NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60375

Deuxième édition
Second edition
2003-06

Conventions concernant les circuits électriques et magnétiques

Conventions concerning electric and magnetic circuits



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60375:2003

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**
- **Catalogue des publications de la CEI**

  Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.
- **IEC Just Published**

  Ce résumé des dernières publications parues (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.
- **Service clients**

  Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

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

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site (www.iec.ch)**
- **Catalogue of IEC publications**

  The on-line catalogue on the IEC web site (http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.
- **IEC Just Published**

  This summary of recently issued publications (http://www.iec.ch/online_news/justpub/jp_entry.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.
- **Customer Service Centre**

  If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

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

.

--`,,`,-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60375

Deuxième édition
Second edition
2003-06

Conventions concernant les circuits électriques et magnétiques

Conventions concerning electric and magnetic circuits

© IEC 2003 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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 l'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE R

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

--`,,`,-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 4

1 Domaine d'application 6
2 Références normatives 6
3 Termes et définitions 6
4 Règles relatives au sens du courant 10
4.1 Sens physique du courant 10
4.2 Sens de référence du courant 10
4.3 Indication du sens de référence des courants 10
4.4 Loi de Kirchhoff des nœuds 12
5 Règles relatives aux polarités 14
5.1 Tension 14
5.2 Polarité de référence d'une paire de nœuds 14
5.3 Indication de la polarité de référence 14
5.4 Loi de Kirchhoff des mailles 18
6 Conventions concernant les bipôles passifs 18
6.1 Conventions générales 18
6.2 Elément résistif 18
6.3 Elément inductif 20
6.4 Elément capacitif 20
6.5 Bipôles élémentaires non idéaux 20
7 Conventions concernant les quadripôles 22
8 Conventions concernant les sources 22
8.1 Conventions concernant les sources de tension 22
8.2 Conventions concernant les sources de courant 24
9 Conventions concernant les circuits magnétiques 26
9.1 Flux magnétique 26
9.2 Flux totalisé 28
9.3 Conventions concernant l'inductance mutuelle 28
10 Notation complexe 30
10.1 Conventions concernant la représentation complexe des grandeurs sinusoïdales 30
10.2 Sens de référence d'un courant complexe 32
10.3 Polarité de référence pour une tension complexe 32
10.4 Représentation complexe de la loi d'Ohm 34
10.5 Conventions concernant la représentation géométrique des phaseurs 36
10.6 Conventions concernant les différences de phase 36

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CONTENTS

FOREWORD 5

1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms and definitions 7
4 Direction rules for current 11
4.1 Physical direction of current 11
4.2 Reference direction of current 11
4.3 Indication of the reference direction for currents 11
4.4 Kirchhoff law for nodes 13
5 Polarity rules 15
5.1 Voltage 15
5.2 Reference polarity for a pair of nodes 15
5.3 Indication of the reference polarity 15
5.4 Kirchhoff law for meshes 19
6 Conventions concerning two-terminal passive networks 19
6.1 General conventions 19
6.2 Resistive element 19
6.3 Inductive element 21
6.4 Capacitive element 21
6.5 Non-ideal two-terminal circuit elements 21
7 Conventions for two-port networks 23
8 Conventions concerning sources 23
8.1 Conventions concerning voltage sources 23
8.2 Conventions concerning current sources 25
9 Conventions concerning magnetic circuits 27
9.1 Magnetic flux 27
9.2 Linked flux 29
9.3 Conventions concerning mutual inductance 29
10 Complex notation 31
10.1 Conventions concerning complex representation of sinusoidal quantities 31
10.2 Reference direction of a complex current 33
10.3 Reference polarity for a complex voltage 33
10.4 Complex representation of Ohm's law 35
10.5 Conventions concerning the graphical representation of phasors 37
10.6 Conventions concerning phase differences 37

--`,,`,,-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONVENTIONS CONCERNANT LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

AVANT-PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60375 a été établie par le comité d'études 25 de la CEI: Grandeurs et unités, et leurs symboles littéraux.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1972, dont elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
25/261/FDIS	25/266/RVD

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CONVENTIONS CONCERNING ELECTRIC AND MAGNETIC CIRCUITS

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60375 has been prepared by IEC technical committee 25: Quantities and units, and their letter symbols.

This second edition cancels and replaces the first edition issued in 1972, and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
25/261/FDIS	25/266/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2008. At this date, the publication will be

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

--`,,`,-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CONVENTIONS CONCERNANT LES CIRCUITS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale établit des règles pour les signes, sens de référence et polarités de référence des courants électriques et des tensions dans les réseaux électriques, ainsi que pour les grandeurs correspondantes dans les circuits magnétiques.

Dans les articles 3 à 9, les grandeurs dépendent arbitrairement du temps. L'article 10 précise les règles et recommandations pour la notation complexe.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-121:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 121: Electromagnétisme*

CEI 60050-131:2002, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 131: Théorie des circuits*

CEI 60617-DB-12M:2001, *Symboles graphiques pour schémas* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

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

3.1
borne
point de connexion d'un élément de circuit électrique, d'un circuit électrique ou d'un réseau (CEI 60050-131:2002, 131-13-03) à d'autres éléments de circuit électriques, circuits électriques ou réseaux

[VEI-131-11-11]

NOTE 1 Pour un élément de circuit électrique, les bornes sont les points auxquels ou entre lesquels les grandeurs intégrales sont définies. A chaque borne, il y a un seul courant électrique de l'extérieur vers l'élément de circuit.

NOTE 2 Le terme «borne» a un sens apparenté dans la CEI 60050-151.

3.2
élément de circuit
en électromagnétisme, modèle mathématique d'un dispositif caractérisé par une ou plusieurs relations entre des grandeurs intégrales

[VEI-131-11-03]

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

CONVENTIONS CONCERNING ELECTRIC AND MAGNETIC CIRCUITS

1 Scope

This International Standard lays down rules for signs and reference directions and reference polarities for electric currents and voltages in electric networks, as well as for the corresponding quantities in magnetic circuits.

In Clauses 3 to 9, the time dependence is arbitrary. Clause 10 details the rules and recommendations for complex notation.

2 Normative references

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

IEC 60050-121:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 121: Electromagnetism*

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

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

3 Terms and definitions

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

3.1
terminal
point of interconnection of an electric circuit element, an electric circuit or a network (IEC 60050-131:2002, 131-13-03) with other electric circuit elements, electric circuits or networks

[IEV-131-11-11]

NOTE 1 For an electric circuit element, the terminals are the points at which or between which the related integral quantities are defined. At each terminal, there is only one electric current from outside into the element.

NOTE 2 The term “terminal” has a related meaning in IEC 60050-151.

3.2
circuit element
in electromagnetism, mathematical model of a device characterized by one or more relations between integral quantities

[IEV-131-11-03]

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.3
bipôle élémentaire
élément de circuit électrique à deux bornes

[VEI 131-11-16]

3.4
multipôle élémentaire
élément de circuit électrique à plus de deux bornes

[VEI 131-11-13]

NOTE Pour un multipôle élémentaire à n bornes:

1) la somme algébrique des courants électriques entrant dans l'élément par les bornes est nulle à tout instant;

2) il y a $n - 1$ relations indépendantes entre les grandeur intégrales.

3.5
réseau
en topologie des réseaux, ensemble d'éléments de circuits idéaux et de leurs interconnexions, considéré comme un tout

[VEI 131-13-03]

NOTE 1 Le terme «réseau électrique» est défini en 131-11-07 et dans la CEI 60050-151.

NOTE 2 Dans les schémas de la présente norme, une boîte, symbole de la CEI 60617, représente un réseau quelconque, sauf mention contraire.

3.6
branche
sous-ensemble d'un réseau, considéré comme un bipôle, constitué par un élément de circuit ou par une combinaison d'éléments de circuit

[VEI 131-13-06]

3.7
nœud
sommet (désuet)
extrémité d'une branche, connectée ou non à une ou plusieurs autres branches

[VEI 131-13-07]

3.8
boucle
chemin fermé passant une seule fois par tout nœud

[VEI 131-13-12]

3.9
arbre
ensemble connexe de branches reliant tous les nœuds d'un réseau sans former de boucle

[VEI 131-13-13]

3.10
co-arbre
ensemble des branches d'un réseau non incluses dans un arbre choisi

[VEI 131-13-14]

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.3
two-terminal element
electric circuit element having two terminals

[IEV 131-11-16]

3.4
***n*-terminal circuit element**
electric circuit element having n terminals with generally $n > 2$

[IEV-131-11-13]

NOTE For an n-terminal electric circuit element:

1) the algebraic sum of the electric currents into the element through the terminals is zero at any instant;

2) there are $n - 1$ independent relations between integral quantities.

3.5
network
in network topology, set of ideal circuit elements and their interconnections, considered as a whole

[IEV-131-13-03]

NOTE 1 The term “electric network” is defined in IEC 60050-131-11-07 and in IEC 60050-151.

NOTE 2 In diagrams in this standard, a box, IEC 60617 symbol, represents any network, unless otherwise specified.

3.6
branch
subset of a network, considered as a two-terminal circuit, consisting of a circuit element or a combination of circuit elements

[IEV-131-13-06]

3.7
node, vertex (US)
end-point of a branch connected or not to one or more other branches

[IEV-131-13-07]

3.8
loop
closed path passing only once through any node

[IEV-131-13-12]

3.9
tree
connected set of branches joining all the nodes of a network without forming a loop

[IEV-131-13-13]

3.10
co-tree
set of the branches of a network not included in a chosen tree

[IEV-131-13-14]

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.11
maillon
branche d'un co-arbre

[VEI 131-13-15]

3.12
maille
ensemble des branches constituant une boucle et ne contenant qu'un seul maillon d'un co-arbre donné

[VEI 131-13-16]

Remarque: En français, les termes *tension* et *différence de potentiel* ont le même sens dans le domaine des circuits électriques. Dans la version en langue anglaise du VEI, *voltage* est le terme privilégié et *electric tension*, souvent abrégé en *tension*, est un terme toléré. La présente norme emploie en anglais le terme *voltage*. Le terme *courant électrique* est souvent abrégé en *courant*, conformément à la CEI 60050-121.

Pour les réseaux électriques à éléments localisés (voir la CEI 60050-131), la loi de Kirchhoff des courants ou loi de Kirchhoff des nœuds (voir 4.4) s'applique à la grandeur *courant* et la loi de Kirchhoff des tensions ou loi de Kirchhoff des mailles (voir 5.4) s'applique à la grandeur *tension*.

