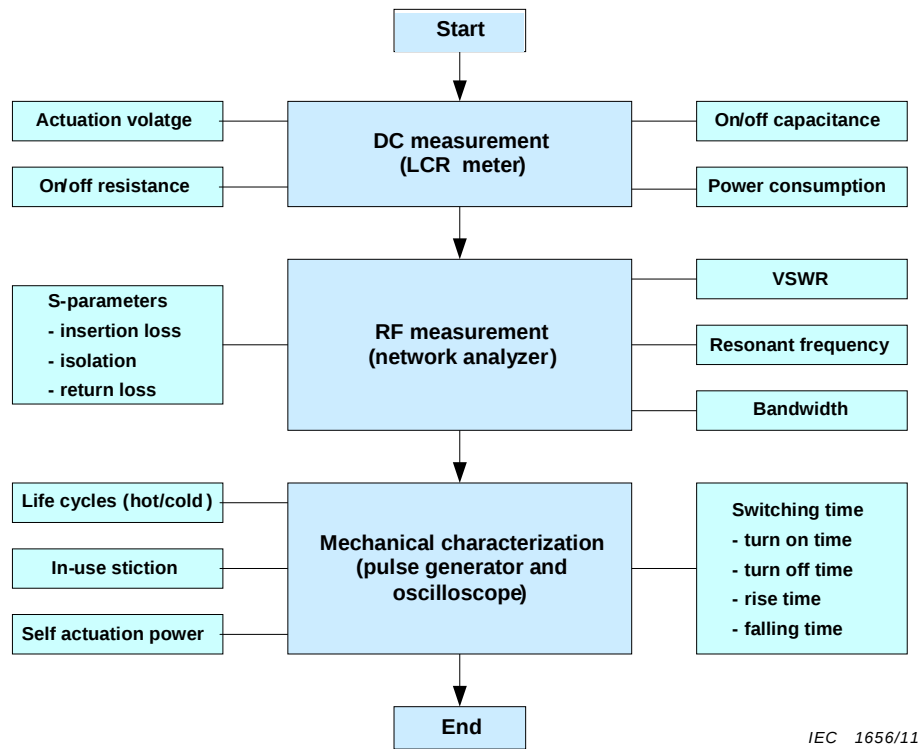


Figure F.1 – Measurement procedure of RF MEMS switches

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	38
1 Domaine d'application	40
2 Références normatives	40
3 Termes et définitions	40
3.1 Fonctionnement de la commutation	41
3.2 Configuration de la commutation	41
3.3 Mécanisme d'actionnement	41
3.4 Configurations du réseau de commutation	42
3.5 Fiabilité	42
3.6 Caractéristiques électriques	43
4 Valeurs limites et caractéristiques essentielles	44
4.1 Identification et types	44
4.2 Description de l'application et des spécifications	45
4.3 Conditions de fonctionnement et valeurs limites	45
4.4 Caractéristiques RF et à courant continu	45
4.5 Caractéristiques mécaniques et environnementales	46
4.6 Informations supplémentaires	46
5 Méthodes de mesure	46
5.1 Généralités	46
5.1.1 Précautions générales	46
5.1.2 Impédances caractéristiques	46
5.1.3 Précautions de manipulation	46
5.1.4 Types	46
5.2 Caractéristiques à courant continu	46
5.2.1 Tension d'actionnement à courant continu	46
5.2.2 Résistance à l'état passant ou bloqué (contact à courant continu ou de type résistif)	48
5.2.3 Capacité à l'état passant ou bloqué (type capacitif)	50
5.2.4 Consommation de puissance	51
5.3 Caractéristiques RF	51
5.3.1 Perte d'insertion (L_{ins})	51
5.3.2 Isolement (L_{iso})	53
5.3.3 Rapport d'ondes stationnaires en tension (VSWR)	55
5.3.4 Puissance d'entrée au point d'interception	55
5.4 Caractéristiques de commutation	55
5.4.1 Généralités	55
5.4.2 Mesure du temps de commutation	56
6 Fiabilité (performance)	56
6.1 Généralités	56
6.2 Cycles de durée de vie	57
6.2.1 Généralités	57
6.2.2 Commutation froide	57
6.2.3 Commutation chaude ou puissance supportée	58
6.3 Cycles de températures	59
6.3.1 Généralités	59
6.3.2 Température d'essai	59

6.3.3 Cycle d'essai	59
6.4 Essai à humidité et température élevées	60
6.5 Essai aux chocs	60
6.6 Essai de vibrations	60
6.7 Essai de sensibilité aux décharges électrostatiques (DES)	60
Annexe A (informative) Description générale des commutateurs MEMS-RF	61
Annexe B (informative) Géométrie des commutateurs MEMS-RF	62
Annexe C (informative) Encapsulation des commutateurs MEMS-RF	65
Annexe D (informative) Mécanisme de défaillance des commutateurs MEMS-RF	66
Annexe E (informative) Applications des commutateurs MEMS-RF	67
Annexe F (informative) Procédure de mesure des commutateurs MEMS-RF	69
Figure 1 – Bornes d'un commutateur MEMS-RF	45
Figure 2 – Schéma de circuit pour mesurer la tension d'actionnement à courant continu et les caractéristiques RF des commutateurs MEMS-RF	47
Figure 3 – Schéma de circuit pour mesurer l'impédance entre les ports d'entrée et de sortie	49
Figure 4 – Schéma de circuit pour mesurer les caractéristiques RF entre les ports d'entrée et de sortie en utilisant un analyseur de réseau	52
Figure 5 – Schéma de circuit d'un montage d'essai pour évaluer la durée de vie d'un commutateur MEMS-RF	57
Figure 6 – Schéma de circuit d'un montage d'essai pour la capacité à supporter une puissance d'un commutateur MEMS-RF	59
Figure B.1 – Commutateur à contact à courant continu série MEMS-RF avec deux régions de contact	62
Figure B.2 – Commutateur à contact à courant continu série MEMS-RF avec une région de contact	62
Figure B.3 – Commutateur à contact à courant continu parallèle MEMS-RF	63
Figure B.4 – Commutateur capacitif série MEMS-RF avec une région de contact	63
Figure B.5 – Commutateur capacitif parallèle MEMS-RF	64
Figure F.1 – Procédure de mesure des commutateurs MEMS-RF	69
Tableau A.1 – Comparaison entre commutateurs à semiconducteurs et commutateurs MEMS-RF	61
Tableau B.1 – Comparaison de commutateur MEMS-RF avec différents mécanismes d'actionnement	64
Tableau D.1 – Comparaison des mécanismes de défaillance des commutateurs MEMS-RF	66

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 5: Commutateurs MEMS-RF

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 62047-5 a été établie par le sous-comité 47F: Systèmes microélectromécaniques, du comité d'études 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47F/83/FDIS	47F/93/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62047, présentées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs microélectromécaniques*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

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

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS MICROÉLECTROMÉCANIQUES –

Partie 5: Commutateurs MEMS-RF

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62047 décrit la terminologie, les définitions, les symboles et des méthodes d'essai qui peuvent être utilisés pour évaluer et déterminer les paramètres des caractéristiques et des valeurs assignées essentielles des commutateurs MEMS-RF. Les déclarations faites dans la présente normalisation sont également applicables aux commutateurs RF (radiofréquence) MEMS (systèmes microélectromécaniques) avec différentes structures, différents contacts (contact à courant continu et contact capacitif), différentes configurations (série et parallèle), différents réseaux de commutation (SPST, SPDT, DPDT, etc.), et différents mécanismes d'actionnement (électrostatique, électrothermique, électromagnétique, piézoélectrique, etc.). Les commutateurs MEMS-RF sont des dispositifs destinés à un avenir prometteur dans les domaines des téléphones mobiles perfectionnés fonctionnant sur plusieurs bandes ou dans plusieurs modes, des systèmes radars intelligents, des dispositifs et des systèmes RF reconfigurables, des téléphones SDR (radio logicielle), des équipements d'essai, des dispositifs et des systèmes accordables, des satellites, etc.

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 des documents normatifs de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60747-1:2006, *Dispositifs à semiconducteurs – Partie 1: Généralités*

CEI 60747-16-1, *Dispositifs à semiconducteurs – Partie 16-1: Circuits intégrés hyperfréquences – Amplificateurs*

CEI 60747-16-4:2004, *Semiconductor devices – Part 16-4: Microwave integrated circuits – Switches* (disponible en anglais seulement)

CEI 60749-5, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 5: Essai continu de durée de vie sous température et humidité avec polarisation*

CEI 60749-10, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 10: Chocs mécaniques*

CEI 60749-12, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 12: Vibrations, fréquences variables*

CEI 60749-27, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 27: Essai de sensibilité aux décharges électrostatiques (DES) – Modèle de machine (MM)*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

NOTE Afin d'améliorer la lisibilité dans le texte de la présente norme, le terme commutateur désigne un commutateur MEMS-RF.