4 Règles relatives au sens du courant

4.1 Sens physique du courant

Le *courant électrique* est le flux net de charge électrique à travers une surface. Par convention, le *sens physique du courant* i est défini comme le sens correspondant à un flux de charge positive. Si la charge quasi infinitésimale dq traverse une surface déterminée, par exemple la section droite d'un conducteur, pendant la durée dt, le courant électrique est:

$$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$

4.2 Sens de référence du courant

Le sens de référence du courant dans une branche ou une maille est un sens fixé arbitrairement le long de la branche ou de la maille. Un courant est considéré comme positif quand son sens physique correspond au sens de référence.

4.3 Indication du sens de référence des courants

4.3.1 Indication du sens de référence des courants de branche

On place sur la ligne ou à côté de la ligne qui représente la branche, ou à côté de l'élément constituant la branche, une flèche dont le sens correspond au sens de référence du courant (voir Figure 1). Les notations des Figures 1a et 1b sont préférées.

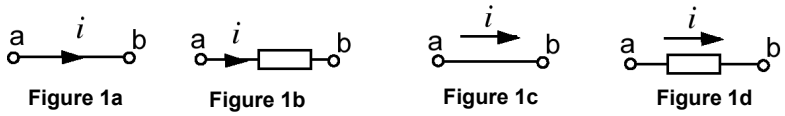

Figure 1a Figure 1b Figure 1c Figure 1d

Figure 1 – Indication du sens de référence d'un courant par une flèche

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

3.11
link
branch of a co-tree

[IEV-131-13-15]

3.12
mesh
set of branches forming a loop and containing only one link of a given co-tree

[IEV-131-13-16]

Remark: The English terms *voltage, electric potential difference,* and *electric tension* have the same meaning in the area of electric circuits. In the English language version of the IEV *voltage* is the preferred term and *electric tension,* often shortened to *tension,* is an alternative. This standard uses the term *voltage*. The term *electric current* is often shortened to *current* according to IEC 60050-121.

For electric networks with lumped circuit elements (see IEC 60050-131), the Kirchhoff law for nodes (see 4.4) applies for the quantity *current*, and the Kirchhoff law for meshes (see 5.4) applies for the quantity *voltage.*

4 Direction rules for current

4.1 Physical direction of current

The net flow of electric charge through a surface is referred to as *electric current*. By convention, the *physical direction of the current* i is defined as the direction corresponding to the movement of positive charge. If the quasi-infinitesimal charge $\mathrm{d}q$ passes through a predetermined surface, for example the cross-section of a conductor, during the duration $\mathrm{d}t$, the electric current is

$$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$

4.2 Reference direction of current

The *reference direction* for the current in a branch or in a mesh is a direction fixed arbitrarily along the branch or around the mesh. A current is considered as positive when its physical direction corresponds to the reference direction.

4.3 Indication of the reference direction for currents

4.3.1 Indication of the reference direction for currents for a branch

An arrow having the direction corresponding to the reference direction for a current is placed on or near the line representing the branch element, or near the branch element. (See Figure 1.) The notations in Figures 1a and 1b are preferred.

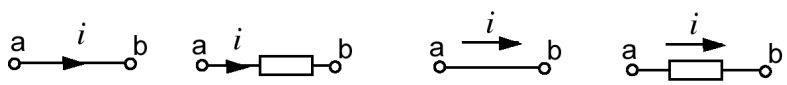

Figure 1a Figure 1b Figure 1c Figure 1d

Figure 1 − Indication of the reference direction for a current by an arrow

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Lorsqu'il y a une seule branche entre deux nœuds, une notation plus claire fait appel aux nœuds (a et b dans la Figure 2) pour représenter le sens du courant. Dans ce cas, i_{ab} représente un courant dont le sens est de a vers b dans la branche ab. Il est utile de combiner de façon cohérente les notations par flèche et par désignation des nœuds comme sur la Figure 2. Les notations des Figures 2a et 2b sont préférées.

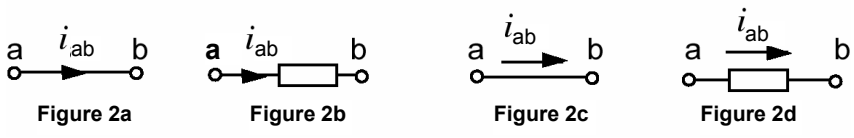

Figure 2a **Figure 2b** **Figure 2c** **Figure 2d**

Figure 2 – Indication du sens de référence d'un courant en utilisant les désignations des nœuds

4.3.2 Indication du sens de référence des courants de maille

Pour indiquer dans un schéma le sens de référence d'un courant le long d'une maille, on place à l'intérieur de la maille une flèche incurvée dont le sens correspond au sens de référence et qui suit le contour de la maille. La Figure 3 montre un exemple de relations entre les courants de maille et les courants de branche.

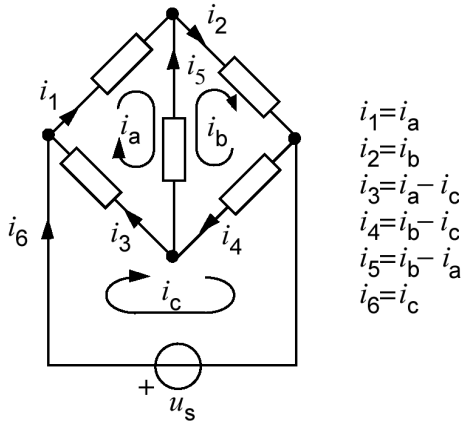

Figure 3 – Indication du sens de référence pour les courants de maille

4.4 Loi de Kirchhoff des nœuds

La loi de Kirchhoff des nœuds a pour énoncé:

La somme algébrique des courants de branche orientés vers un nœud quelconque d'un réseau électrique est nulle (voir la CEI 60050-131:2002, 131-15-09). Dans le cas des courants représentés sur la Figure 4a, la loi de Kirchhoff des nœuds appliquée au nœud s'exprime par:

$$i_{ae} + i_{be} + i_{ce} + i_{de} = 0$$

Si le sens de référence d'un courant, par exemple le courant dans la branche entre b et e dans la Figure 4b, est orienté à partir du nœud e, le courant correspondant $i_{eb} = -i_{be}$, doit être pris avec le signe opposé. Dans ce cas, la loi de Kirchhoff des nœuds s'exprime par:

$$i_{ae} - i_{eb} + i_{ce} + i_{de} = 0$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

When there is only one branch between two nodes, it is clearer to use the notations for the nodes (a and b in Figure 2) to denote the direction of the current, in this case i_{ab}, which defines a current directed from a to b in a branch ab. It is useful to combine consistently the indication by an arrow and by using node designations as in Figure 2. The notations in Figures 2a and 2b are preferred.

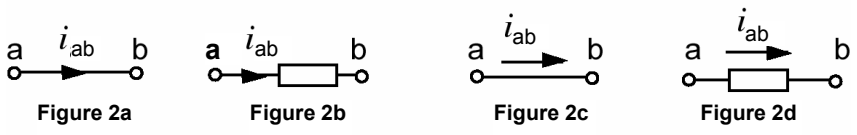

Figure 2a Figure 2b Figure 2c Figure 2d

Figure 2 − Indication of the reference direction for a current using the node names

4.3.2 Indication of the reference direction for mesh currents

To indicate in a diagram the reference direction for the current around a mesh, a curved arrow having a corresponding direction is placed in the mesh so as to follow its contour. In Figure 3, an example shows the connection between mesh currents and branch currents.

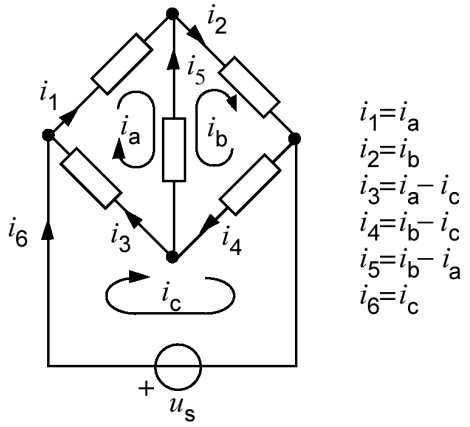

Figure 3 – Indication of the reference direction for mesh currents

4.4 Kirchhoff law for nodes

The Kirchhoff law for nodes states:

The algebraic sum of the branch currents towards any node of an electric network is zero (see IEC 60050-131:2002, 131-15-09). According to the currents defined in Figure 4a, this means that the Kirchhoff law for nodes applied to node e reads

$$i_{ae} + i_{be} + i_{ce} + i_{de} = 0$$

If the reference direction of a current, for example the current in branch between b and e in Figure 4b, is chosen as *away* from the node e, the corresponding current $i_{eb} = -i_{be}$, shall be taken with the opposite sign. In that case, the Kirchhoff law for nodes states:

$$i_{ae} - i_{eb} + i_{ce} + i_{de} = 0$$

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

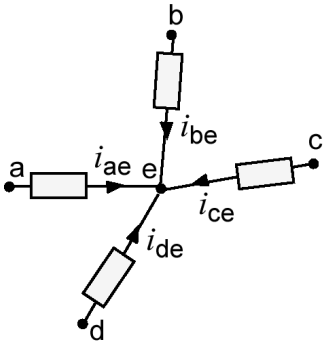

Figure 4a

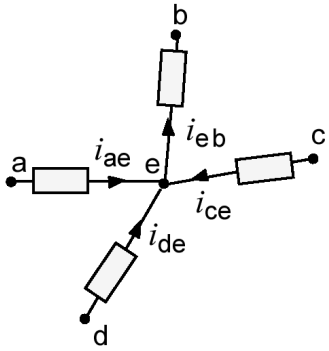

Figure 4b

Figure 4 – Exemples de la loi de Kirchhoff des nœuds

5 Règles relatives aux polarités

5.1 Tension

Dans un réseau électrique, la tension entre deux nœuds ordonnés, a et b, est la différence des potentiels électriques en nœud a et nœud b.

5.2 Polarité de référence d'une paire de nœuds

La polarité d'une paire de nœuds est déterminée par l'ordre des nœuds. La polarité de référence peut être choisie arbitrairement.

Pour deux nœuds a et b, dans l'ordre ab, la tension u_{ab} est définie comme $u_{ab} = V_a - V_b$, où V_a et V_b sont respectivement les potentiels électriques aux nœuds a et b.

5.3 Indication de la polarité de référence

Première méthode:

On indique la polarité de référence d'une tension par une ligne, droite ou courbe, avec un signe plus (+) du côté du premier nœud dans l'ordre des nœuds (a dans ab). On peut, si l'on veut, placer un signe moins (–) à l'autre extrémité de la ligne. On place le symbole littéral représentant la tension à côté de la ligne (voir Figure 5).

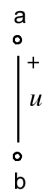

Figure 5a

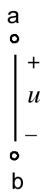

Figure 5b

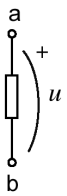

Figure 5c

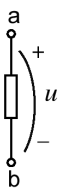

Figure 5d

Figure 5 – Indication de la polarité de référence au moyen de signes plus et moins

On peut omettre la ligne s'il n'y a pas d'ambiguïté dans l'appariement des nœuds. C'est le cas pour indiquer les tensions aux accès d'un quadripôle (voir Figure 6).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

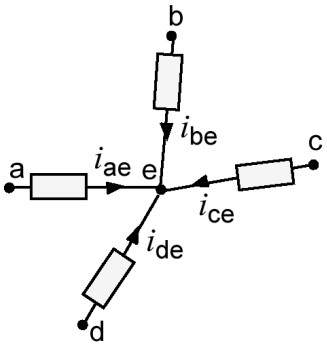

Figure 4a

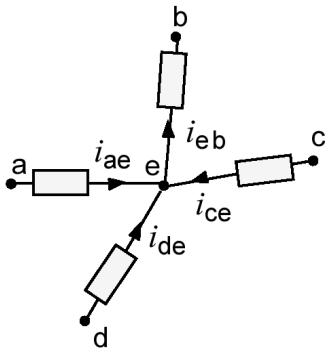

Figure 4b

Figure 4 − Examples of the Kirchhoff law for nodes

5 Polarity rules for voltage

5.1 Voltage

In an electric network, a voltage between two ordered nodes, a and b, is the difference of the electric potentials at node a and node b.

5.2 Reference polarity for a pair of nodes

The polarity of a pair of nodes is determined by the ordering of the nodes. The reference polarity may be chosen arbitrarily.

For two nodes, a and b, with the ordering ab, the voltage $u_{ab}$is defined as $u_{ab} = V_a - V_b$, where V_a and V_b are the electric potentials at the nodes a and b, respectively.

5.3 Indication of the reference polarity

First method:

The reference polarity for a voltage is indicated by a line, straight or curved, with a plus sign (+) at the node that comes first in the ordering of the nodes (a in ab). If wanted, a minus sign may be attached to the other end of the line. The letter symbol representing the voltage is placed close to the line (see Figure 5).

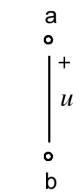

Figure 5a

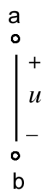

Figure 5b

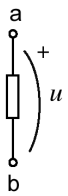

Figure 5c

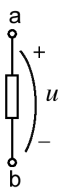

Figure 5d

Figure 5 − Indication of the reference polarity by means of plus and minus signs

The line may be omitted if there is no ambiguity in the grouping of nodes in terminal pairs. This is the case for indicating a voltage in a two-port network (see Figure 6).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

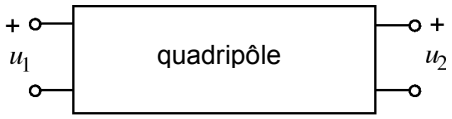

Figure 6 – Indication simplifiée de la polarité de référence au moyen de signes plus

Seconde méthode:

On indique la polarité de référence de la tension $u = u_{ab} = V_a - V_b$ par une flèche dont la queue correspond au premier nœud dans l'ordre des nœuds (a dans ab). On place le symbole littéral représentant la tension à côté de la flèche. Voir Figure 7.

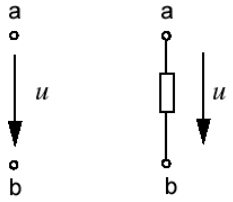

Figure 7 – Indication de la polarité de référence par une flèche

Troisième méthode:

On indique la polarité de référence d'une tension par un double indice affecté au symbole littéral représentant la tension, étant convenu que le premier indice correspond au premier nœud dans l'ordre des nœuds (a dans ab). Cela signifie que $u_{ab} = V_a - V_b$. Comme selon la première méthode, on place le symbole littéral à côté de la ligne droite ou courbe entre les deux nœuds (voir Figure 8).

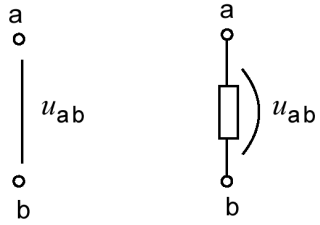

Figure 8 – Indication de la polarité de référence par les désignations des nœuds

On peut omettre la ligne s'il n'y a pas d'ambiguïté dans l'appariement des nœuds. C'est le cas pour indiquer les tensions aux accès d'un quadripôle (voir Figure 9).

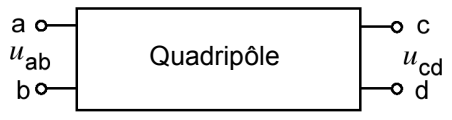

Figure 9 – Indication simplifiée de la polarité de référence par les désignations des nœuds

NOTE On peut aussi utiliser de façon cohérente le double indice affecté au symbole littéral de la tension lorsqu'on emploie la première méthode ou la deuxième méthode. La polarité s'exprime alors à la fois au moyen du double indice et au moyen du signe plus ou de la flèche, respectivement.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

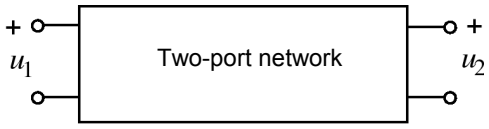

Figure 6 − Simplified indication of the reference polarity by means of plus signs

Second method:

The reference polarity of the voltage $u = u_{ab} = V_a - V_b$ is indicated by an arrow with its tail at the node that comes first in the ordering of the nodes (a in ab). The letter symbol representing the voltage is placed close to the arrow. See Figure 7.

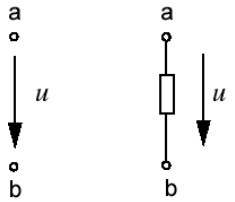

Figure 7 − Indication of the reference polarity by an arrow

Third method:

The reference polarity for a voltage is indicated by a double subscript attached to the letter symbol representing the voltage, the first subscript being understood to correspond to the node that comes first in the ordering (a in ab). This means that $u_{ab} = V_a - V_b$. As in the first method, the letter symbol is placed close to a straight or curved line between the two nodes (see Figure 8).

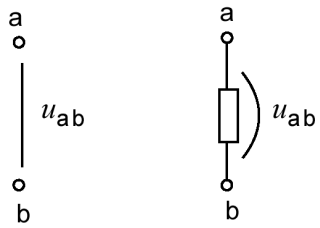

Figure 8 − Indication of the reference polarity using the node names

The line may be omitted if there is no ambiguity in the grouping of nodes in terminal pairs. This is the case for indicating a voltage in a two-port network (see Figure 9).

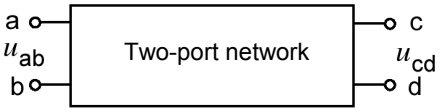

Figure 9 − Simplified indication of the reference polarity using the node names

NOTE The two subscripts attached to the letter symbol for voltage may also be used consistently in the first and the second methods. In doing so, the polarity is expressed with those two subscripts as well as with a plus sign in the first method and an arrow in the second case.

--`,,`,,-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.4 Loi de Kirchhoff des mailles

La loi de Kirchhoff des mailles a pour énoncé:

Le long de tout chemin fermé dans un réseau électrique, la somme algébrique des tensions aux bornes des branches est nulle. Les tensions doivent être prises avec le signe correspondant à leurs polarités de référence en relation avec le sens de parcours le long de la maille.

Cela signifie que, si toutes les polarités de référence sont définies dans le même sens le long de la maille, comme dans la Figure 10a, on a $u_{ab} + u_{bc} + u_{cd} + u_{da} = 0$.

Si certaines polarités de référence sont définies dans le sens contraire, les tensions correspondantes doivent être prises avec le signe opposé. Dans la Figure 10b, la loi de Kirchhoff des mailles donne $u_{ab} - u_{cb} - u_{dc} + u_{da} = 0$.

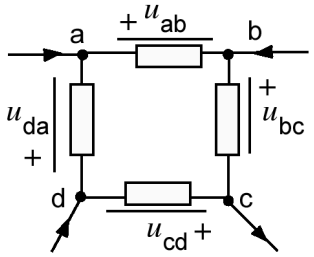

Figure 10a

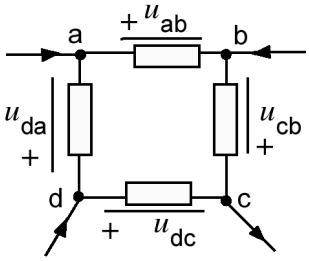

Figure 10b

Figure 10 – Exemples de la loi de Kirchhoff des mailles

6 Conventions concernant les bipôles passifs

6.1 Conventions générales

Un réseau passif ne contient ni sources de tension ni sources de courant. Pour un bipôle élémentaire passif, la relation entre la tension aux bornes du bipôle et le courant qui le traverse dépend du choix du sens de référence du courant et de la polarité de référence de la tension. Le sens de référence du courant i_{ab} dans un bipôle est de préférence lié à la polarité de référence de la tension, définie comme u_{ab}. Cela est illustré pour trois éléments de circuit idéaux, la résistance idéale, l'inductance idéale et la capacité idéale.

6.2 Elément résistif

Pour une résistance idéale, caractérisée par la résistance positive constante R, la relation entre la tension et le courant est la loi d'Ohm:

$$u_{ab} = Ri_{ab}$$

(L'indice ab met en évidence le choix cohérent de la polarité de référence de la tension et du sens de référence du courant. Voir Figure 11.)

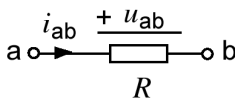

Figure 11

Si, pour quelque raison, il est souhaitable de changer la référence pour l'une des grandeurs, par exemple le courant (voir Figure 12), qui devient alors i_{ba}, la relation entre tension et courant devient:

$$u_{ab} = -Ri_{ba}$$

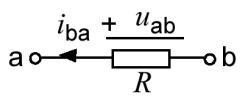

Figure 12

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

5.4 Kirchhoff law for meshes

The Kirchhoff law for meshes states:

Along any closed path in an electric network, the algebraic sum of the voltages at the terminals of the branches is zero. The voltages shall be taken with the sign corresponding to their reference polarities in relation to the direction in which the mesh is traversed.

This means that if all reference polarities are defined in the same direction around the mesh, as in Figure 10a, then $u_{ab} + u_{bc} + u_{cd} + u_{da} = 0$.

If some of the reference polarities are defined in the opposite direction, the corresponding voltages shall be taken with the opposite sign. In Figure 10b, the Kirchhoff law for meshes gives $u_{ab} - u_{cb} - u_{dc} + u_{da} = 0$.