3.1 Fonctionnement de la commutation

3.1.1

commutateur capacitif

commutateur qui bloque ou laisse passer un signal RF par un changement du rapport d'impédance provoqué par l'effet capacitif de la mise en contact utilisant une plaque de métal mobile sur un film diélectrique placé sur une plaque de métal fixe

3.1.2

commutateur de contact à courant continu

commutateur qui bloque ou laisse passer un signal RF par un contact en métal mobile

3.2 Configuration de la commutation

3.2.1

commutateur série

commutateur qui laisse directement passer un signal RF appliqué au port d'entrée vers le port de sortie lorsqu'une plaque mobile est en contact avec une plaque fixe

3.2.2

commutateur parallèle

commutateur qui laisse passer un signal RF appliqué au port d'entrée vers le plan de masse lorsqu'une plaque mobile est en contact avec une plaque fixe

3.3 Mécanisme d'actionnement

3.3.1

commutateur actionné par voie électrostatique

commutateur permettant de baisser un contact mobile sur la plaque fixe par une force électrostatique générée par la tension continue de polarisation appliquée. La plaque mobile revient à sa position initiale quand la tension de polarisation est retirée

NOTE Les avantages sont une consommation de puissance pratiquement nulle, une petite taille d'électrode, un temps de commutation relativement court et une fabrication relativement simple. L'inconvénient est une tension d'actionnement plus élevée.

3.3.2

commutateur actionné par voie électromagnétique

commutateur permettant de baisser une plaque ou une armature mobile sur une plaque fixe à l'aide d'une force magnétique générée par un aimant permanent ou un électro-aimant excité

NOTE L'avantage est une basse tension d'actionnement et les inconvénients sont la complexité de fabrication et la consommation de puissance élevée.

3.3.3

commutateur actionné par voie électrothermique

commutateur faisant plier une plaque mobile construite à partir de deux matériaux différents ou plus avec des coefficients de dilatation thermique différents pour que la plaque entre en contact avec une électrode ou une plaque fixe

NOTE Les avantages sont la flexion en fonction de la puissance quasiment linéaire et la robustesse environnementale. Les inconvénients sont une consommation de puissance élevée, une faible bande passante et une fabrication relativement complexe.

3.3.4

commutateur actionné par voie piézoélectrique

commutateur faisant plier une plaque mobile construite à partir de matériaux piézoélectriques pour que la plaque entre en contact avec une électrode ou une plaque fixe

3.4 Configurations du réseau de commutation

3.4.1

commutateur unipolaire unidirectionnel

SPST (*single-pole-single-throw switch*)

dispositif à une seule entrée et une seule sortie, qui offre une fonction de commutation entre l'état passant et l'état bloqué sur l'actionnement du commutateur

3.4.2

commutateur unipolaire bidirectionnel

SPDT (*single-pole-double-throw switch*)

dispositif à une seule entrée et deux sorties, qui transfère la connexion d'une sortie à l'autre sur l'actionnement du commutateur

3.4.3

commutateur unipolaire multidirectionnel

SPMT (*single-pole-multi-throw switch*)

dispositif à une entrée et plusieurs sorties dans lequel la connexion à une des sorties est déterminée par l'actionnement du commutateur

3.4.4

commutateur bipolaire bidirectionnel

DPDT (*double-pole-double-throw switch*)

dispositif à deux entrées et deux sorties, qui transfère la connexion d'une sortie à l'autre sur l'actionnement du commutateur

3.4.5

commutateur multipolaire-multidirectionnel

MPMT (*multi-pole-multi-throw switch*)

dispositif avec des entrées et des sorties multiples qui transfère la connexion des sorties multiples vers les autres sorties multiples avec l'interrupteur de commande

3.5 Fiabilité

3.5.1

cycles de durée de vie

nombre d'actionnements effectués par les commutateurs ayant donnés des performances électriques satisfaisantes dans les états passants/bloqués

NOTE Contrairement au commutateur électronique, un commutateur mécanique peut être défaillant à cause des frottements (microsoudure et transfert de matériau) d'une pièce mobile et de la dégradation du contact métal sur métal utilisé, alors que dans le cas d'un commutateur électronique RF (commutateur capacitif) la fiabilité est limitée par la charge diélectrique (injection de charges et piégeage de charges).

3.5.2

commutation froide

commutation effectuée lorsque l'alimentation RF n'est pas appliquée pendant le fonctionnement du commutateur

NOTE Il est utile d'examiner la durabilité de l'électrode du commutateur pour voir si elle peut supporter les contraintes physiques d'une commutation répétée.

3.5.3

commutation chaude

commutation effectuée lorsque l'alimentation RF est appliquée pendant le fonctionnement du commutateur

NOTE Les essais de commutation chaude indiquent comment le commutateur évoluera dans des conditions de fonctionnement réelles, lorsque du courant traverse le dispositif.

3.6 Caractéristiques électriques

3.6.1

caractéristiques à courant continu

3.6.1.1

tension d'actionnement

tension continue permettant de maintenir l'électrode mobile (ou la membrane) du commutateur sur la plaque fixe et d'assurer les caractéristiques RF souhaitées

3.6.1.2

résistance à l'état passant – Type de contact à courant continu

résistance électrique mesurée aux bornes des contacts complètement fermés sur leurs bornes externes associées

3.6.1.3

résistance à l'état bloqué – Type de contact à courant continu

résistance électrique mesurée aux bornes des contacts complètement ouverts sur leurs bornes externes associées

3.6.1.4

capacité à l'état passant – Type capacitif

capacité électrique mesurée dans la position de l'état bas (l'électrode mobile plaquée contre la couche diélectrique au-dessus de l'électrode fixe) du commutateur

3.6.1.5

capacité à l'état bloqué – Type capacitif

capacité électrique mesurée dans la position de l'état haut (avant que l'électrode mobile ne soit actionnée)

3.6.1.6

consommation de puissance

puissance consommée pour baisser et maintenir la plaque mobile contre l'électrode fixe lorsque le commutateur est à l'état passant

3.6.2

caractéristiques RF

3.6.2.1

perte d'insertion

[CEI 60747-16-4:2004, 3.1]

3.6.2.2

isolement

[CEI 60747-16-4:2004, 3.2]

NOTE L'isolement est provoqué par une fuite de puissance RF d'un conducteur vers un autre par rayonnement, ionisation, couplage capacitif ou couplage inductif .

3.6.2.3

affaiblissement de réflexion

[CEI 60747-16-4:2004, 3.3]

3.6.2.4

rapport d'ondes stationnaires en tension

VSWR (*voltage standing wave ratio*)

rapport entre l'intensité du champ électrique à une tension maximale sur une ligne de transmission et l'intensité du champ électrique d'une tension adjacente minimale

3.6.2.5

fréquence de résonance

fréquence de la résonance série LC quand le commutateur est dans la position de l'état haut et dans la position de l'état bas, respectivement

3.6.2.6

bande passante

gamme de fréquences dans laquelle les caractéristiques RF du commutateur sont suffisantes pour que le commutateur soit utilisé dans des applications de systèmes et de sous-systèmes

NOTE Elle est généralement exprimée comme la différence de fréquences ou de pourcentages entre les points inférieurs ou supérieurs de 1 dB par rapport à la courbe de réponse en fréquence.

3.6.2.7

capacité à supporter une puissance

capacité d'un commutateur à transmettre une quantité de puissance donnée à travers le dispositif quand le commutateur est à l'état passant

3.6.3

caractéristiques de commutation

3.6.3.1

puissance d'auto-actionnement

puissance RF qui actionne la plaque mobile du commutateur sans qu'aucune tension ne lui soit directement appliquée

3.6.3.2

temps de commutation

3.6.3.2.1

temps d'établissement

[CEI 60747-16-4:2004, 3.6]

3.6.3.2.2

temps de coupure

[CEI 60747-16-4:2004, 3.7]

3.6.3.2.3

temps de montée

temps de transition du commutateur entre l'état bloqué et l'état passant

NOTE Etat bloqué: 10 % de C_{up} , état passant: 90 % de C_{down} .

[CEI 60747-16-4:2004, 3.8]

3.6.3.2.4

temps de descente

temps de transition du commutateur entre l'état passant et l'état bloqué

[CEI 60747-16-4:2004, 3.9]

4 Valeurs limites et caractéristiques essentielles

4.1 Identification et types

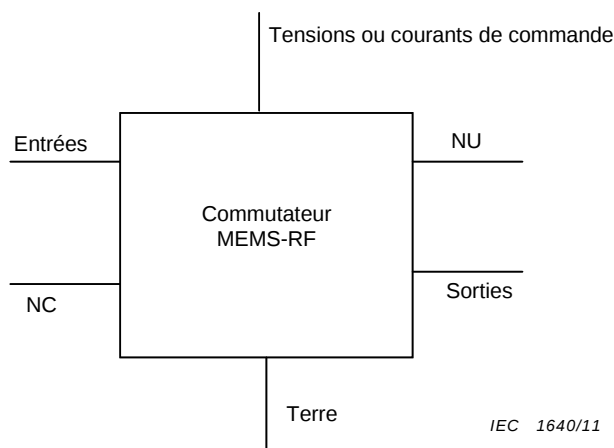
Il convient de donner une description générale de la fonction des commutateurs MEMS-RF et de leurs applications. Il convient que la description inclue les détails des technologies de fabrication des commutateurs MEMS-RF pour différents fonctionnements, différentes configurations et différents mécanismes d'actionnement. Il convient que la description inclue également la forme du boîtier, les matériaux du boîtier et la numérotation des bornes.