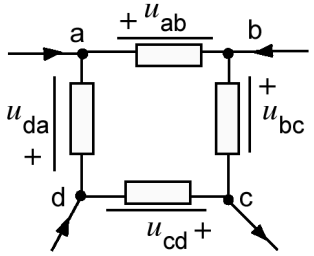

Figure 10a

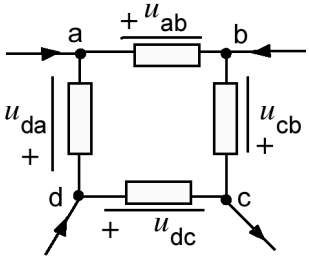

Figure 10b

Figure 10 − Examples of the Kirchhoff law for meshes

6 Conventions concerning two-terminal passive networks

6.1 General conventions

A passive network does not contain any voltage sources or current sources. For a passive two-terminal circuit element, the relation between the voltage across and the current through the element depends on the choice of the reference direction for the current and the reference polarity for the voltage. The reference direction for the current i_{ab} in a two-terminal network with terminals a and b is preferably related to the polarity of the voltage, defined as u_{ab}. This is shown for three ideal circuit elements, the ideal resistor, the ideal inductor and the ideal capacitor.

6.2 Resistive element

For an ideal resistor with constant positive resistance R, the relation between the voltage and the current is given by Ohm's law:

$$u_{ab} = Ri_{ab}$$

(The subscript ab is used to emphasize the coherent choice of the reference polarity for the voltage and the reference direction for the current. See Figure 11)

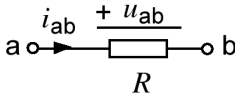

Figure 11

If, for some reason, it is desirable to alter the reference definition for one of the quantities, say the current (see Figure 12), which is then i_{ba}, the relation between voltage and current is

$$u_{ab} = -Ri_{ba}$$

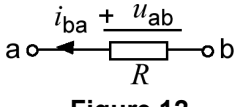

Figure 12

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.3 Elément inductif

Pour une inductance idéale, caractérisée par l'inductance positive constante L, la relation entre la tension et le courant est, avec la polarité de référence de la tension et le sens de référence du courant, conforme à la Figure 13

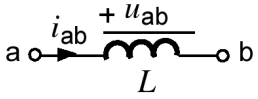

Figure 13

$$u_{ab} = L\frac{\mathrm{d}i_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

Si, pour quelque raison, il est souhaitable de changer la référence pour l'une des grandeurs, par exemple le courant (voir Figure 14), qui devient alors i_{ba}, la relation entre tension et courant devient:

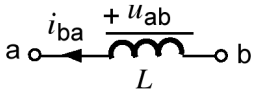

Figure 14

$$u_{ab} = -L\frac{\mathrm{d}i_{ba}}{\mathrm{d}t}$$

Pour une inductance idéale, la relation entre le flux totalisé et le courant est $\Psi_{ab} = Li_{ab}$.

Pour tout élément inductif, la relation entre la tension et le flux totalisé Ψ_{ab} est:

$$u_{ab} = \frac{\mathrm{d}\Psi_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

6.4 Elément capacitif

Pour une capacité idéale, caractérisée par la capacité positive constante C, la relation entre la tension et le courant est, avec la polarité de référence de la tension et le sens de référence du courant, conforme à la Figure 15

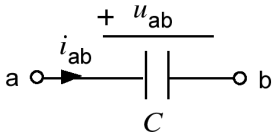

Figure 15

$$i_{ab} = C\frac{\mathrm{d}u_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

Si, pour quelque raison, il est souhaitable de changer la référence pour l'une des grandeurs, par exemple le courant (voir Figure 16), qui devient alors i_{ba}, la relation entre tension et courant devient:

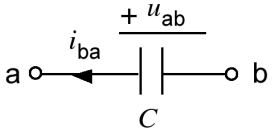

Figure 16

$$i_{ab} = -C\frac{\mathrm{d}u_{ba}}{\mathrm{d}t}$$

Pour une capacité idéale, la relation entre la charge électrique et la tension est $q_{ab} = Cu_{ab}$.

Pour tout élément capacitif, la relation entre le courant et la charge électrique est $i_{ab} = \frac{\mathrm{d}q_{ab}}{\mathrm{d}t}$.

6.5 Bipôles élémentaires non idéaux

Deux exemples sont donnés ci-après. Pour un bipôle élémentaire inductif (ab), caractérisé par une résistance R en série avec une inductance propre L et par l'absence de couplage mutuel à d'autres éléments, la relation entre la tension u_{ab} et le courant i_{ab} est:

$$u_{ab} = Ri_{ab} + L\frac{\mathrm{d}i_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

6.3 Inductive element

For an ideal inductor with constant positive inductance L, the relation between voltage and current is, with the reference polarity for the voltage and the reference direction for the current according to Figure 13,

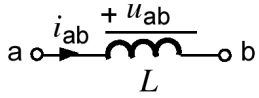

Figure 13

$$u_{ab} = L\frac{\mathrm{d}i_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

If, for some reason, it is desirable to alter the reference definition for one of the quantities, say the current (see Figure 14), which is then i_{ba}, the relation between voltage and current is

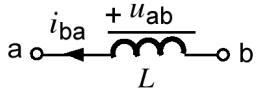

Figure 14

$$u_{ab} = -L\frac{\mathrm{d}i_{ba}}{\mathrm{d}t}$$

For an ideal inductor, the relation between linked flux and current is $\Psi_{ab} = Li_{ab}$.

For any inductive element, the relation between voltage and linked flux Ψ_{ab} is

$$u_{ab} = \frac{\mathrm{d}\Psi_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

6.4 Capacitive element

For an ideal capacitor with constant positive capacitance C, the relation between voltage and current is, with the reference polarity for the voltage and the reference direction for the current according to Figure 15

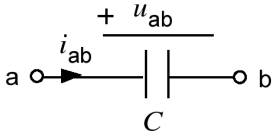

Figure 15

$$i_{ab} = C\frac{\mathrm{d}u_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

If, for some reason, it is desirable to alter the reference definition for one of the quantities, say the current (see Figure 16), which then is i_{ba}, the relation between voltage and current is

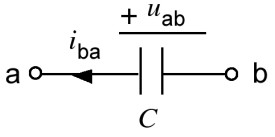

Figure 16

$$i_{ab} = -C\frac{\mathrm{d}u_{ba}}{\mathrm{d}t}$$

For an ideal capacitor, the relation between electric charge and voltage is $q_{ab} = Cu_{ab}$.

For any capacitive element the relation between current and electric charge is $i_{ab} = \frac{\mathrm{d}q_{ab}}{\mathrm{d}t}$.

6.5 Non-ideal two-terminal circuit elements

Two examples are given below. For an inductive two-terminal element (ab) with a resistance R in series with a self-inductance L and with no mutual coupling to other elements, the relation between voltage u_{ab} and current i_{ab} is

$$u_{ab} = Ri_{ab} + L\frac{\mathrm{d}i_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

De même, pour un bipôle élémentaire capacitif (ab) caractérisé par une conductance G en parallèle avec une capacité C et par l'absence de couplage mutuel à d'autres éléments, la relation entre la tension u_{ab} et le courant i_{ab} est :

$$i_{ab} = Gu_{ab} + C\frac{\mathrm{d}u_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

7 Conventions concernant les quadripôles

Dans le cas d'un quadripôle, les conventions de référence usuelles pour les tensions et courants aux accès sont indiquées dans la Figure 17.

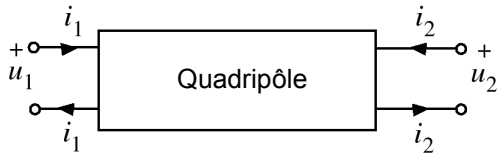

Figure 17 − Conventions de référence pour un quadripôle

8 Conventions concernant les sources

8.1 Conventions concernant les sources de tension

8.1.1 Sources de tension indépendantes

Une source de tension *indépendante* est un bipôle élémentaire actif dont la tension de source entre les bornes (définies en 3.1) est indépendante du courant dans l'élément et de tout courant ou tension extérieure.

Le symbole littéral représentant la tension de source d'une source de tension indépendante est u_s et deux symboles graphiques sont indiqués à la Figure 18. Un signe plus associé à la source définit la polarité des bornes pour exprimer la tension de source.

NOTE Seul le symbole graphique indiqué à la Figure 18a est normalisé dans la CEI 60617-2.



Figure 18a **Figure 18b**

Figure 18 – Symboles graphiques pour une source de tension indépendante

8.1.2 Sources de tension commandées

La tension de source d'une source de tension *commandée* dépend d'une tension ou d'un courant extérieur. La tension de source peut s'écrire sous la forme $u_s = \alpha(u_{cd})$ pour une source de tension commandée par la tension de la branche cd ou $u_s = \beta(i_{cd})$ pour une source de tension commandée par le courant de la branche cd. Dans les figures suivantes, les sources sont connectées entre les nœuds a et b et la tension ou le courant de commande est celui de la branche cd.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Similarly, for a capacitive element (ab) with conductance G in parallel with capacitance C and with no coupling to other elements, the relation between voltage u_{ab} and current i_{ab} is

$$i_{ab} = Gu_{ab} + C\frac{\mathrm{d}u_{ab}}{\mathrm{d}t}$$

7 Conventions for two-port networks

For a two-port network, the usual reference convention for associated voltages and currents is shown in Figure 17.

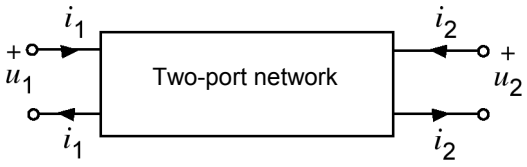

Figure 17 − Reference conventions for a two-port network

8 Conventions concerning sources

8.1 Conventions concerning voltage sources

8.1.1 Independent voltage sources

An *independent* voltage source is an active two-terminal network, for which the source voltage between its terminals (defined in 3.1) is independent of the current in the element and of any external voltage or electric current.

The letter symbol for the source voltage of an independent voltage source is u_s and two graphical symbols are shown in Figure 18. A plus sign at the voltage source defines the polarity of the terminals for the expression of the source voltage.

NOTE Only the graphical symbol shown in Figure 18a is standardized in IEC 60617-2.



Figure 18a **Figure 18b**

Figure 18 − Graphical symbols for an independent voltage source

8.1.2 Controlled voltage sources

The source voltage of a *controlled* voltage source depends on an external voltage or electric current. We can write the source voltage $u_s = \alpha(u_{cd})$ for a voltage source controlled by a voltage in a branch cd and $u_s = \beta(i_{cd})$ for a voltage source controlled by a current in a branch cd. In the following figures the sources are connected between nodes a and b, and the controlling current or voltage is in a branch cd.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

La Figure 19 indique le symbole graphique recommandé pour une source de tension commandée en tension.

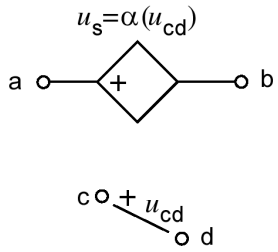

Figure 19 – Symbole graphique pour une source de tension commandée en tension

La Figure 20 indique le symbole graphique recommandé pour une source de tension commandée en courant.

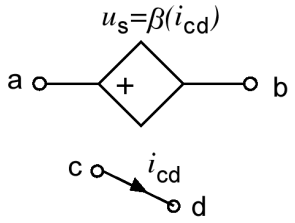

Figure 20 – Symbole graphique pour une source de tension commandée en courant

8.2 Conventions concernant les sources de courant

8.2.1 Sources de courant indépendantes

Une source de courant *indépendante* est un bipôle élémentaire actif dont le courant de source est indépendant de la tension à ses bornes (définies en 3.1) et de tout courant ou tension extérieure.

Le symbole littéral représentant la tension de source d'une source de tension indépendante est i_s et deux symboles graphiques sont indiqués à la Figure 21. Une flèche associée à la source définit le sens de référence du courant.

NOTE Seul le symbole graphique indiqué à la Figure 21a est normalisé dans la CEI 60617-2.

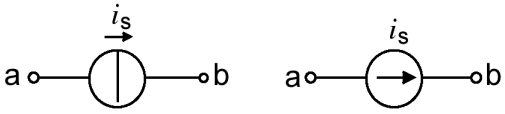

Figure 21a **Figure 21b**

Figure 21 – Symboles graphiques pour une source de courant indépendante

8.2.2 Sources de courant commandées

Le courant de source d'une source de courant *commandée* dépend d'une tension ou d'un courant extérieur. Le courant de source peut s'écrire sous la forme $i_s = \gamma(u_{cd})$ pour une source de courant commandée par la tension de la branche cd ou $i_s = \delta(i_{cd})$ pour une source de courant commandée par le courant de la branche cd.

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

The recommended graphical symbol for a voltage source controlled by voltage is shown in Figure 19.

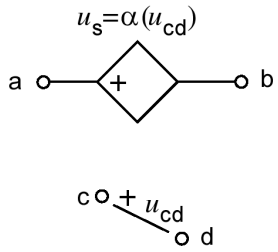

Figure 19 − Graphical symbol for a voltage source controlled by a voltage

The recommended graphical symbol for a voltage source controlled by a current is shown in Figure 20.

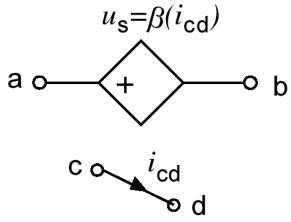

Figure 20 − Graphical symbol for a voltage source controlled by a current

8.2 Conventions concerning current sources

8.2.1 Independent current sources

An *independent* current source is an active two-terminal network, for which the source current is independent of the voltage between its terminals (defined in 3.1) and of any external voltage or electric current.

The letter symbol for the source current of an independent current source is i_s and two graphical symbols are shown in Figure 21. An arrow at the current source defines the reference direction for the current.

NOTE Only the graphical symbol shown in Figure 21a is standardized in IEC 60617-2.

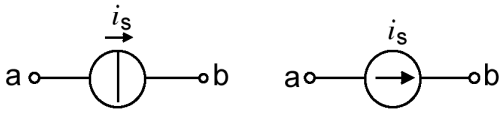

Figure 21a **Figure 21b**

Figure 21 − Graphical symbols for an independent current source

8.2.2 Controlled current sources

The source current of a *controlled* current source depends on an external voltage or electric current. We can write the source current $i_s = \gamma(u_{cd})$ for a current source controlled by a voltage in a branch cd, and $i_s = \delta(i_{cd})$ for a current source controlled by a current in a branch cd.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Dans les figures suivantes, les sources sont connectées entre les nœuds a et b et la tension ou le courant de commande est celui de la branche cd.

La Figure 22 indique le symbole graphique recommandé pour une source de tension commandée en tension.

$$i_s = \gamma(u_{cd})$$

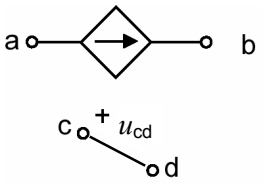

Figure 22 – Symbole graphique pour une source de courant commandée en tension

La Figure 23 indique le symbole graphique pour la source de courant commandée en courant.

$$i_s = \delta(i_{cd})$$

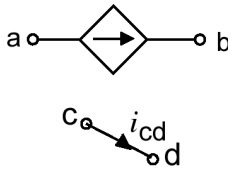

Figure 23 – Symbole graphique pour une source de courant commandée en courant

9 Conventions concernant les circuits magnétiques

9.1 Flux magnétique

Un ensemble de milieux qui canalise un flux magnétique dans une région déterminée est appelé *circuit magnétique*. Un exemple usuel de circuit magnétique est le noyau fermé en fer associé à une bobine (voir Figure 24).

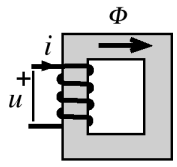

Figure 24

Le flux magnétique dans un circuit magnétique est défini par l'expression

$$\Phi = \int_S \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}_n \, \mathrm{d}S$$

où l'intégrale de surface est étendue à la section droite S du circuit magnétique, $\boldsymbol{e}_n \, \mathrm{d}S$ est l'élément vectoriel de surface et $\boldsymbol{e}_n$ est le vecteur unitaire normal à l'élément de surface.

Le sens de référence du flux magnétique Φ dans un circuit magnétique est fixé arbitrairement le long du circuit. Un flux magnétique est considéré comme positif si son sens correspond au sens de référence. Pour indiquer dans un schéma le sens de référence du flux magnétique, on place dans le circuit une flèche dont le sens correspond au sens de référence.

--`,,`,,-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

In the following figures the sources are connected between nodes a and b, and the controlling current or voltage is in a branch cd.

The recommended graphical symbol for a current source controlled by a voltage is shown in Figure 22.

$$i_s = \gamma(u_{cd})$$

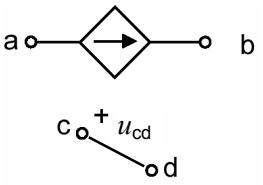

Figure 22 − Graphical symbol for a current source controlled by a voltage

The recommended graphical symbol for a current source controlled by a current is shown in Figure 23.

$$i_s = \delta(i_{cd})$$

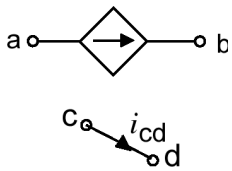

Figure 23 − Graphical symbol for a current source controlled by a current

9 Conventions concerning magnetic circuits

9.1 Magnetic flux

A combination of media through which a magnetic flux is channelled in a given region is called a *magnetic circuit*. A practical example of a magnetic circuit is the closed iron core associated with a coil. See Figure 24.

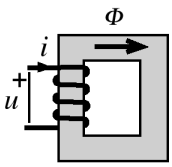

Figure 24

The magnetic flux in a magnetic circuit is defined by the expression

$$\Phi = \int_S \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}_n \, \mathrm{d}S$$

where the surface integral is to be taken over the cross section S of the magnetic circuit, $\boldsymbol{e}_n \mathrm{d}S$ is the vector surface element and $\boldsymbol{e}_n$ is the unit vector, normal to the surface element.

The reference direction of the magnetic flux Φ in a magnetic circuit is a direction fixed arbitrarily in the circuit. A magnetic flux is considered as positive when its direction corresponds to the reference direction. To indicate in a diagram the reference direction of the magnetic flux, an arrow having a corresponding direction is placed in the magnetic circuit.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

9.2 Flux totalisé

Le flux totalisé Ψ associé à un chemin fermé C est défini par l'expression

$$\Psi = \oint_{C} \boldsymbol{A} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

où $\boldsymbol{A}$ est le potentiel du vecteur magnétique et $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ est l'élément d'arc le long du chemin C.

Pour une bobine comportant N spires autour d'un noyau fermé en fer, où les points a et b sont les extrémités de la bobine et où le flux magnétique $\Phi = \int_{S} \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}_{\mathrm{n}} \, \mathrm{d}S$ est pratiquement constant le long du circuit magnétique de façon que l'on puisse négliger le flux de fuite, le flux totalisé est:

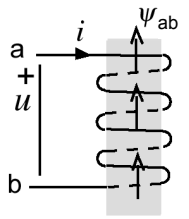

Figure 25

$$\Psi_{\mathrm{ab}} = \int_{a}^{b} \boldsymbol{A} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r} \approx \int_{S} N\boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}_{\mathrm{n}} \mathrm{d}S = N\Phi \quad \text{(Voir Figure 25)}$$

La relation entre le sens de $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ le long du chemin d'intégration et celui de $\boldsymbol{e}_{\mathrm{n}}$ pour la surface correspondante est fixée par le choix d'un trièdre direct. Le sens de référence de Ψ_{ab} est le même que celui de Φ.

Le flux totalisé associé à une bobine est lié au courant i_{ab} dans la bobine et à l'inductance L de la bobine par l'expression :

$$\Psi_{\mathrm{ab}} = L i_{\mathrm{ab}}$$

si le sens de référence du flux totalisé Ψ_{ab} est lié au sens de référence du courant de telle façon qu'un courant positif soit accompagné d'un flux totalisé positif. On doit utiliser un trièdre direct.

9.3 Conventions concernant l'inductance mutuelle

L'inductance mutuelle de deux éléments de circuits électriques couplés magnétiquement (1 et 2), $L_{12}(=L_{21})$, pour chacun desquels les sens de référence du courant et du flux magnétique associé sont fixés de telle façon qu'un courant positif engendre un flux positif, est considérée comme positive si le courant dans l'un des éléments engendre un flux totalisé positif associé à l'autre circuit. Les inductances propres des bobines 1 et 2 sont désignées respectivement par L_{11} et L_{22}.

On peut écrire les relations entre les tensions u, les flux totalisés Ψ, les courants i et les inductances propres et mutuelles L sous la forme

$$\begin{cases} u_1 = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_1}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{11}}{\mathrm{d}t} + \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{12}}{\mathrm{d}t} = L_{11}\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{12}\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \\ u_2 = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_2}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{21}}{\mathrm{d}t} + \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{22}}{\mathrm{d}t} = L_{21}\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{22}\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$

$$L_{21} = L_{12}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

9.2 Linked flux

The linked flux Ψ for a closed path C is defined by the expression

$$\Psi = \oint_{C} \boldsymbol{A} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r}$$

where $\boldsymbol{A}$ is the magnetic vector potential and $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ is the line element along path C.