Voir 4.1 de la CEI 60747-16-4:2004.

4.2 Description de l'application et des spécifications

Les informations sur l'application du commutateur MEMS-RF doivent être fournies. Il convient également de donner des schémas des commutateurs MEMS-RF et des systèmes appliqués. Il convient d'identifier toutes les bornes sur le schéma et leurs fonctions doivent être décrites.

Voir 4.2 et 4.3 de la CEI 60747-16-4:2004.



IEC 1640/11

NOTE NC est une borne non connectée et NU est une borne non utilisable.

Figure 1 – Bornes d'un commutateur MEMS-RF

4.3 Conditions de fonctionnement et valeurs limites

Il convient que la présente déclaration inclue des conditions et des valeurs limites. En particulier, les valeurs limites électriques (tensions de commande ou courants de commande, puissance d'entrée, puissance supportée, dissipation de puissance, etc.) et les conditions de température (température de fonctionnement, température ambiante, température de stockage et température de soudure) doivent être indiquées. Ces valeurs sont indiquées dans le tableau suivant.

Paramètres (note)	Symboles	Min.	Max.	Unité

Voir 4.4 et 4.5 de la CEI 60747-16-4:2004.

4.4 Caractéristiques RF et à courant continu

Les valeurs Min., Nominal et Max. des paramètres des caractéristiques RF et à courant continu doivent être données, sous forme de tableau.

Caractéristiques	Symboles	Conditions	Min.	Nominal	Max.	Unité

4.5 Caractéristiques mécaniques et environnementales

Toutes les caractéristiques mécaniques spécifiques et les valeurs assignées environnementales applicables doivent être indiquées. Les caractéristiques avec Symboles, Unité, Min., Nominal et Max. doivent être indiquées sous forme de tableau.

Voir 4.6 de la CEI 60747-16-4:2004.

4.6 Informations supplémentaires

Certaines informations supplémentaires doivent être données comme les circuits d'entrée et de sortie équivalents (par exemple l'impédance d'entrée/sortie, condensateurs du bloc continu, etc.), les circuits de protection interne contre des tensions statiques élevées ou les champs électriques, les précautions de manipulation et les informations et les données d'application, etc.

Voir 4.8 de la CEI 60747-16-4:2004.

5 Méthodes de mesure

5.1 Généralités

Le présent article prescrit des méthodes de mesure pour les caractéristiques électriques des commutateurs MEMS-RF utilisés dans les bandes de fréquences allant du régime continu aux hyperfréquences.

5.1.1 Précautions générales

Des précautions spéciales doivent être prises pour utiliser des alimentations en courant continu, des alimentations RF d'entrée et toutes les alimentations de polarisation dans le cadre de la mesure des commutateurs MEMS-RF. Le niveau du signal d'entrée et/ou de sortie doit être spécifié en puissance ou en tension.

5.1.2 Impédances caractéristiques

Les impédances caractéristiques d'entrée et de sortie des systèmes de mesure sont $50\ \Omega$. Si elles ne sont pas $50\ \Omega$, elles doivent être spécifiées.

5.1.3 Précautions de manipulation

Voir l'Article 8 de la CEI 60747-1:2006

5.1.4 Types

Dans la présente norme, les commutateurs MEMS-RF sont à la fois du type boîtier et du type puce, ils sont mesurés à l'aide de fixations et d'équipements d'essai appropriés.

5.2 Caractéristiques à courant continu

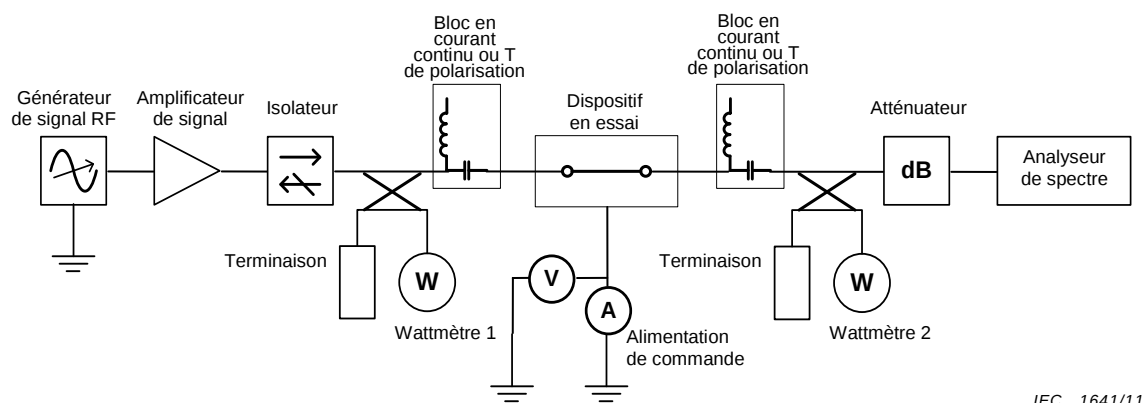
5.2.1 Tension d'actionnement à courant continu

5.2.1.1 But

Mesurer la tension de commande à courant continu optimale pour satisfaire aux caractéristiques RF souhaitées.

5.2.1.2 Schéma de circuit

La Figure 2 montre un schéma de circuit pour mesurer la tension d'actionnement à courant continu et les caractéristiques RF des commutateurs MEMS-RF.



Légende

Composants et appareils de mesure pour contrôler		Matériels et alimentations	
DUT: dispositif en essai	une pièce des commutateurs MEMS-RF	Générateur de signal RF:	pour fournir un signal RF spécifié à un type d'amplificateur de signal
V:	source de tension à courant continu pour le fonctionnement du DUT	Amplificateur de signal:	pour appliquer un niveau de signal amplifié au port d'entrée d'une pièce de DUT dans l'isolateur
A:	source de courant à courant continu pour le fonctionnement du DUT	Isolateur:	pour appliquer la puissance d'entrée amplifiée à une pièce du DUT sans revenir à un amplificateur de signal
W	wattmètre pour surveiller la valeur de la puissance de sortie (en watts) d'une pièce du dispositif en essai	Bloc en courant continu ou T de polarisation:	pour bloquer un niveau du signal à courant continu entre les ports d'entrée et de sortie du DUT
dB:	atténuateur pour réduire la puissance de sortie du DUT pour la protection de l'analyseur de spectre	Alimentation de commande:	pour appliquer une tension de polarisation spécifiée à une pièce du DUT
Analyseur de spectre:	pour mesurer le spectre à travers le DUT	Terminaison:	pour maintenir le niveau de puissance mesuré stable

NOTE 1 La polarisation de commande pour un commutateur MEMS-RF est délivrée pour que le commutateur soit passant ou bloqué entre les ports d'entrée et de sortie.

NOTE 2 L'isolateur a pour objet de maintenir constant le niveau de puissance sur le dispositif en mesure quelle que soit la désadaptation de l'impédance d'entrée. Un T de polarisation est utilisé pour bloquer le signal continu entre les ports d'entrée et de sortie du dispositif en mesure.

Figure 2 – Schéma de circuit pour mesurer la tension d'actionnement à courant continu et les caractéristiques RF des commutateurs MEMS-RF

5.2.1.3 Principe de mesure

Quand une tension de commande augmente entre les électrodes d'excitation (une électrode mobile et une électrode fixe), la mesure est faite lorsque la plaque mobile du commutateur MEMS-RF est maintenue contre la plaque fixe et les caractéristiques RF souhaitées restent les mêmes.

5.2.1.4 Procédure de mesure

La fréquence du générateur de signal RF doit être réglée à la valeur spécifiée.

Une puissance d'entrée appropriée doit être appliquée au dispositif en mesure.

La tension de polarisation continue de commande sera appliquée et modifiée pour trouver la puissance de sortie souhaitée qui est proche de la puissance d'entrée.

Lorsque la puissance de sortie souhaitée est obtenue, la tension de polarisation continue est enregistrée comme étant la tension d'actionnement continue optimale.

5.2.1.5 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les suivantes:

- température ambiante ou température du point de référence;
- conditions de polarisation;
- fréquence;
- puissance d'entrée;
- caractéristiques RF souhaitées;
- port mesuré.

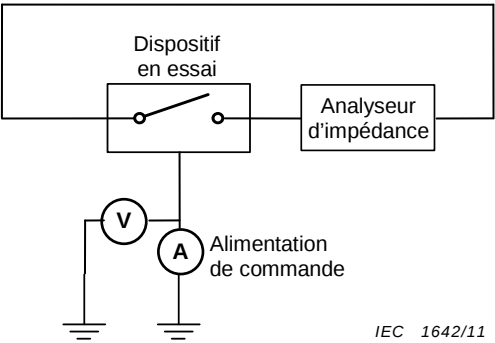
5.2.2 Résistance à l'état passant ou bloqué (contact à courant continu ou de type résistif)

5.2.2.1 But

Mesurer la résistance à courant continu (ou basse fréquence) entre les ports d'entrée et de sortie à l'état « passant » ou « bloqué ».