For a coil with N turns wound around a closed iron core, where the points a and b are the end points of the coil and the magnetic flux $\Phi = \int_{S} \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}_{\mathrm{n}} \, \mathrm{d}S$ is essentially the same along the magnetic circuit so that the stray flux can be neglected, the linked flux is

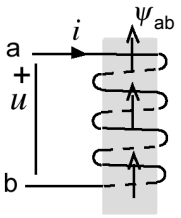

Figure 25

$$\Psi_{\mathrm{ab}} = \int_{a}^{b} \boldsymbol{A} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{r} \approx \int_{S} N\boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{e}_{\mathrm{n}} \mathrm{d}S = N\Phi \quad \text{(See Figure 25)}$$

The relation between the direction of $\mathrm{d}\boldsymbol{r}$ along the path of integration and that of $\boldsymbol{e}_{\mathrm{n}}$ for the corresponding surface is fixed by the “right-handed trihedron”. The reference direction of Ψ_{ab} is the same as that of Φ.

The linked flux for a coil is related to the current i_{ab} in the coil and the inductance L of the coil by the expression

$$\Psi_{\mathrm{ab}} = L i_{\mathrm{ab}}$$

if the reference direction of the linked flux Ψ_{ab} is related to the reference direction of the current in such a way that a positive current is accompanied by a positive linked flux. The “right-handed trihedron” shall be applied.

9.3 Conventions concerning mutual inductance

The mutual inductance of two magnetically coupled electric circuit elements (1 and 2), $L_{12} = L_{21}$, for each of which the reference directions of the electric current and of the associated magnetic flux are so fixed that positive current produces positive flux, is considered as positive if the current in one of the elements produces a positive linked flux associated with the other circuit. The self-inductance of the coils 1 and 2 are denoted by L_{11} and L_{22} respectively.

The relations between induced voltage u, linked flux Ψ, electric current i, and self and mutual inductance L may be written

$$\begin{cases} u_1 = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_1}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{11}}{\mathrm{d}t} + \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{12}}{\mathrm{d}t} = L_{11}\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{12}\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \\ u_2 = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_2}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{21}}{\mathrm{d}t} + \dfrac{\mathrm{d}\Psi_{22}}{\mathrm{d}t} = L_{21}\dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{22}\dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$

$$L_{21} = L_{12}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Si un accroissement de i_2 (c'est-à-dire $\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} > 0$) augmente Ψ_{12}, l'inductance mutuelle L_{12} est positive (c'est-à-dire $L_{12} = |L_{12}|$).

NOTE Lorsque plus de deux bobines sont couplées magnétiquement, les formules se généralisent en:

$$u_1 = \frac{\mathrm{d}\Psi_{11}}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}\Psi_{12}}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}\Psi_{13}}{\mathrm{d}t} = L_{11}\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{12}\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} + L_{13}\frac{\mathrm{d}i_3}{\mathrm{d}t}, \text{ etc.}$$

Pour deux bobines couplées on peut utiliser une représentation au moyen de points pour indiquer le signe de l'inductance mutuelle L_{12}.

Si les sens de référence des courants sont tels que chaque courant *entre* dans la bobine par l'extrémité où est placé le point, l'inductance mutuelle est positive (c'est-à-dire $L_{12} = |L_{12}|$). (Voir Figures 26a et 26b).

Si les sens de référence sont tels que l'un des courants *entre* dans la bobine correspondante par l'extrémité où est placé le point et l'autre courant *sort* de la bobine correspondante par l'extrémité où est placé le point, l'inductance mutuelle est négative (c'est-à-dire $L_{12} = -|L_{12}|$). (Voir Figure 26c).

Les relations entre les tensions, les flux totalisés, les courants et les inductances propres et mutuelles ne changent pas lorsqu'on déplace le point.

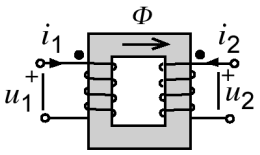

Figure 26a

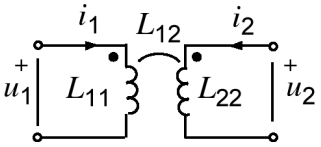

Figure 26b

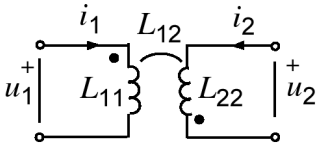

Figure 26c

Figure 26 – Induction mutuelle entre deux éléments de circuits électriques couplés magnétiquement

10 Notation complexe

NOTE 1 Dans cet article, les grandeurs qui dépendent sinusoïdalement du temps sont représentées au moyen de cosinus, mais il n'est pas déconseillé d'employer des sinus, avec les modifications évidentes qui en découlent.

NOTE 2 Les phaseurs, qui représentent sous forme complexe des grandeurs fonctions sinusoïdales du temps, et d'autres grandeurs complexes sont notés par des symboles littéraux majuscules. Le soulignement d'un symbole littéral signifie qu'il s'agit d'une grandeur complexe. On peut omettre ce soulignement s'il n'y a pas risque de confusion. Par souci de clarté, on utilise dans ce document le soulignement des symboles de grandeurs complexes.

10.1 Conventions concernant la représentation complexe des grandeurs sinusoïdales

On peut représenter la grandeur sinusoïdale

$$a(t) = \hat{A}\cos(\omega t + \vartheta_0)$$

où $\hat{A}$ et ω sont positifs,

a) en mettant en évidence la dépendance du temps, par:

1) la valeur instantanée complexe $\underline{a} = \hat{A}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}(\omega t + \vartheta_0)} = \underline{\hat{A}}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t} = \sqrt{2}\,\underline{A}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}$;

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

If an increase of i_2 (i.e. $\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} > 0$) causes an increase of Ψ_{12}, then the mutual inductance L_{12} is positive (i.e. $L_{12} = |L_{12}|$).

NOTE When more than two coils are magnetically coupled, the expressions are generalized to

$$u_1 = \frac{\mathrm{d}\Psi_{11}}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}\Psi_{12}}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}\Psi_{13}}{\mathrm{d}t} = L_{11}\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{12}\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} + L_{13}\frac{\mathrm{d}i_3}{\mathrm{d}t}\text{, etc.}$$

For *two* coupled coils it is possible to use a dot representation to indicate the sign of L_{12}.

If the reference directions of the currents are such that each current *enters* the coil at the end where the dot is introduced, then the mutual inductance is positive (i.e. $L_{12} = |L_{12}|$). (See Figures 26a and 26b).

If the reference directions of the currents are such that one current *enters* the coil at the end where the dot is introduced and the other leaves the corresponding coil at the end where the dot is introduced, then the mutual inductance is negative (i.e. $L_{12} = -|L_{12}|$). (See Figure 26c).

The relations above between voltage, linked flux, electric current, and self and mutual inductance are not affected by moving the dot.

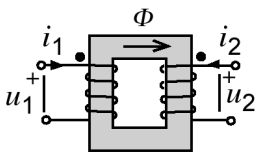

Figure 26a

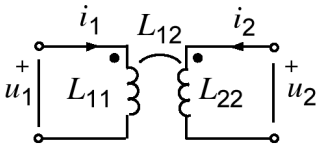

Figure 26b

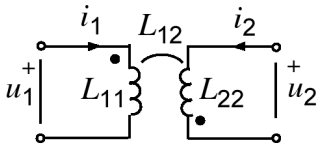

Figure 26c

Figure 26 − Mutual induction of two magnetically coupled electric circuit elements

10 Complex notation

NOTE 1 In this clause, quantities whose time-dependence is sinusoidal are expressed in the form of cosines, but the use of sines, with obvious consequent modifications, is not debarred.

NOTE 2 Phasors, a complex representation of a time-harmonic quantity, and other complex quantities are denoted by capital letter symbols. The underlining of a letter symbol signifies that it is to be taken as complex. When there is no risk for confusion, the underlining may be omitted. For the sake of clarity, underlining of the symbols for complex quantities is used in this document.

10.1 Conventions concerning complex representation of sinusoidal quantities

The sinusoidal quantity

$$a(t) = \hat{A}\cos(\omega t + \vartheta_0)$$

with $\hat{A}$ and ω positive, can be represented:

a) when an indication of time-dependence is required, by:

1) the complex instantaneous value $\underline{a} = \hat{A}\mathrm{e}^{\mathrm{j}(\omega t + \vartheta_0)} = \underline{\hat{A}}\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t} = \sqrt{2}\,\underline{A}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}$;

--`,,`,,`-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

b) sans mettre en évidence la dépendance du temps, par:

2) l'amplitude complexe $\underline{\hat{A}} = \hat{A}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\vartheta_0}$;

3) la valeur efficace complexe $\underline{A} = (\hat{A}/\sqrt{2})\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\vartheta_0}$.

NOTE 1 Les grandeurs complexes en 2) et 3) sont appelées phaseurs. Elles sont généralement employées lorsqu'on traite de grandeurs sinusoïdales ayant toutes la même fréquence.

NOTE 2 On notera que la valeur efficace de $a(t) = \hat{A}\cos(\omega t + \vartheta_0)$ est égale à $|\underline{A}|$, module de la valeur efficace complexe.

NOTE 3 On peut obtenir une grandeur sinusoïdale à partir de la grandeur complexe correspondante au moyen des relations:

$$a(t) = \mathrm{Re}(\underline{a}) = \mathrm{Re}(\underline{\hat{A}}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}) = \mathrm{Re}(\sqrt{2}\,\underline{A}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t})$$

10.2 Sens de référence d'un courant complexe

Le sens de référence du courant dans une branche ou dans une maille est fixé arbitrairement le long de la branche ou de la maille. Dans les schémas de circuits, on utilise les mêmes notations qu'en 4.3, avec la différence que les courants fonctions du temps sont remplacés par des grandeurs complexes.

En utilisant des sens de référence, la loi de Kirchhoff des nœuds a pour énoncé:

La somme de tous les courants complexes orientés vers un nœud est nulle. Dans le cas des courants représentés sur la Figure 27a, la loi s'exprime par

$$\underline{I}_{\mathrm{ae}} + \underline{I}_{\mathrm{be}} + \underline{I}_{\mathrm{ce}} + \underline{I}_{\mathrm{de}} = 0$$

Si le sens de référence d'un courant, par exemple le courant dans la branche b de la Figure 27b, est orienté à partir du nœud, le courant correspondant est orienté à partir du nœud et alors

$$\underline{I}_{\mathrm{ae}} - \underline{I}_{\mathrm{eb}} + \underline{I}_{\mathrm{ce}} + \underline{I}_{\mathrm{de}} = 0$$

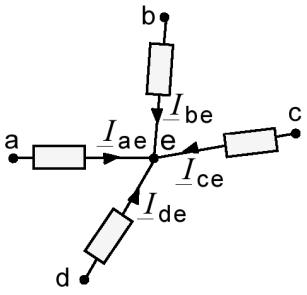

Figure 27a

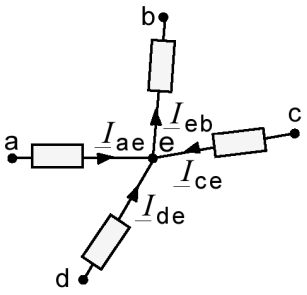

Figure 27b

Figure 27 – Exemples de la loi de Kirchhoff des nœuds

10.3 Polarité de référence pour une tension complexe

La tension complexe entre deux nœuds est la différence des potentiels électriques complexes en ces nœuds. La polarité de référence est déterminée par l'ordre des nœuds. Elle peut être choisie arbitrairement. Pour deux nœuds, a et b, dans l'ordre ab, la tension $\underline{U}_{\mathrm{ab}}$ est définie comme $\underline{U}_{\mathrm{ab}} = \underline{V}_{\mathrm{a}} - \underline{V}_{\mathrm{b}}$, où $\underline{V}_{\mathrm{a}}$ et $\underline{V}_{\mathrm{b}}$ sont les potentiels électriques complexes aux nœuds a et b respectivement.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

b) when an indication of time dependence is not required, by:

2) the complex quantity in amplitude scale $\underline{\hat{A}} = \hat{A}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\vartheta_0}$;

3) the complex quantity in root-mean-square scale $\underline{A} = (\hat{A}/\sqrt{2})\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\vartheta_0}$.

NOTE 1 The complex quantities in items 2) and 3) are called phasors. They are usually used when dealing with sinusoidal quantities, all of the same frequency.

NOTE 2 Note that the root-mean-square value of $a(t) = \hat{A}\cos(\omega t + \vartheta_0)$ is equal to $|\underline{A}|$, the modulus of the complex quantity in root-mean-square scale.

NOTE 3 A sinusoidal quantity can be derived from the corresponding complex quantity by means of the relations:

$$a(t) = \mathrm{Re}(\underline{a}) = \mathrm{Re}(\underline{\hat{A}}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t}) = \mathrm{Re}(\sqrt{2}\,\underline{A}\,\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega t})$$

10.2 Reference direction of a complex current

The reference direction of a complex current in a branch or in a mesh is a direction fixed arbitrarily along the branch or around the mesh. In circuit diagrams, the same notations are used as in 4.3, with the difference that the time-dependent current quantities are replaced by complex quantities.

Using reference directions, the Kirchhoff law for nodes states:

The sum of all complex currents directed towards a node is zero. According to the currents defined in Figure 27a, this means

$$\underline{I}_{\mathrm{ae}} + \underline{I}_{\mathrm{be}} + \underline{I}_{\mathrm{ce}} + \underline{I}_{\mathrm{de}} = 0$$

If the reference direction of a current, for example the current in branch b of Figure 27b, indicates that the current $I_{\mathrm{eb}} = -I_{\mathrm{be}}$ is directed away from the node, then

$$\underline{I}_{\mathrm{ae}} - \underline{I}_{\mathrm{eb}} + \underline{I}_{\mathrm{ce}} + \underline{I}_{\mathrm{de}} = 0$$

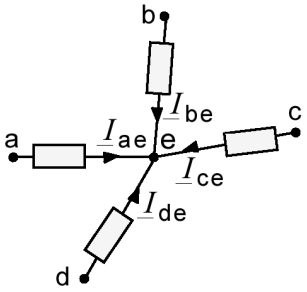

Figure 27a

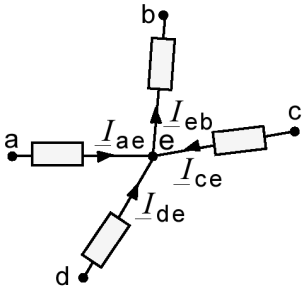

Figure 27b

Figure 27 − Example of the Kirchhoff law for nodes

10.3 Reference polarity for a complex voltage

A complex voltage between two nodes is the difference of the complex electric potentials at those nodes. The reference polarity is determined by the ordering of the nodes. The reference polarity may be chosen arbitrarily. For two nodes, a and b, with the ordering ab, the voltage is $\underline{U}_{\mathrm{ab}} = \underline{V}_{\mathrm{a}} - \underline{V}_{\mathrm{b}}$, where $\underline{V}_{\mathrm{a}}$ and $\underline{V}_{\mathrm{b}}$ are the complex electric potentials at the nodes a and b, respectively.

--`,,`,,-`-`,,`,,`,`,,`---
Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Les règles pour indiquer la polarité dans le cas des tensions complexes correspondent à celles des tensions fonctions du temps (voir 5.3), avec les changements appropriés de symboles, par exemple $(u \rightarrow \underline{U})$, etc.

En utilisant des polarités de référence, la loi de Kirchhoff des mailles a pour énoncé:

Le long de tout chemin fermé dans un réseau électrique, la somme algébrique des tensions complexes aux bornes des branches est nulle. Les tensions doivent être prises avec le signe correspondant à leurs polarités de référence en relation avec le sens de parcours le long de la maille. Cela signifie que, si toutes les polarités de référence sont définies dans le même sens le long de la maille, comme dans la Figure 28a, on a $\underline{U}_{ab} + \underline{U}_{bc} + \underline{U}_{cd} + \underline{U}_{da} = 0$.

Si certaines polarités de référence sont définies dans le sens contraire, comme dans la Figure 28b, les tensions correspondantes doivent être prises avec le signe opposé, soit ici $\underline{U}_{ab} - \underline{U}_{cb} - \underline{U}_{dc} + \underline{U}_{da} = 0$.

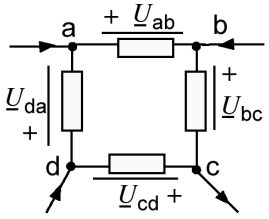

Figure 28a

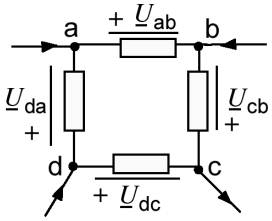

Figure 28b

Figure 28 – Exemples de la loi de Kirchhoff des mailles

10.4 Représentation complexe de la loi d'Ohm

Pour des réseaux composés d'éléments linéaires (R, L, C), il existe une relation linéaire entre les tensions complexes et les courants complexes. Dans le cas d'un bipôle, on peut écrire la relation $\underline{U} = \underline{Z}\,\underline{I}$, où $\underline{Z}$ est l'impédance complexe.

L'impédance d'une résistance idéale est réelle, $\underline{Z} = R$.
L'impédance d'une inductance idéale est imaginaire positive, $\underline{Z} = \mathrm{j}\omega L$.
L'impédance d'une capacité idéale est imaginaire négative, $\underline{Z} = \dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C} = -\mathrm{j}\dfrac{1}{\omega C}$.

Des symboles graphiques destinés à représenter une impédance sont indiqués à la Figure 29. Noter que $\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{ba}$.

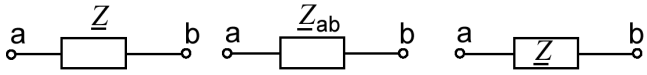

Figure 29 – Représentation d'une impédance

La loi d'Ohm appliquée à une impédance $\underline{Z}$ suppose une relation particulière entre le sens de référence du courant et la polarité de référence de la tension. On peut écrire la loi en utilisant des indices sous la forme $\underline{U}_{ab} = \underline{Z}\,\underline{I}_{ab}$. Voir Figure 30.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Rules for indication of the polarity for complex voltages correspond to those used for time-dependent quantities (see 5.3), with appropriate changes of symbols, $(u \rightarrow \underline{U})$, etc.

Using reference polarities, the Kirchhoff law for meshes states:

Along any closed path in an electric network, the algebraic sum of the complex voltages at the terminals of the branches is zero. The voltages shall be taken with the sign corresponding to their reference polarities in relation to the direction in which the mesh is traversed. This means that if all reference polarities are defined in the same direction around the mesh, as in Figure 28a, $\underline{U}_{ab} + \underline{U}_{bc} + \underline{U}_{cd} + \underline{U}_{da} = 0$.

If some of the reference polarities are defined in the opposite direction, as in Figure 28b, the corresponding voltages shall be taken with the opposite sign, i.e. $\underline{U}_{ab} - \underline{U}_{cb} - \underline{U}_{dc} + \underline{U}_{da} = 0$.

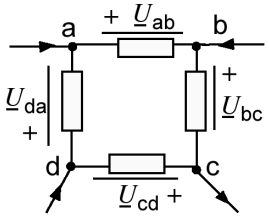

Figure 28a

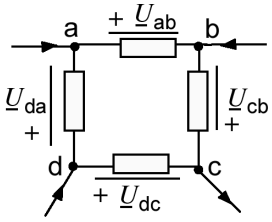

Figure 28b

Figure 28 − Example of the Kirchhoff law for meshes

10.4 Complex representation of Ohm's law

For networks with linear circuit elements (R, L, C), there is a linear relation between complex voltage and complex electric current. For a two-terminal network, the relation may be written $\underline{U} = \underline{Z}\,\underline{I}$. Here $\underline{Z}$ is the complex impedance.

For an ideal resistor, the impedance is real, $\underline{Z} = R$.

For an ideal inductor, the impedance is an imaginary positive quantity, $\underline{Z} = \mathrm{j}\omega L$.

For an ideal capacitor, the impedance is an imaginary negative quantity, $\underline{Z} = \dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C} = -\mathrm{j}\dfrac{1}{\omega C}$.

Graphical symbols for an impedance are shown in Figure 29. Note that $\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{ba}$.

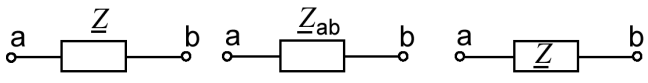

Figure 29 − Representation of an impedance

For an impedance $\underline{Z}$, Ohm's law assumes a specified relation between the reference direction for the current and the reference polarity for the voltage. By means of subscripts, the law may be expressed as $\underline{U}_{ab} = \underline{Z}\,\underline{I}_{ab}$. See Figure 30.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

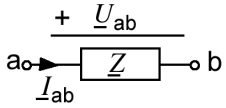

Figure 30 – Sens et polarités de référence pour la loi d'Ohm

10.5 Conventions concernant la représentation géométrique des phaseurs

Un phaseur $\underline{A} = |\underline{A}| e^{j\vartheta_0}$ est représenté dans le plan complexe par une flèche. Le sens positif des angles est dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Voir Figure 31.