5.2.2.2 Schéma de circuit

La Figure 3 montre un schéma de circuit pour la mesure de l'impédance entre les ports d'entrée et de sortie.



IEC 1642/11

Légende

Composants et appareils de mesure pour contrôler		Matériels et alimentations	
DUT: dispositif en essai:	une pièce des commutateurs MEMS-RF	Alimentation de commande:	pour appliquer une tension de polarisation spécifiée à une pièce du DUT
V:	source de tension à courant continu pour le fonctionnement du DUT	Analyseur d'impédance:	pour mesurer l'impédance entre les ports d'entrée et de sortie du DUT
A:	source de courant à courant continu pour le fonctionnement du DUT		

NOTE La polarisation de commande est délivrée pour que le commutateur soit passant entre les ports d'entrée et de sortie.

Figure 3 – Schéma de circuit pour mesurer l'impédance entre les ports d'entrée et de sortie

5.2.2.3 Principe de mesure

La résistance à l'état passant, R_{on} , et la résistance à l'état bloqué, R_{off} , sont dérivées de l'impédance entre les ports d'entrée et de sortie et sont exprimées en ohms. La résistance est mesurée comme suit:

$$R_{on} = re (Z_{on}) \tag{2}$$

$$R_{off} = re (Z_{off}) \tag{3}$$

où

Z_{on} et Z_{off} sont les valeurs indiquées par l'analyseur d'impédance.

5.2.2.4 Procédure de mesure

L'analyseur d'impédance doit être étalonné afin d'éliminer l'erreur systématique de l'analyseur d'impédance, des câbles et des connecteurs.

Un étalonnage de l'impédance en circuit ouvert et en court-circuit, un étalonnage des impédances de 50 Ω et des étalonnages courts doivent être effectués et enregistrés.

Quand la tension d'actionnement est appliquée au dispositif en mesure, son impédance s'affichera.

La valeur réelle de l'impédance mesurée est considérée comme la résistance à l'état passant comme cela est décrit en 5.2.2.3.

NOTE À la place de l'analyseur d'impédance, on peut utiliser un multimètre ou un appareil de mesure de LCR pour mesurer directement la résistance à l'état passant ou bloqué.

5.2.2.5 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les suivantes:

- température ambiante ou température du point de référence;
- conditions de polarisation;
- port mesuré.

5.2.3 Capacité à l'état passant ou bloqué (type capacitif)

5.2.3.1 But

Mesurer la capacité série entre les ports d'entrée et de sortie à l'état passant ou bloqué.

5.2.3.2 Schéma de circuit

Le circuit de mesure est le même que celui représenté à la Figure 3.

5.2.3.3 Principe de mesure

La capacité à l'état passant, C_{on} , et la capacité à l'état bloqué, C_{off} , sont dérivées de l'impédance entre les ports d'entrée et de sortie et sont exprimées en farads. La capacité est mesurée comme suit:

$$C_{on} = -1 / (\omega \operatorname{Im}(1/Z_{on})) = -1 / (2\pi f \operatorname{Im}(1/Z_{on})) \quad (4)$$

$$C_{off} = -1 / (\omega \operatorname{Im}(1/Z_{off})) = -1 / (2\pi f \operatorname{Im}(1/Z_{off})) \quad (5)$$

où

Z_{on} et Z_{off} sont les valeurs indiquées par l'analyseur d'impédance, et C_{on} et C_{off} sont exprimés en farad.

5.2.3.4 Procédure de mesure

L'analyseur d'impédance doit être étalonné afin d'éliminer l'erreur systématique de l'analyseur d'impédance, des câbles et des connecteurs.

Un étalonnage de l'impédance en circuit ouvert et en court-circuit, un étalonnage des impédances de 50 Ω et des étalonnages courts doivent être effectués et enregistrés.

Quand la tension d'actionnement est appliquée au dispositif en mesure, son impédance s'affichera.

La valeur imaginaire de l'impédance mesurée est divisée par la fréquence angulaire mesurée, ω comme cela est décrit en 5.2.3.3.

NOTE À la place de l'analyseur d'impédance, on peut utiliser un multimètre ou un appareil de mesure de LCR pour mesurer directement la capacité à l'état passant ou bloqué.

5.2.3.5 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les suivantes:

- température ambiante ou température du point de référence;
- conditions de polarisation;

- fréquence;
- port mesuré.

5.2.4 Consommation de puissance

5.2.4.1 But

Mesurer la consommation de puissance dans des conditions spécifiées.

NOTE La puissance est consommée pour baisser et maintenir la plaque mobile contre l'électrode fixe lorsque le commutateur MEMS-RF est à l'état passant ou bloqué.

5.2.4.2 Schéma de circuit

Voir Figure 2 en 5.2.1.2.

5.2.4.3 Principe de mesure

La puissance consommée est dérivée de l'équation suivante:

$$P = IV \quad (6)$$

où

I est le courant de polarisation de commande ;

V est la tension de polarisation de commande ;

P s'exprime en watts.

5.2.4.4 Procédure de mesure

La fréquence du générateur de signal RF doit être réglée à la valeur spécifiée.

Une puissance d'entrée appropriée doit être appliquée au dispositif en mesure.

La tension de polarisation continue de commande sera appliquée et modifiée pour trouver la puissance de sortie souhaitée qui est proche de la puissance d'entrée.

Lorsque la puissance de sortie souhaitée est obtenue, la tension ou le courant continu de commande du commutateur MEMS-RF est enregistré et utilisé pour calculer la puissance consommée à l'aide de l'Equation (6) décrite en 5.2.4.3.

5.2.4.5 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les suivantes:

- température ambiante ou température du point de référence;
- conditions de polarisation;
- fréquence;
- port mesuré.

5.3 Caractéristiques RF

5.3.1 Perte d'insertion (L_{ins})

5.3.1.1 But

Pour mesurer la perte d'insertion entre les ports d'entrée et de sortie à l'état « passant ».

5.3.1.3 Principe de mesure

Quand la puissance incidente est appliquée au port d'entrée du commutateur MEMS-RF, il s'agit d'un rapport mesuré entre la puissance transmise au port de sortie et la puissance incidente. La perte d'insertion du commutateur est obtenue à partir du paramètre S mesuré, S_{21} . La perte d'insertion, L_{ins} , s'exprime normalement en décibels (dB). Elle suit une expression logarithmique d'un rapport entre deux grandeurs (généralement tension, courant ou puissance) et satisfait l'équation,

$$L_{ins} = -20 \log(|S_{21}|) [\text{dB}] \quad (\text{le commutateur est passant}) \quad (7)$$

Lorsque le VNA (analyseur de réseau vectoriel) n'est pas utilisé, voir 5.2 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.3.1.4 Procédure de mesure

Le montage de la mesure est illustré à la Figure 4. Un signal RF de la sortie RF du Port 1 d'un analyseur de réseau est ajouté directement au Port 2 grâce à un appareil à mesurer. Avant de connecter un appareil à mesurer, un étalonnage doit être effectué afin d'éliminer les erreurs systématiques dans l'analyseur de réseau, le câble et les connecteurs.

La technique d'étalonnage complet à 2-accès est fortement recommandée. Un étalonnage de l'impédance en circuit ouvert et en court-circuit, un étalonnage des impédances de 50Ω et des étalonnages courts doivent être effectués et enregistrés dans l'ordre.

Après étalonnage, connecter l'appareil à mesurer à l'endroit indiqué dans la Figure 4. Quand une tension d'actionnement est appliquée à l'appareil à mesurer (l'interrupteur est connecté mécaniquement ou électriquement), le paramètre S doit être mesuré en utilisant l'analyseur de réseau.

5.3.1.5 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les suivantes:

- température ambiante ou température du point de référence;
- conditions de polarisation;
- fréquence;
- port mesuré.

5.3.2 Isolement (L_{iso})

5.3.2.1 But

Mesurer l'isolement entre les ports d'entrée et de sortie à l'état « bloqué ».

5.3.2.2 Schéma de circuit

Le circuit de mesure est le même que celui montré à la Figure 4.

5.3.2.3 Principe de mesure

La puissance RF peut fuir d'un conducteur vers un autre par rayonnement, ionisation, couplage capacitif ou couplage inductif. Dans le cas des dispositifs de commutation, l'isolement est la mesure du niveau de puissance au niveau des sorties RF non connectées, que l'on appelle la puissance circulant entre l'entrée et la sortie connectée. L'isolement, L_{iso} , est normalement spécifié en dB en dessous du niveau de puissance d'entrée et calculé à partir du paramètre S .

$$L_{\text{iso}} = -20 \log(|S_{21}|) [\text{dB}] \text{ (le commutateur est bloqué)} \quad (8)$$

Lorsque le VNA (analyseur de réseau vectoriel) n'est pas utilisé, voir 5.3 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.3.2.4 Procédure de mesure

Le montage de la mesure est illustré à la Figure 4. Un signal RF de la sortie RF du Port 1 d'un analyseur de réseau est ajouté directement au Port 2 grâce à un appareil à mesurer. Avant de connecter un appareil à mesurer, un étalonnage doit être effectué afin d'éliminer les erreurs systématiques dans l'analyseur de réseau, le câble et les connecteurs.

La technique d'étalonnage complet à 2-accès est fortement recommandée. Un étalonnage de l'impédance en circuit ouvert et en court-circuit, un étalonnage des impédances de 50 Ω et des étalonnages courts doivent être effectués et enregistrés dans l'ordre.

Après étalonnage, connecter l'appareil à mesurer à l'endroit indiqué dans la Figure 4. Quand une tension d'actionnement est appliquée à l'appareil à mesurer (l'interrupteur est connecté mécaniquement ou électriquement), le paramètre S sera mesuré en utilisant l'analyseur de réseau.

5.3.2.5 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les mêmes que celles décrites en 5.3.1.5.

5.3.2.6 Affaiblissement de réflexion (L_{ret})

Les conditions spécifiées sont les mêmes que celles décrites en 5.3.1.5.

5.3.2.7 But

Mesurer la perte de retour dans un port d'entrée à l'état « passant ».

5.3.2.8 Schéma de circuit

Le circuit de mesure est le même que celui montré à la Figure 4.

5.3.2.9 Principe de mesure

C'est le rapport mesuré, normalement exprimé en dB, de la puissance réfléchie à la puissance incidente. Il est calculé à partir des paramètres S mesurés, S_{11} .

$$L_{\text{ret}} = -20 \log(|S_{11}|) [\text{dB}] \quad (9)$$

Lorsque le VNA (analyseur de réseau vectoriel) n'est pas utilisé, voir 5.4 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.3.2.10 Procédure de mesure

La procédure de mesure est identique à celle décrite en 5.3.1.4.

5.3.2.11 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les mêmes que celles décrites en 5.3.1.5.

5.3.3 Rapport d'ondes stationnaires en tension (VSWR)

5.3.3.1 But

Mesurer le VSWR dans des conditions spécifiées.

5.3.3.2 Schéma de circuit

Lorsque l'analyseur de réseau vectoriel n'est pas utilisé, voir 5.4 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.3.3.3 Principe de mesure

Le VSWR est dérivé de l'équation suivante:

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (10)$$

Dans l'équation ci-dessus, le coefficient de réflexion Γ est dérivé de l'équation suivante:

$$|\Gamma| = 10^{-\frac{L_{\text{ret}}}{20}} \quad (11)$$

où

L_{ret} est l'affaiblissement de réflexion.

5.3.3.4 Procédure de mesure

Après avoir mesuré l'affaiblissement de réflexion en utilisant la procédure décrite en 5.4 de la CEI 60747-16-4:2004, le VSWR est calculé en insérant l'affaiblissement de réflexion mesuré dans les Equations (10) et (11) décrites en 5.3.3.3.

Lorsque l'analyseur de réseau vectoriel est utilisé, l'affaiblissement de réflexion est obtenu en mesurant le paramètre S décrit en 5.3.3.

5.3.3.5 Conditions spécifiées

Les conditions spécifiées sont les suivantes:

- température ambiante ou température du point de référence;
- conditions de polarisation;
- fréquence;
- puissance d'entrée;
- port mesuré.

5.3.4 Puissance d'entrée au point d'interception

Voir la CEI 60747-16-1.

5.4 Caractéristiques de commutation

5.4.1 Généralités

Les essais dynamiques du commutateur doivent être réalisés sous vide pour éliminer tous les effets de l'environnement (ou il convient d'encapsuler le dispositif avec des gaz inertes). Dans

les conditions atmosphériques ambiantes, l'humidité peut poser des problèmes de collage du commutateur pendant l'essai.

Voir 5.6 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.4.2 Mesure du temps de commutation

Voir 5.6 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.4.2.1 Temps d'établissement

Voir 5.6 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.4.2.2 Temps de coupure

Voir 5.6 de la CEI 60747-16-4:2004.

5.4.2.3 Temps de montée

Voir 5.6 de la CEI 60747-16-4:2004.

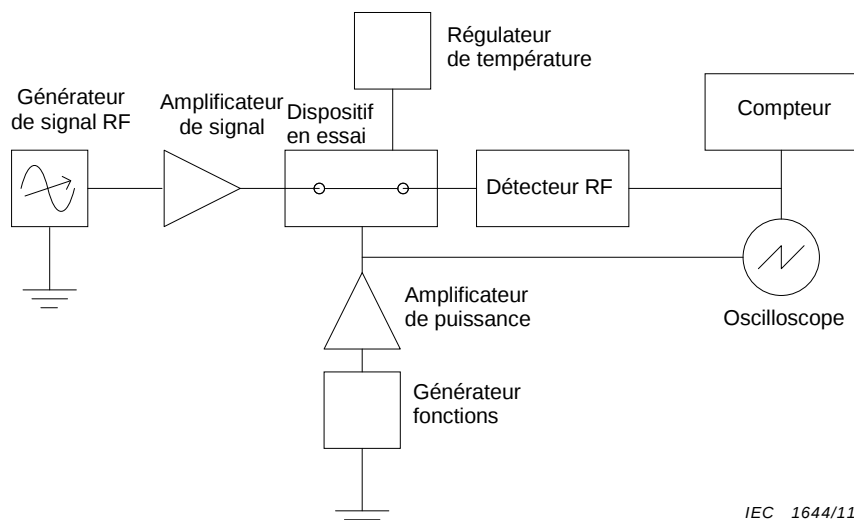
5.4.2.4 Temps de descente

Voir 5.6 de la CEI 60747-16-4:2004.

6 Fiabilité (performance)

6.1 Généralités

Pour procéder à un essai de durée de vie d'un commutateur MEMS-RF, le commutateur doit être actionné de manière répétée jusqu'à la panne. La méthode la plus simple pour contrôler l'actionnement du commutateur consiste à appliquer un signal d'onde continue au commutateur et à mesurer le signal RF modulé généré par l'actionnement du commutateur. La Figure 5 représente un montage d'essai pour évaluer la durée de vie d'un commutateur MEMS-RF. Quand un signal d'actionnement du commutateur, délivré par un générateur de fonctions et un amplificateur de puissance, est appliqué au commutateur MEMS-RF, un signal RF est appliqué à l'entrée du commutateur MEMS-RF. L'enveloppe RF modulée qui provient de l'actionnement du commutateur est mesurée par un oscilloscope et un compteur.



IEC 1644/11

Légende

Composants et appareils de mesure pour contrôler		Matériels et alimentations	
DUT: dispositif en essai	une pièce des commutateurs MEMS-RF	Générateur de signal RF:	pour fournir un signal RF spécifié à un type d'amplificateur de signal
Détecteur RF:	pour détecter la puissance de sortie d'une pièce du DUT	Amplificateur de signal:	pour appliquer un niveau de signal amplifié au port d'entrée d'une pièce de DUT à travers l'isolateur
Compteur:	pour compter les temps d'actionnement une pièce du DUT	Amplificateur de puissance	pour fournir une puissance amplifiée spécifiée pour actionner une pièce du DUT
Oscilloscope:	pour contrôler la puissance fournie et la forme d'onde de la sortie RF d'une pièce du DUT	Générateur fonctions:	de pour fournir un niveau de puissance fonctionnelle d'un amplificateur de puissance approprié
		Régulateur de température:	pour définir une valeur de température spécifiée d'une chambre climatique à température contrôlée.

Figure 5 – Schéma de circuit d'un montage d'essai pour évaluer la durée de vie d'un commutateur MEMS-RF

6.2 Cycles de durée de vie

6.2.1 Généralités

Le test des cycles de durée de vie consiste à actionner le commutateur de manière cyclique sur une période et à surveiller la dégradation du signal de sortie. Les cycles de durée de vie sont normalement exprimés comme le nombre de commutations qu'un relais ou un commutateur électromécanique effectuera avec un contact électrique satisfaisant à l'état passant. Pendant l'essai des cycles de durée de vie, il convient de faire varier le facteur de marche de l'impulsion de commutation dans la gamme comprise entre 0,1 et 0,9 pour différentes applications.

6.2.2 Commutation froide

La commutation froide effectue des cycles avec l'entrée activée seulement occasionnellement pour voir si le dispositif fonctionne toujours. Il est utile d'examiner la durabilité de l'électrode du commutateur pour voir si elle peut supporter les contraintes physiques d'une commutation répétée. Elle montre également s'il y a des problèmes d'accumulation de charges dans la couche de passivation, qui bloquerait le commutateur dans les contacts d'actionnement. La

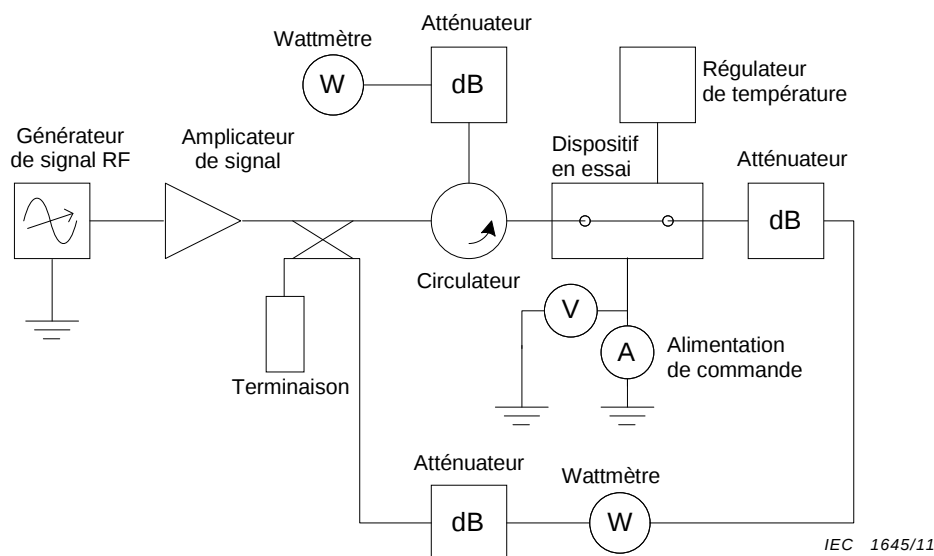
commutation froide est effectuée lorsque l'alimentation RF est retirée des contacts pendant l'actionnement du commutateur.

6.2.3 Commutation chaude ou puissance supportée

La commutation chaude effectue des cycles avec les signaux de puissance d'entrée activés en continu. Les essais de commutation chaude indiquent comment le commutateur évoluera dans des conditions de fonctionnement réelles, lorsque du courant traverse le dispositif. La Figure 5 représente un montage d'essai pour la capacité à supporter une puissance d'un commutateur MEMS-RF. La puissance d'entrée RF est produite par un générateur de signaux hyperfréquences et un amplificateur de puissance. Le signal amplifié est envoyé dans un coupleur où le port couplé est connecté à un atténuateur. L'atténuateur est connecté à une voie d'un wattmètre. Le signal d'entrée RF est délivré au commutateur MEMS-RF après avoir traversé un circulateur. Le signal de sortie RF provenant du commutateur MEMS-RF est délivré à une autre voie du wattmètre après avoir traversé un atténuateur. La capacité à supporter la puissance est déterminée en mesurant la puissance d'entrée RF que le commutateur peut supporter sans dégradation brutale des caractéristiques RF telles que la perte d'insertion, l'isolement, etc. Une source de tension continue sert à actionner le commutateur.

Pour procéder à l'essai d'une défaillance de l'auto-actionnement de la puissance RF, il convient d'appliquer une puissance RF au commutateur et de l'augmenter régulièrement jusqu'à ce que le commutateur soit actionné. Dès que le commutateur est actionné, le niveau de puissance RF est enregistré.

Le signal RF réfléchi revient du commutateur MEMS-RF et entre dans le wattmètre par le circulateur et l'atténuateur. La mesure du signal réfléchi est nécessaire pour identifier la cause de la perte de puissance, particulièrement dans la gamme des hautes fréquences.



Légende

Composants et appareils de mesure pour contrôler		Matériels et alimentations	
DUT: dispositif en essai	une pièce des commutateurs MEMS-RF	Générateur de signal RF:	pour fournir un signal RF spécifié à un type d'amplificateur de signal
V:	source de tension à courant continu pour le fonctionnement du DUT	Amplificateur de signal:	pour appliquer un niveau de signal amplifié au port d'entrée d'une pièce du DUT à travers l'isolateur
A:	source de courant à courant continu pour le fonctionnement du DUT	Circulateur:	pour permettre d'appliquer le signal amplifié maintenu à un niveau spécifié au DUT
W	wattmètre pour surveiller la valeur de la puissance de sortie (en watts) d'une pièce du dispositif en essai	Régulateur de température:	pour définir une valeur de température spécifiée d'une chambre climatique à température contrôlée
dB:	atténuateur pour réduire la puissance de sortie du DUT pour la protection de l'appareil de mesure de la puissance	Terminaison:	pour maintenir le niveau de puissance mesuré stable

Figure 6 – Schéma de circuit d'un montage d'essai pour la capacité à supporter une puissance d'un commutateur MEMS-RF

6.3 Cycles de températures

6.3.1 Généralités

Cet essai sert à évaluer la fiabilité en changeant les températures pendant la période de temps donnée. La température de fonctionnement et les cycles sont considérés comme des conditions optimales quand les caractéristiques de performance des commutateurs MEMS-RF sont garanties pendant l'essai.

6.3.2 Température d'essai

Le commutateur doit être soumis à l'essai dans une certaine gamme de températures requise par les applications.

6.3.3 Cycle d'essai

Le commutateur doit être soumis à l'essai dans la gamme de cycles donnée.

6.4 Essai à humidité et température élevées

Voir la CEI 60749-5:2004

6.5 Essai aux chocs

Voir la CEI 60749-10:2002.

6.6 Essai de vibrations

Voir la CEI 60749-12:2002.

6.7 Essai de sensibilité aux décharges électrostatiques (DES)

Voir la CEI 60749-27:2006 .

Annexe A (informative)

Description générale des commutateurs MEMS-RF

Les commutateurs MEMS-RF sont des dispositifs de commutation intégrés et miniaturisés qui utilisent un mouvement mécanique pour produire un court-circuit ou un circuit ouvert dans une ligne de transmission. Ils sont développés pour remplacer les commutateurs à semi-conducteur (TEC (transistors à effet de champ), commutateurs à diodes) actuellement utilisés qui présentent des inconvénients tels qu'une faible capacité à supporter la puissance, une non-linéarité, une bande passante étroite, des pertes d'insertion élevées et un mauvais isolement aux hautes fréquences. Ils peuvent être fabriqués facilement en lots et intégrés aux circuits CMOS (semiconducteur à oxyde de métal complémentaire) et MMIC (circuit intégré monolithique hyperfréquence) à base de silicium existants utilisés pour leurs circuits de commande. Les forces de déplacement nécessaires au mouvement mécanique dans les commutateurs MEMS-RF peuvent être obtenues par un actionnement électrostatique, électromagnétique, électrothermique ou piézoélectrique. Ces commutateurs micromécaniques peuvent également se déplacer latéralement ou horizontalement, en fonction de leur configuration. Ils peuvent également être placés en série ou en parallèle et peuvent être des commutateurs à contact capacitif ou des commutateurs à contact à courant continu de type métal sur métal. Ceci signifie qu'on peut réaliser au moins 32 différents types de commutateurs MEMS-RF en utilisant différents mécanismes d'actionnement, contacts et mises en œuvre de circuit.

Les commutateurs MEMS-RF offrent à la fois les performances des relais électromécaniques et la fabricabilité des commutateurs à semiconducteurs tels que les transistors TEC GaAs (arséniure de gallium) et les diodes PIN. Par rapport aux commutateurs à semiconducteurs, ils offrent les avantages suivants: pertes très faibles, isolement élevé, capacité à supporter la puissance élevée et linéarité élevée. En outre, leur caractéristique de large bande de fréquences est unique (ils peuvent en effet fonctionner sur une large gamme de fréquences). Les attributs uniques des commutateurs MEMS-RF augmentent largement la durée de vie des batteries et/ou la gamme de récepteurs radio, par exemple les téléphones cellulaires, les LAN (réseaux locaux sans fil) et les PDA (assistants personnels numériques). Ces commutateurs conviennent parfaitement aux combinés sans fil, aux antennes intelligentes, aux réseaux locaux sans fil, aux récepteurs de positionnement GPS, aux équipements d'accès sans fil à large bande, aux stations de base et à d'autres applications dans lesquelles il est important d'avoir une faible perte d'insertion, une linéarité élevée, un bon isolement et une petite taille.

**Tableau A.1 – Comparaison entre commutateurs à semiconducteurs
et commutateurs MEMS-RF**

Caractéristiques/Types	Commutateurs à TEC GaAs et à diodes PIN	Commutateurs MEMS-RF
Perte d'insertion	Elevée	Faible
isolement	Mauvais	Bon
Temps de commutation	Rapide (~ ns)	Lent (~µs)
Consommation de puissance	Faible	Négligeable (électrostatique, piézoélectrique)
Tension de fonctionnement	Faible	Elevée, faible (électromagnétique, piézoélectrique)
Harmoniques du 2 ^{ème} ordre	Mauvaises	Très bonnes
Cycles de durée de vie	>> 10 ⁹	Environ 10 ⁹
Linéarité	Non linéaire	Très linéaire
Largeur de bande	Etroite	Large

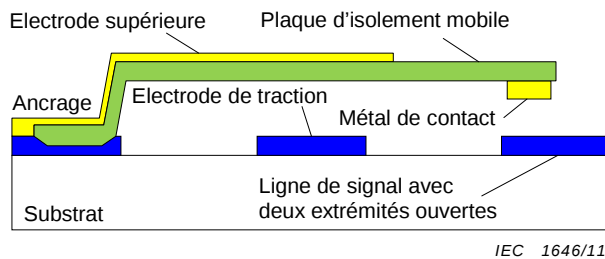
Annexe B (informative)

Géométrie des commutateurs MEMS-RF

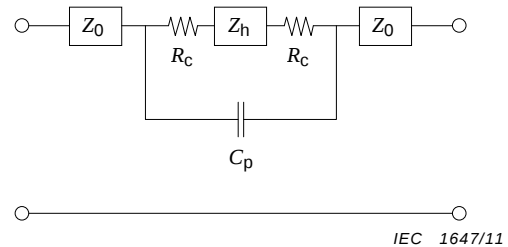
B.1 Commutateurs à contact à courant continu (ou résistif)

B.1.1 Commutateur à contact à courant continu série avec deux régions de contact

La Figure B.1 représente des dessins simplifiés d'un commutateur à contact à courant continu série MEMS-RF avec deux régions de contact. Quand une tension d'actionnement est appliquée entre l'électrode de traction et l'électrode supérieure formée au-dessus de la membrane isolante, la ligne de signal avec deux extrémités ouvertes forme un court-circuit comme cela est représenté sur le modèle de circuit équivalent. Quand le commutateur est en position haute, R_c devient une capacité C_s ce qui entraîne un isolement élevé.



B.1a) Une vue en coupe de la ligne

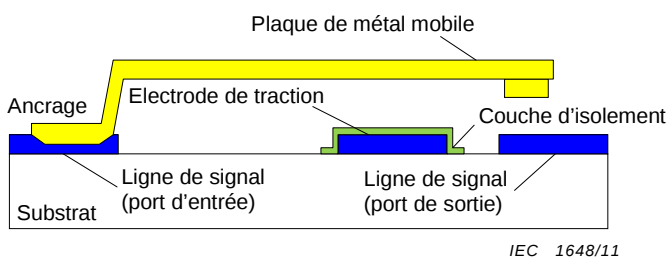


B.1b) Un modèle de circuit équivalent

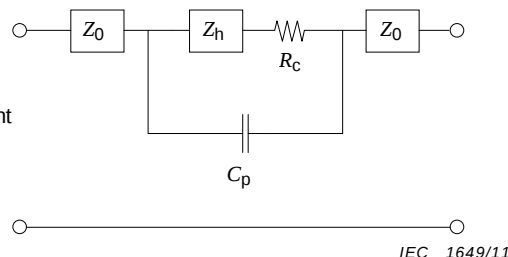
Figure B.1 – Commutateur à contact à courant continu série MEMS-RF avec deux régions de contact

B.1.2 Commutateur à contact à courant continu série avec une région de contact

La Figure B.2 représente des dessins simplifiés d'un commutateur à contact à courant continu série MEMS-RF avec une région de contact. Quand une tension d'actionnement est appliquée entre l'électrode de traction et la plaque de métal supérieure mobile, la ligne de signal isolée forme un court-circuit à travers la plaque de métal mobile comme cela est représenté sur le modèle de circuit équivalent. Quand le commutateur est en position haute, R_c devient une capacité C_s ce qui entraîne un isolement élevé.



B.2a) Une vue en coupe de la ligne

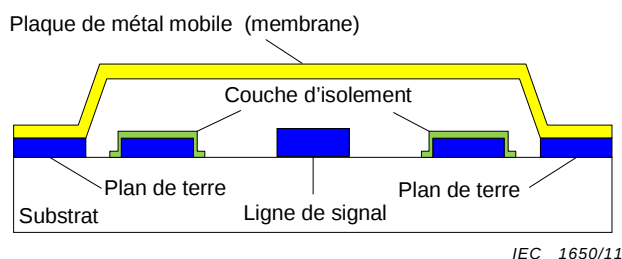


B.2b) Un modèle de circuit équivalent

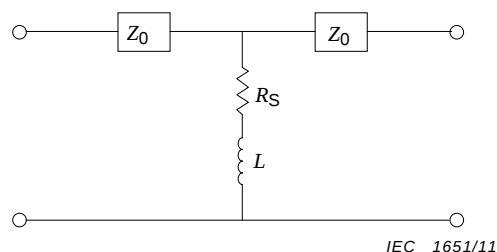
Figure B.2 – Commutateur à contact à courant continu série MEMS-RF avec une région de contact

B.1.3 Commutateur à contact à courant continu parallèle

La Figure B.3 représente des dessins simplifiés d'un commutateur à contact à courant continu parallèle MEMS-RF. Quand une tension d'actionnement est appliquée entre la plaque de métal mobile supérieure et deux électrodes de traction, la plaque mobile supérieure est baissée sur la ligne de signal isolée par une force électrostatique. Cela crée un court-circuit comme cela est représenté par le modèle de circuit équivalent.



B.3a) Une vue en coupe de la ligne



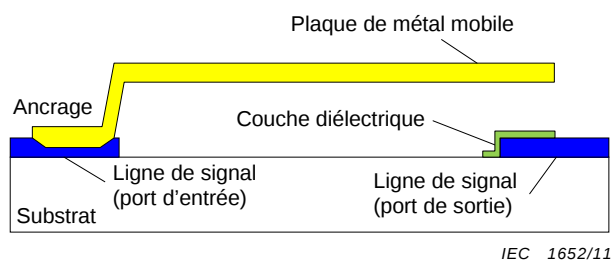
B.3b) Un modèle de circuit équivalent

Figure B.3 – Commutateur à contact à courant continu parallèle MEMS-RF

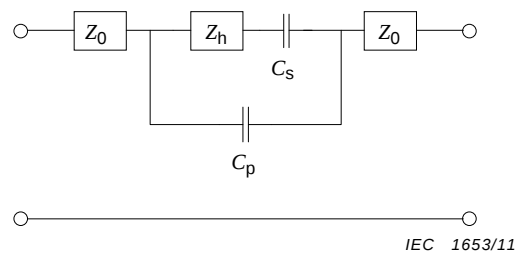
B.2 Commutateurs capacitifs

B.2.1 Commutateur capacitif série avec une région de contact

La Figure B.4 représente un commutateur capacitif série MEMS-RF avec une région de contact. Quand une tension d'actionnement est appliquée entre la plaque de métal mobile supérieure et la ligne de signal isolée, la plaque de métal mobile supérieure est baissée sur la couche diélectrique au-dessus de la ligne de signal isolée. Cela crée une grande capacité qui entraîne une petite perte d'insertion comme cela est représenté sur le modèle de circuit équivalent. Toutefois, la capacité de l'état passant est fortement liée à la fréquence de résonance du commutateur. Plus la capacité est élevée, plus la fréquence de résonance est basse. Quand le commutateur est en position haute, C_s est assez faible pour donner un isolement élevé. Quand une puissance RF élevée est appliquée sur le port d'entrée, le commutateur peut être actionné automatiquement sans qu'une tension continue d'actionnement ne lui soit appliquée.



B.4a) Une vue en coupe de la ligne



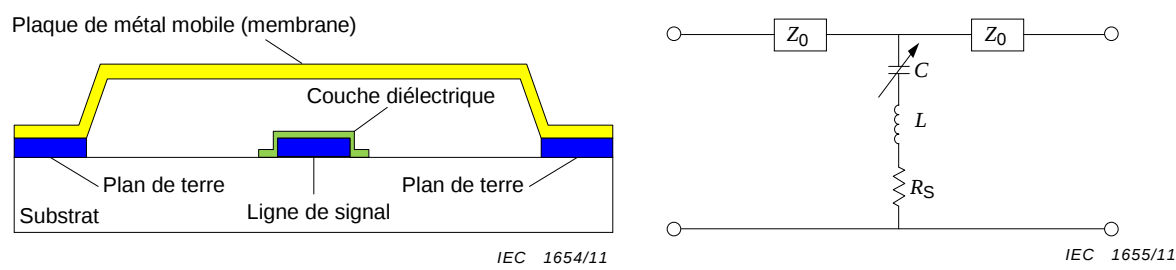
B.4b) Un modèle de circuit équivalent

Figure B.4 – Commutateur capacitif série MEMS-RF avec une région de contact

B.2.2 Commutateur capacitif parallèle

La Figure B.5 représente un commutateur capacitif parallèle MEMS-RF. Quand une tension d'actionnement est appliquée entre la plaque de métal mobile supérieure et la ligne de signal, la plaque de métal mobile supérieure est baissée sur la couche diélectrique au-dessus de la ligne de signal par une force électrostatique. Cela crée une grande capacité qui entraîne un court-circuit dans la gamme des hyperfréquences comme cela est représenté sur le modèle

de circuit équivalent. Puisque la grande capacité baisse la fréquence de résonance, il convient d'optimiser sa valeur. Quand la tension de polarisation est retirée, le commutateur reprend sa position initiale grâce à la force de rétablissement du pont. Quand le commutateur est en position haute, C est assez faible pour donner un isolement élevé. Quand une puissance RF élevée est appliquée sur le port d'entrée, le commutateur peut être actionné automatiquement sans qu'une tension continue d'actionnement ne lui soit appliquée.



B.5a) Une vue en coupe de la ligne

B.5b) Un modèle de circuit équivalent

Figure B.5 – Commutateur capacitif parallèle MEMS-RF

Tableau B.1 – Comparaison de commutateur MEMS-RF avec différents mécanismes d'actionnement

	Tension d'actionnement (V)	Courant d'actionnement (mA)	Puissance consommée (mW)	Taille de dispositif	Vitesse de commutation (μ s)	Force de contact (μ N)	Fabrication
Dispositif actionné par voie électrostatique	Elevée	Négligeable	Négligeable	Petite	Rapide	Moyenne	Facile
Dispositif actionné par voie électrothermique	Faible	Elevée	Elevée	Grande	Lente	Elevée	Facile
Dispositif actionné par voie électromagnétique	Faible	Elevée	Elevée	Moyenne	Lente	Faible	Complicquée
Dispositif actionné par voie piézoélectrique	Faible	Négligeable	Négligeable	Moyenne	Moyenne	Faible	Complicquée

Annexe C (informative)

Encapsulation des commutateurs MEMS-RF

L'encapsulation est le facteur le plus important pour la commercialisation des commutateurs MEMS-RF parce qu'il faut que les structures mécaniques libres soient protégées et non contaminées. En outre, la disposition et les matériaux des boîtiers des commutateurs MEMS-RF ont un effet important sur les performances RF. Il convient que les boîtiers des commutateurs MEMS-RF soient étanches, avec des gaz inertes tels que l'azote ou l'argon. Il convient que les boîtiers des commutateurs MEMS-RF ne contiennent pas de composé organique dégageant des gaz, d'hydrogène, d'humidité, de particule, ou tout autre gaz corrosif tel que l'ammoniac, l'anhydride sulfureux et le sulfure d'hydrogène. Mais il est recommandé que le coût de l'encapsulation soit faible pour réduire le coût total des commutateurs. Ainsi, une technologie d'encapsulation de type boîtier-puce ou encapsulation sur tranche convient bien aux commutateurs MEMS-RF, puisqu'elle réduit largement le coût, augmente la fiabilité et améliore les performances RF en éliminant des liaisons filaires et les conducteurs. La technique de liaison entre le boîtier et les substrats du dispositif qui est la technologie cœur pour l'encapsulation des commutateurs MEMS-RF peut être classée comme suit:

- C.1 Liaison par brasure métal sur métal
- C.2 Liaison anodique verre sur verre
- C.3 Liaison par poudre de verre
- C.4 Liaison par thermo-compression or sur or
- C.5 Liaison époxy ou BCB (bis-benzocyclobutène) avec un revêtement métallique

Annexe D (informative)

Mécanisme de défaillance des commutateurs MEMS-RF

La fiabilité des commutateurs MEMS-RF est la principale préoccupation dans les applications commerciales. La durée de vie des commutateurs à contact à courant continu est limitée par les frottements (microsoudure et transfert de matériau) d'une pièce mobile et par la dégradation du contact métal sur métal utilisé, alors que dans le cas des commutateurs capacitifs, la fiabilité est limitée par la charge diélectrique (injection de charges et piégeage de charges). Les microscopes à force atomique, les microscopes électroniques à balayage et le spectromètre d'Auger constituent d'excellents outils pour déterminer le mécanisme de défaillance des commutateurs à contact à courant continu.

Le Tableau D.1 indique plusieurs sources principales qui contribuent aux défaillances mécaniques des commutateurs MEMS-RF lorsque ceux-ci fonctionnent.

**Tableau D.1 – Comparaison des mécanismes de défaillance
des commutateurs MEMS-RF**

Mode de contact	Niveau de puissance		
	Faible (<1 mW)	Moyen (1 mW à 100 mW)	Elevé (>100 mW)
Commutateurs capacitifs	Charge diélectrique	Charge diélectrique, forte densité de courant	Auto-actionnement sans tension d'accroche, forte densité de courant
Commutateur à contact à courant continu	Piqûres, durcissement, formation diélectrique	Forte densité de courant, transfert de matériau	Augmentation de température au contact, forte densité de courant, transfert de matériau

Annexe E (informative)

Applications des commutateurs MEMS-RF

E.1 Paramètres des caractéristiques les plus importants pour les applications de systèmes et de sous-systèmes

- E.1.1 Communications sans fil: faible coût, petite taille, bande passante large, longue durée de vie
- E.1.2 Equipements d'essai et de mesure, équipements d'essai automatique: faible coût, petite taille, bande passante large, longue durée de vie
- E.1.3 Radio logicielle (SDR), instruments médicaux: faible coût, bande passante large, vitesse de commutation élevée
- E.1.4 Station de base, radar, applications militaires et aérospatiales: petite taille, longue durée de vie

E.2 Sous-systèmes applicables basés sur la fiabilité

- E.2.1 Réseaux de commutation: SPST, SPDT, SPMT, DPDT, MPMT, etc.
- E.2.2 Déphaseurs (analogiques et numériques)
- E.2.3 Commutateurs E/R (émission/réception)
- E.2.4 Commutateurs à isolement très élevé pour l'instrumentation
- E.2.5 Antenne à diversité spatiale
- E.2.6 Eléments d'accord: inductances et condensateurs variables
- E.2.7 Antennes reconfigurables
- E.2.8 Réseaux d'adaptation reconfigurables
- E.2.9 Filtres accordables
- E.2.10 Batterie de filtres commutés
- E.2.11 Antennes à diversité commutée

E.3 Systèmes applicables basés sur la fiabilité

E.3.1 Réseaux phasés

- (a.1) Systèmes de communication: commercial (1 à 10^9 cycles), espace et aéronautique (10 à 10^{10} cycles)
- (a.2) Systèmes radars: commercial, espace et aéronautique (10 à 10^{10} cycles), missile ($0,2$ à 10^9 cycles), automobile (1 à 10^9 cycles)

E.3.2 Réseaux commutation et réseaux reconfigurables

- (b.1) Communications sans fil: portable ($0,01$ à 4×10^9 cycles), station de base ($0,1$ à 10^{10} cycles)
- (b.2) Satellite et aéronautique ($0,1$ à 10^9 cycles)
- (b.3) Instrumentation (10 à 10^{10} cycles)

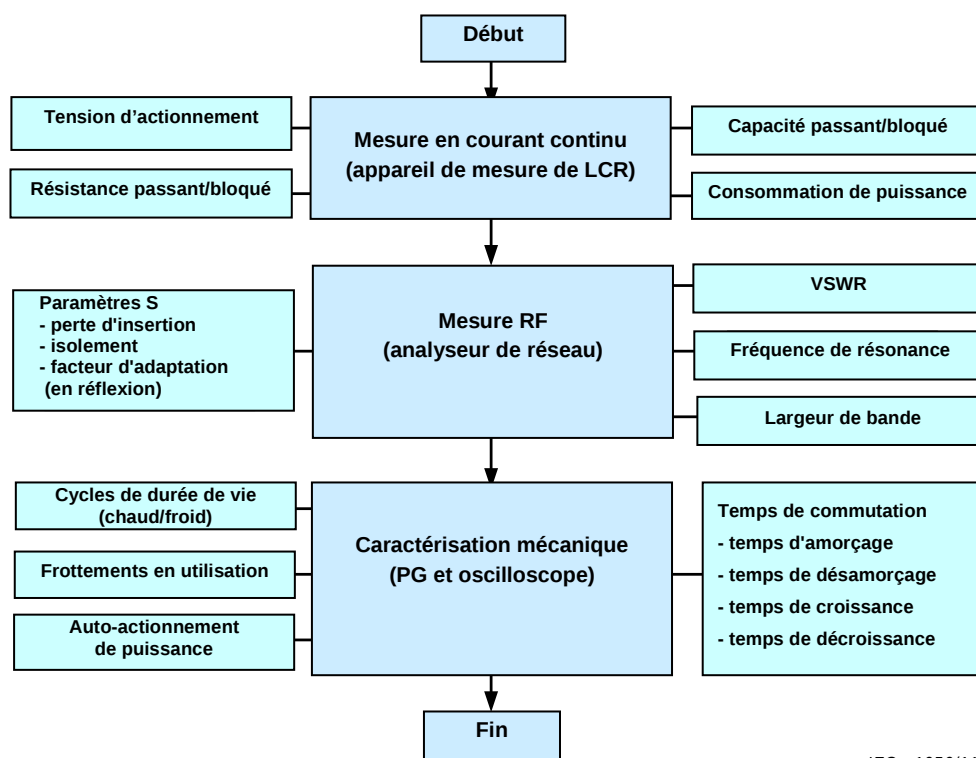
E.3.3 Amplificateurs et oscillateurs faible puissance

- (c.1) Communications sans fil: portable ($0,01$ à 2×10^9 cycles)
- (c.2) Satellite et aéronautique ($0,1$ à 10^9 cycles)

Annexe F (informative)

Procédure de mesure des commutateurs MEMS-RF

La Figure F.1 montre la procédure de mesure des commutateurs MEMS RF.



IEC 1656/11

Figure F.1 – Procédure de mesure des commutateurs MEMS-RF

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