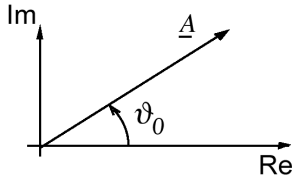

Figure 31 – Représentation graphique d'un phaseur

NOTE En conséquence, une flèche représentant un phaseur d'argument 0 rad est orientée le long du demi-axe réel positif et une flèche représentant un phaseur d'argument π/2 rad est orientée le long du demi-axe imaginaire positif.

10.6 Conventions concernant les différences de phase

La différence de phase entre les grandeurs sinusoïdales $a(t)$ et $b(t)$ définies par $a(t) = \hat{A}\cos(\omega t + \vartheta_a)$ et $b(t) = \hat{B}\cos(\omega t + \vartheta_b)$ est exprimée par la relation $\varphi_{ab} = \vartheta_a - \vartheta_b$. Des représentations graphiques pour les fonctions du temps et pour les phaseurs correspondants sont indiquées aux Figures 32a et 32b respectivement.

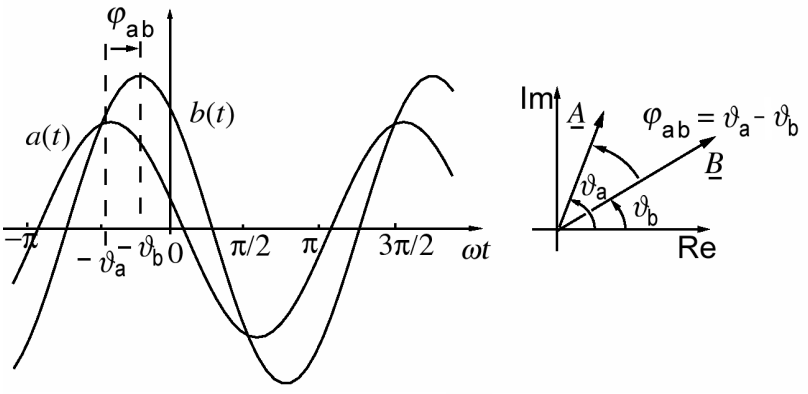

Figure 32a – Fonctions du temps $a(t)$ et $b(t)$ **Figure 32b – Phaseurs $\underline{A}$ et $\underline{B}$**

Figure 32 – Représentation graphique de la différence de phase

--`,,`,-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

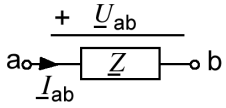

Figure 30 − Reference directions and polarities in Ohm's law

10.5 Conventions concerning the graphical representation of phasors

A phasor $\underline{A} = |\underline{A}|\, e^{j\vartheta_0}$ is represented in the complex plane by an arrow. The positive direction for angles is counterclockwise. See Figure 31.

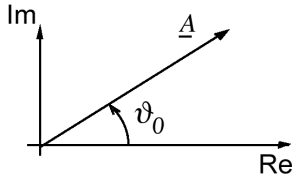

Figure 31 – Graphical representation of a phasor

NOTE As a consequence, an arrow representing a phasor with argument 0 rad is directed along the positive real semi-axis, and an arrow representing a phasor with argument π/2 rad is directed along the positive imaginary semi-axis.

10.6 Conventions concerning phase differences

The phase difference of the sinusoidal quantities $a(t)$ and $b(t)$ with $a(t) = \hat{A}\cos(\omega t + \vartheta_a)$ and $b(t) = \hat{B}\cos(\omega t + \vartheta_b)$ is expressed by the relation $\varphi_{ab} = \vartheta_a - \vartheta_b$, and graphical representations for the time functions and the corresponding phasors are shown in Figure 32a and Figure 32b respectively.

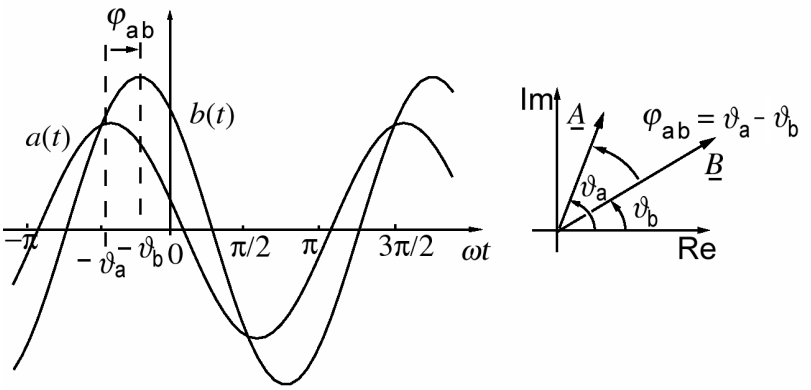

Figure 32a – Time functions $a(t)$ and $b(t)$

Figure 32b – Phasors $\underline{A}$ and $\underline{B}$

Figure 32 − Graphical representation of phase difference

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

--`,,`,,-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

Standards Survey

The IEC would like to offer you the best quality standards possible. To make sure that we continue to meet your needs, your feedback is essential. Would you please take a minute to answer the questions overleaf and fax them to us at +41 22 919 03 00 or mail them to the address below. Thank you!

Customer Service Centre (CSC)

International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Switzerland

or

Fax to: **IEC**/CSC at +41 22 919 03 00

Thank you for your contribution to the standards-making process.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Customer Service Centre (CSC)
International Electrotechnical Commission
3, rue de Varembé
1211 GENEVA 20
Switzerland

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Q1 Please report on **ONE STANDARD** and **ONE STANDARD ONLY**. Enter the exact number of the standard: *(e.g. 60601-1-1)*

.....

Q2 Please tell us in what capacity(ies) you bought the standard *(tick all that apply).* I am the/a:

purchasing agent ❑
librarian ❑
researcher ❑
design engineer ❑
safety engineer ❑
testing engineer ❑
marketing specialist ❑
other.....

Q3 I work for/in/as a: *(tick all that apply)*

manufacturing ❑
consultant ❑
government ❑
test/certification facility ❑
public utility ❑
education ❑
military ❑
other.....

Q4 This standard will be used for: *(tick all that apply)*

general reference ❑
product research ❑
product design/development ❑
specifications ❑
tenders ❑
quality assessment ❑
certification ❑
technical documentation ❑
thesis ❑
manufacturing ❑
other.....

Q5 This standard meets my needs: *(tick one)*

not at all ❑
nearly ❑
fairly well ❑
exactly ❑

Q6 If you ticked NOT AT ALL in Question 5 the reason is: *(tick all that apply)*

standard is out of date ❑
standard is incomplete ❑
standard is too academic ❑
standard is too superficial ❑
title is misleading ❑
I made the wrong choice ❑
other .....

Q7 Please assess the standard in the following categories, using the numbers:
(1) unacceptable,
(2) below average,
(3) average,
(4) above average,
(5) exceptional,
(6) not applicable

timeliness.....
quality of writing.....
technical contents.....
logic of arrangement of contents .....
tables, charts, graphs, figures.....
other .....

Q8 I read/use the: *(tick one)*

French text only ❑
English text only ❑
both English and French texts ❑

Q9 Please share any comment on any aspect of the IEC that you would like us to know:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Enquête sur les normes

La CEI ambitionne de vous offrir les meilleures normes possibles. Pour nous assurer que nous continuons à répondre à votre attente, nous avons besoin de quelques renseignements de votre part. Nous vous demandons simplement de consacrer un instant pour répondre au questionnaire ci-après et de nous le retourner par fax au +41 22 919 03 00 ou par courrier à l'adresse ci-dessous. Merci !

Centre du Service Clientèle (CSC)

Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 Genève 20
Suisse

ou

Télécopie: **CEI**/CSC +41 22 919 03 00

Nous vous remercions de la contribution que vous voudrez bien apporter ainsi à la Normalisation Internationale.

Nicht frankieren
Ne pas affranchir

Non affrancare
No stamp required

A Prioritaire

RÉPONSE PAYÉE

SUISSE

Centre du Service Clientèle (CSC)
Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembé
1211 GENÈVE 20
Suisse

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

Q1 Veuillez ne mentionner qu'**UNE SEULE NORME** et indiquer son numéro exact: (*ex. 60601-1-1)*

.....

Q2 En tant qu'acheteur de cette norme, quelle est votre fonction?
(cochez tout ce qui convient)
Je suis le/un:

agent d'un service d'achat ❑
bibliothécaire ❑
chercheur ❑
ingénieur concepteur ❑
ingénieur sécurité ❑
ingénieur d'essais ❑
spécialiste en marketing ❑
autre(s).....

Q3 Je travaille:
(cochez tout ce qui convient)

dans l'industrie ❑
comme consultant ❑
pour un gouvernement ❑
pour un organisme d'essais/ certification ❑
dans un service public ❑
dans l'enseignement ❑
comme militaire ❑
autre(s).....

Q4 Cette norme sera utilisée pour/comme
(cochez tout ce qui convient)

ouvrage de référence ❑
une recherche de produit ❑
une étude/développement de produit ❑
des spécifications ❑
des soumissions ❑
une évaluation de la qualité ❑
une certification ❑
une documentation technique ❑
une thèse ❑
la fabrication ❑
autre(s).....

Q5 Cette norme répond-elle à vos besoins:
(une seule réponse)

pas du tout ❑
à peu près ❑
assez bien ❑
parfaitement ❑

Q6 Si vous avez répondu PAS DU TOUT à Q5, c'est pour la/les raison(s) suivantes:
(cochez tout ce qui convient)

la norme a besoin d'être révisée ❑
la norme est incomplète ❑
la norme est trop théorique ❑
la norme est trop superficielle ❑
le titre est équivoque ❑
je n'ai pas fait le bon choix ❑
autre(s) .....

Q7 Veuillez évaluer chacun des critères ci-dessous en utilisant les chiffres
(1) inacceptable,
(2) au-dessous de la moyenne,
(3) moyen,
(4) au-dessus de la moyenne,
(5) exceptionnel,
(6) sans objet

publication en temps opportun .....
qualité de la rédaction.....
contenu technique .....
disposition logique du contenu .....
tableaux, diagrammes, graphiques, figures.....
autre(s) .....

Q8 Je lis/utilise: *(une seule réponse)*

uniquement le texte français ❑
uniquement le texte anglais ❑
les textes anglais et français ❑

Q9 Veuillez nous faire part de vos observations éventuelles sur la CEI:

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ISBN 2-8318-7092-5



ICS 17.220.01

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale