

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase

Étude des impédances de référence et des impédances des réseaux publics d'alimentation aux fins de la détermination des caractéristiques de perturbation des équipements électriques utilisant un courant nominal ≤ 75 A par phase



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase

Étude des impédances de référence et des impédances des réseaux publics d'alimentation aux fins de la détermination des caractéristiques de perturbation des équipements électriques utilisant un courant nominal ≤ 75 A par phase

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 33.100.01

ISBN 978-2-83220-161-9

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Systems of low-voltage supply.....	6
3.1 Three-phase supply systems	6
3.2 Single-phase two-wire supply systems	7
3.3 Single-phase three-wire supply systems.....	7
4 Supply impedances	7
4.1 Typical residential premises	7
4.2 Large residential, commercial and light industrial premises	10
4.2.1 General	10
4.2.2 Supply impedance relevant to the connection of three-phase equipment	11
4.2.3 Supply impedances relevant to the connection of single-phase equipment	11
5 Reference impedances	12
5.1 General.....	12
5.2 Reference impedances for equipment with current ratings ≤ 16 A.....	12
5.2.1 Overview	12
5.2.2 50 Hz and 60 Hz low-voltage supply systems	13
5.3 Reference impedance for 50 Hz and 60 Hz equipment with current ratings >16 A and ≤ 75 A per phase	15
6 Impedance at frequencies above the supply frequency	15
Annex A (informative) Methods for determining the maximum modulus values of public electricity supply low-voltage network impedances relevant to three-phase services of more than 100 A per phase at 50 Hz.....	16
Annex B (informative) Methods for determining the maximum modulus values of public electricity supply low-voltage network impedances relevant to three-phase services of more than 100 A per phase at 60 Hz.....	24
Annex C (informative) Measurement of supply impedance and survey method.....	26
Bibliography.....	29
Figure 1 – Representation of a single-phase three-wire supply system	7
Figure A.1 – Model used for determining the impedance of a network line conductor from a transformer to a three-phase service cut-out.....	18
Figure A.2 – Three-phase impedance diagram of a typical 500 kVA transformer and mains cable	19
Figure B.1 – Model used for determining the impedance of a network line conductor from a transformer to a three-phase service cut-out.....	24
Figure C.1 – Measurement of impedance at a customer's premises	27
Table 1 – Residential consumers' complex supply impedances at 50 Hz.....	8
Table 2 – Single-phase device capacities <100 A per phase	9
Table 3 – Three-phase service capacities <100 A per phase.....	9

Table 4 – Single or two-phase service capacities ≥ 100 A per phase.....	10
Table 5 – Three-phase service capacities ≥ 100 A per phase.....	10
Table 6 – Modulus values of supply impedance, in ohms at 50 Hz, relevant to the connection of three-phase equipment and having a 95 % probability of not being exceeded	11
Table 7 – Modulus values of supply impedance, in ohms at 50 Hz, relevant to the connection of single-phase equipment and having a 95 % probability of not being exceeded	12
Table 8 – Reference impedances for testing purposes	13
Table 9 – Reference impedances for 100 V/200 V and 120 V/240 V supply systems <100 A	14
Table 10 – Reference impedances for 200 V to 240 V supply systems <100 A	14
Table 11 – Reference impedances for 200 V to 240 V supply systems, ≥ 100 A per phase	15
Table 12 – Reference impedances for testing purposes, for 200 V to 240 V supply systems, ≥ 100 A	15
Table A.1 – Modulus values of the maximum supply impedance, in ohms, of the line-conductors of 230 V/400 V, 50 Hz, public electricity supply networks, relevant to three-phase services having service capacities of 200 A per phase	21
Table A.2 – Modulus values of the maximum supply impedance, in ohms, of the line and neutral conductors of 230 V/400 V, 50 Hz, public electricity supply networks, relevant to three-phase services having service capacities of 200 A per phase	22
Table C.1 – Impedance values for copper conductor installation wiring	28

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CONSIDERATION OF REFERENCE IMPEDANCES AND PUBLIC SUPPLY NETWORK IMPEDANCES FOR USE IN DETERMINING THE DISTURBANCE CHARACTERISTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT HAVING A RATED CURRENT ≤ 75 A PER PHASE

FOREWORD

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

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60725, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 77A: EMC – Low frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility. This third edition cancels and replaces the second edition, published in 2005, and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- new survey and other data from countries having public supply networks operating at 60 Hz have been included;
- recommendations that were applicable to 50 Hz systems are now mirrored by new recommendations that are relevant to 60 Hz systems.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
77A/784/DTR	77A/789/RVC

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60725:2012

CONSIDERATION OF REFERENCE IMPEDANCES AND PUBLIC SUPPLY NETWORK IMPEDANCES FOR USE IN DETERMINING THE DISTURBANCE CHARACTERISTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT HAVING A RATED CURRENT ≤ 75 A PER PHASE

1 Scope

This Technical Report records the information that was available and the factors that were taken into account in arriving at the reference impedances that were incorporated in IEC 60555 and which are now incorporated in some parts of IEC 61000-3.

In addition, information is given on the impedances of public supply networks associated with service current capacities ≥ 100 A per phase.

2 Normative references

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

IEC 61000-3-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection*

IEC 61000-3-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection*

IEC 61000-3-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase*

3 Systems of low-voltage supply

3.1 Three-phase supply systems

Three-phase, four-wire, distribution systems are used worldwide to supply low-voltage consumers with nominal voltages in the region of 230 V/400 V.

To conform with IEC standard voltages, these systems are described as 230 V/400 V throughout this report.

There is considerable variation in the way in which the supplies to individual consumers are connected to three-phase systems.

In some countries, all four wires are taken into the consumer's premises, allowing the use of three-phase 400 V for large loads, with small appliances and lighting circuits connected between one line and neutral at 230 V.

In other countries, three wires are taken into the consumer's premises, allowing the use of 400 V across two phases for large loads, with small appliances and lighting circuits connected between one line and neutral at 230 V.

In other countries, of which the United Kingdom is an example, it is unusual to take more than one phase into a residential consumer's premises. Therefore, both large loads that are less than 15 kVA and lighting circuits are supplied between line and neutral at 230 V.

3.2 Single-phase two-wire supply systems

In the rural areas of most countries, it is common to connect the winding of distribution transformers across two phases of medium voltage systems and afford supplies to low-voltage consumers via a phase and return conductor. A wide range of voltage is associated with this type of supply system.

In Korea, there are extensive networks supplying single-phase two-wire connections at 220 V.

3.3 Single-phase three-wire supply systems

In some countries, of which the United States of America is an example, a single-phase, three-wire distribution is used. Large loads are connected across the outer wires at 240 V whilst small appliances and lighting circuits are connected between one outer and the centre wire at 120 V, as shown in Figure 1.

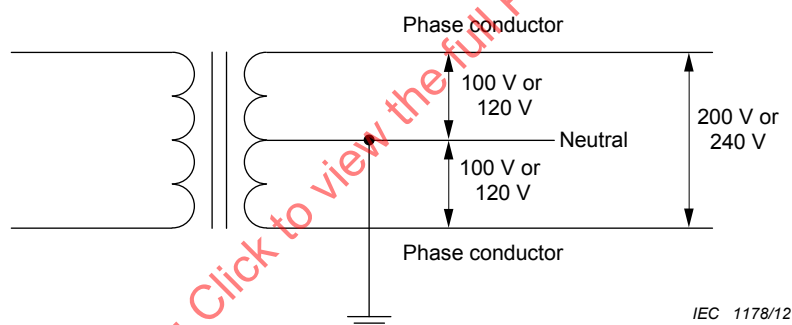


Figure 1 – Representation of a single-phase three-wire supply system

In North America, distribution systems use smaller size transformers, each supplying 4 to 8 customers with shorter secondary (LV) feeder lengths. In Japan the nominal supply voltages are 100 V and 200 V.

These supply systems have quite different supply impedances from those of three-phase distribution systems and might require a different reference impedance for testing equipment having a rated voltage within the range 100 V to 125 V.

4 Supply impedances

4.1 Typical residential premises

The supply system impedance associated with the supply to the premises of a typical residential consumer, is determined by the average value of maximum power demand of all the consumers connected to a typical network and the steady state voltage drop at maximum load used to design the system.

Information on the supply system impedance was collected from as many countries as possible and is presented in Tables 1 to 5. The impedance to be considered was the impedance up to the point of common coupling with other consumers. However, in many systems, particularly where there were several apartments in the same building, the point of common coupling was close to the metering point. Hence, the impedance figures obtained usually include both the supply system impedance and the service connection impedance.

The phase-to-neutral impedance characteristics of three-phase supply systems, in which each consumer is supplied at 230 V, 50 Hz, differ widely between countries. An international survey of residential consumers' complex supply impedances for single-phase connections at 50 Hz is shown in Table 1.

Table 1 – Residential consumers' complex supply impedances at 50 Hz

Country	Year in which data was provided to IEC	Percentage of consumers having supply impedances equal to or less than the listed complex values in Ω			
		98 %	95 %	90 %	85 %
Australia	2011	$0,42 + j0,38$	$0,30 + j0,27$	$0,25 + j0,23$	$0,22 + j0,20$
Belgium	1980	–	$0,63 + j0,33$	$0,32 + j0,17$	$0,28 + j0,15$
France	1980	–	$0,55 + j0,34$	$0,45 + j0,25$	$0,34 + j0,21$
Germany	1980		$0,45 + j0,25$	$0,36 + j0,21$	$0,31 + j0,17$
Ireland ^a	1980	$1,47 + j0,64$	$1,26 + j0,60$	$1,03 + j0,55$	$0,94 + j0,43$
Italy	1980	–	$0,59 + j0,32$	$0,48 + j0,26$	$0,44 + j0,24$
Netherlands	1980	–	$0,70 + j0,25$	$0,41 + j0,21$	$0,32 + j0,17$
Switzerland	1980	–	$0,60 + j0,36$	$0,42 + j0,25$	$0,30 + j0,18$
United Kingdom	1980	$0,46 + j0,45$	–	$0,25 + j0,23$	–
USSR	1980	–	$0,63 + j0,30$	$0,50 + j0,26$	–
NOTE This table shows the phase-to-neutral impedance for single-phase systems.					
^a System impedances for residential consumers in Poland are similar to those in Ireland.					

Since 1981, when the impedance survey was published as Table 1, there has been natural development and reinforcement of public supply networks and the 1980 values in the 90 % column, on which the reference impedances for residential supplies were based, are now more relevant to the 95 % column because supply impedances have been reduced overall.

Information on the measurement of supply impedances is given in Annex C.

The impedance data for residential supply systems, based on study data from the year 2000 and surveys from countries with systems other than 230 V/400 V, are summarized in Tables 2 to 5.

Table 2 – Single-phase device capacities <100 A per phase

Country	Connections V	Percentage of consumers having supply impedances equal to or less than the listed complex values in Ω					Remarks
		98 %	95 %	90 %	85 %	Others	
Canada	100 to 120		0,20+j0,06			–	Survey/Calculation
	200 to 240		0,20+j0,08			–	
USA	100 to 120			0,09+j0,05			Calculation (10 % of customers have higher impedance)
	200 to 240			0,10+j0,06			
Mexico ^a	100 to 120		0,10+j0,07			–	Calculation
	127		0,16+j0,08			–	
Korea	220	0,40+j0,18	0,34+j0,15	0,31+j0,11	0,28+j0,10	–	Survey
Japan	100		0,35+j0,13			–	Survey/Calculation
	200		0,42+j0,21			–	

NOTE 1 The figures for the USA are 90th percentile.

NOTE 2 All references to data from Korea relate to data from South Korea.

NOTE 3 The data from Korea has been taken from rural and urban networks.

NOTE 4 The wide difference in network topographies in the 60 Hz countries mean that it is not possible to provide a single reference impedance 60 Hz countries.

NOTE 5 TBD (to be derived).

^a The values for Mexico are listed under the 95 percentile but Mexico is working towards 100 % of the network impedance values to be at or below the specified values.

Table 3 – Three-phase service capacities <100 A per phase

Country	Connections V	Percentage of consumers having supply impedances equal to or less than the listed complex values in Ω				Remarks
		98 %	95 %	90 %	85 %	
Canada	120/208	TBD	0,07+j0,04	TBD	TBD	Survey/Calculation CIRED paper
USA	277/480	No data		0,10+j0,06		Estimate/survey
Mexico ^a	277/480		0,11+j0,09			
Korea	220/380	0,30+j0,20	0,29+j0,18	0,26+j0,16	0,22+j0,15	Survey
Japan	200	No data	0,38+j0,18			Survey/ Calculation estimate based on JIS-C IEC 61000-3-2

NOTE 1 The figures for the USA are 90th percentile.

NOTE 2 All references to data from Korea relate to data from South Korea.

NOTE 3 The data from Korea has been taken from rural and urban networks.

NOTE 4 The wide difference in network topographies in the 60 Hz countries mean that it is not possible to provide a single reference impedance 60 Hz countries.

NOTE 5 TBD (to be derived).

^a The values for Mexico are listed under the 95 percentile but Mexico is working towards 100 % of the network impedance values to be at or below the specified values.

Country	Connections V	Percentage of consumers having supply impedances equal to or less than the listed complex values in Ω				Remarks
		98 %	95 %	90 %	85 %	
Canada	600	TBD	0,39+j0,07	TBD	TBD	Survey/Calculation CIRED paper
USA	480	No data	No data	No data	No data	
Korea	380	0,27+j0,21	0,24+j0,19	0,21+j0,17	0,20+j0,17	Survey
Japan	—	—	—	—	—	Not applicable
TBD = To be derived.						

4.2.2 Supply impedance relevant to the connection of three-phase equipment

Table 6 contains, under the assumptions stated in 4.2, the values of the modulus in ohms, of the supply impedance of the line-conductors of 230 V/400 V, 50 Hz public electricity supply networks relevant to three-phase services, the various statutory voltage ranges declared to consumers and service capacities in common use.

Table 6 – Modulus values of supply impedance, in ohms at 50 Hz, relevant to the connection of three-phase equipment and having a 95 % probability of not being exceeded

Declared voltage range %	Service capacity in amperes per phase				
	150 A	200 A	300 A	400 A	600 A
8	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02
9	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03
10	0,11	0,08	0,05	0,04	0,03
11	0,12	0,09	0,06	0,05	0,03
12	0,14	0,10	0,07	0,05	0,03
13	0,15	0,11	0,08	0,06	0,04
14	0,17	0,13	0,08	0,07	0,04
15	0,18	0,14	0,09	0,07	0,05
16	0,20	0,15	0,10	0,08	0,05
17	0,21	0,16	0,10	0,08	0,05
18	0,22	0,17	0,11	0,09	0,06
19	0,24	0,18	0,12	0,09	0,06
20	0,25	0,19	0,13	0,10	0,06

4.2.3 Supply impedances relevant to the connection of single-phase equipment

Table 7 contains, under the assumptions stated in 4.2, the values of the modulus, in ohms, of the supply impedance of the line-to-neutral conductors of 230 V/400 V, 50 Hz public electricity supply networks relevant to the connection of single-phase equipment to three-phase 4-wire services.

Table 7 – Modulus values of supply impedance, in ohms at 50 Hz, relevant to the connection of single-phase equipment and having a 95 % probability of not being exceeded

Declared voltage range %	Service capacity in amperes per phase				
	150 A	200 A	300 A	400 A	600 A
8	0,13	0,10	0,06	0,05	0,03
9	0,15	0,12	0,08	0,06	0,04
10	0,18	0,13	0,09	0,07	0,04
11	0,20	0,15	0,10	0,08	0,05
12	0,23	0,17	0,11	0,08	0,06
13	0,25	0,19	0,12	0,09	0,06
14	0,27	0,20	0,14	0,10	0,07
15	0,30	0,22	0,15	0,11	0,07
16	0,32	0,24	0,16	0,12	0,08
17	0,34	0,26	0,17	0,13	0,09
18	0,37	0,28	0,18	0,14	0,09
19	0,39	0,29	0,20	0,15	0,10
20	0,42	0,31	0,21	0,16	0,10

5 Reference impedances

5.1 General

Values of reference impedances appropriate to low-voltage public supply systems are given in the following subclauses; some are values already established in IEC 61000-3-3 and IEC 61000-3-11, whilst others, pertaining to 60 Hz supply systems, are recommended values.

It should be clearly understood that it is not possible to define a single reference impedance that applies in all regions of the world, because of different supply voltages and different distribution systems.

5.2 Reference impedances for equipment with current ratings ≤ 16 A

5.2.1 Overview

Equipment having current ratings ≤ 16 A is mainly connected in premises having service current capacities less than 100 A per phase. Such premises are predominantly in residential supply areas, which were initially surveyed in Europe in 1980, while other surveys have been made at more recent dates. Reference impedances relevant to the connection of equipment having current ratings ≤ 16 A have therefore been derived from the values given in Table 1.

It was planned that the reference impedances should represent existing system impedances and have values that can be used to assess the emissions of equipment against voltage limits with a view to ensure that connection of equipment to a public supply network would not cause undue voltage disturbance and distortion.

It has not proved possible to find an automatic and logical way of relating the reference impedance to the range of system impedances. It was recognised that to say that 10 % of consumers had supply impedances greater than a given value did not imply that 10 % of consumers would be disturbed. A consumer at the far end of a line causes less disturbance (due to voltage fluctuations or harmonic distortion) to consumers nearer to the source than to his immediate neighbour.

Divergence of views about the use of a single reference impedance may be summarized as follows:

- a) some countries with high impedance networks do not consider it economically possible to reinforce their networks;
- b) some countries with high impedance networks have no need to reinforce their networks because they have readily available alternative fuels for cooking and heating appliances;
- c) some countries are not concerned with the switching of significant loads at 230 V because they connect large appliances to two or three phases at 400 V.

The values in the following subclauses were chosen as reference impedances and take account of experience with the use of existing appliances on existing systems as well as the survey values of system impedance presented in Tables 1, 2, 3, 4 and 5.

5.2.2 50 Hz and 60 Hz low-voltage supply systems

5.2.2.1 Three-phase, four-wire, 230 V/400 V supply systems with service capacities <100 A

Adoption of the following reference impedances, Z_{ref} , for testing purposes is recommended, see Table 8.

Table 8 – Reference impedances for testing purposes

Conductor	Impedances Ω
Phase conductor	$0,24 + j0,15$
Neutral conductor	$0,16 + j0,10$
Total	$0,40 + j0,25$

NOTE In Korea, there are three-phase four-wire 220 V/380 V low-voltage supply networks.

5.2.2.2 Single-phase, two-wire 230 V systems with service capacities <100 A

In this category of supply systems, Ireland has a network in which a high percentage of consumers have supply impedances greater than $(0,4 + j0,25) \Omega$. Italy and Poland also have a large proportion of rural networks with relatively high supply impedances. In the United Kingdom, supplies to only about 2 % of consumers exceed $(0,4 + j0,25) \Omega$.

A single value of reference impedance of $(0,4 + j0,25) \Omega$ (phase to neutral) has been adopted with the advantages that

- this value gives the same limit conditions for appliances manufactured for use in all countries;
- it complies with the decision that there should be a single reference impedance used for the assessment of emissions from equipment rated ≤ 16 A per phase;
- it simplifies the test house procedure;
- experience shows that most appliances already connected to public supply systems comply with limits based on this impedance (but there are exceptions);
- it simplifies the setting of limits.

The choice of a single impedance also has disadvantages, namely:

- although conditions on networks with relatively high impedance are normally acceptable at present, this may not be so if equipment intended for simultaneous use in large numbers were designed to produce the maximum values of voltage change foreseen;

- equipment forming part of a larger appliance, which operates for only short periods and which is known to be acceptable, would be prohibited.

Equipment rated ≤ 16 A, which does not comply with the voltage limits of IEC 61000-3-3 when tested with the reference impedance may be retested or evaluated to show conformity with IEC 61000-3-11. IEC 61000-3-11 is applicable to equipment with rated input current ≤ 75 A per phase and enables conditional connection of equipment by a public distribution network operating company.

5.2.2.3 Single-phase, three-wire, 100 V/200 V and 120 V/240 V supply systems with service capacities <100 A

The recommended reference impedances for 50 Hz and 60 Hz single-phase three-wire supply systems, see Figure 1, having nominal voltages within the range of 100 V to 120 V are given in Table 9.

Table 9 – Reference impedances for 100 V/200 V and 120 V/240 V supply systems <100 A

Conductor	Impedances Ω
Phase conductor	$0,209 + j0,103$
Neutral conductor	$0,143 + j0,025$
Total	$0,35 + j0,13$
This impedance is based on data from US, Canada and Japan.	

The recommended reference impedances for 50 Hz and 60 Hz single-phase three-wire supply systems, see Figure 1, having nominal voltages within the range of 200 V to 240 V and service capacities <100 A are given in Table 10.

Table 10 – Reference impedances for 200 V to 240 V supply systems <100 A

Conductor	Impedances Ω
Phase conductor	$0,209 + j0,103$
Return phase conductor	$0,209 + j0,103$
Total	$0,42 + j0,21$
This impedance is based on data from US, Canada and Japan.	

5.2.2.4 Three-phase, four-wire supply systems having service capacities ≥ 100 A per phase

For 50 Hz and 60 Hz single-phase supply systems having nominal voltages within the range of 200 V to 240 V and with service capacities ≥ 100 A per phase the recommended reference impedances are given in Table 11.

Table 11 – Reference impedances for 200 V to 240 V supply systems, ≥ 100 A per phase

Conductor	Impedances Ω
Phase conductor	$0,15 + j0,15$
Neutral conductor	$0,10 + j0,10$
Total	$0,25 + j0,25$

5.3 Reference impedance for 50 Hz and 60 Hz equipment with current ratings >16 A and ≤ 75 A per phase

Equipment rated ≤ 75 A per phase is extensively used in commercial and industrial premises, and to a lesser extent in residential premises.

50 Hz supply system impedance values for a range of higher service capacities are given in Tables 6 and 7.

For equipment rated ≤ 75 A and intended to be used only in premises having a service capacity < 100 A per phase (where the single-phase voltage is in the range 200 V to 240 V) it is recommended that test reference impedances, Z_{test} , from 5.2.2.1 are adopted.

For equipment rated ≤ 75 A and intended to be used only in premises having a service capacity ≥ 100 A per phase (where the single-phase voltage is in the range 200 V to 240 V) it is recommended that test reference impedances, Z_{test} , shown in Table 12 are adopted.

Table 12 – Reference impedances for testing purposes, for 200 V to 240 V supply systems, ≥ 100 A

Conductor	Impedances Ω
Phase conductor	$0,15 + j0,15$
Neutral conductor	$0,10 + j0,10$
Total	$0,25 + j0,25$
NOTE The above impedance values are recommended for tests in accordance with IEC 61000-3-11 on equipment having current ratings > 20 A r.m.s. Equipment having current ratings above 19 A by definition exceed the d_c limit of 3,3 % and thus require a system impedance that is lower than the Z_{ref} shown in Table 8.	

6 Impedance at frequencies above the supply frequency

Theoretical considerations suggest that resonance between power factor correction capacitors and the system inductance is possible at harmonic frequencies, but this phenomenon has only been observed in a few cases. For this reason, it is recommended that the reference impedance be regarded as purely resistive and inductive for assessing harmonic emissions.

The supply impedance values presented in this report may be used to determine the minimum short-circuit level at the fundamental frequency used in IEC 61000-3-12 to specify the limits of harmonic current emissions from equipment.

Annex A (informative)

Methods for determining the maximum modulus values of public electricity supply low-voltage network impedances relevant to three-phase services of more than 100 A per phase at 50 Hz

A.1 Relevance of this Technical Report

The main body of this Technical Report was published in 1981 in order to facilitate the connection of residential equipment to public supply low-voltage networks by providing test reference impedances for use with the IEC 60555 emission standards.

However, when the IEC 60555 standards were converted to IEC 61000-3 standards in 1995, the scopes were changed to incorporate most equipment rated less than or equal to 16 A. This change meant that equipment for use in commercial, light industrial and industrial premises, previously considered as professional equipment, had to comply with the emission limits for harmonics and voltage fluctuations.

Manufacturers now design and test equipment to the new standards, as much of modern equipment is used in all environments. Modern equipment includes for example: very large television sets, personal computers, photocopiers, air-conditioning units and high-powered water jet equipment.

The object of this annex is to extend the supply impedance information provided by supply authorities to service capacities in excess of 100 A per phase, thereby facilitating the assessment of equipment for connection to a specific supply and to form a common knowledge base which can be used by equipment manufacturers when discussing the marketing of their products with supply authorities at a national level.

Because there is an enormous variety throughout the world of statutory supply voltages, permitted variations and the specifications used by supply authorities for power system plant and equipment, a statistical survey to determine supply impedances relevant to particular service capacities would be extremely expensive and the results would be too specific.

Consumer demand for enhanced performance equipment has had the effect of driving up the ratings of equipment and manufacturers have had problems in meeting the voltage fluctuation limits in IEC 61000-3-3 in particular. A solution was found to manufacturers' problems by publishing IEC 61000-3-11 with a scope that overlaps that of IEC 61000-3-3.

IEC 61000-3-11 is applicable to equipment rated less than or equal to 75 A and subject to conditional connection, and it permits manufacturers of equipment that does not meet the limits of IEC 61000-3-3, when tested with the reference impedance Z_{ref} , to retest the equipment with a variable test reference impedance. Thus they may

- a) either determine the maximum permissible system impedance Z_{max} at the interface point of the user's supply, which gives compliance with the standard's limits, declare it in the equipment instruction manual and instruct the user to determine in consultation with the supply authority, if necessary, that the equipment is connected to a supply of that impedance or less, or
- b) test single-phase equipment with a test impedance of $(0,25 + j 0,25) \Omega$ and test three-phase equipment with a line test impedance of $(0,15 + j 0,15) \Omega$ and a neutral test impedance of $(0,1 + j 0,1) \Omega$. If the equipment meets the limits set in the standard, the manufacturer shall declare in the equipment instruction manual that the equipment is intended for use only in premises having a service current capacity equal to or greater than 100 A per phase, supplied from a distribution network having a nominal voltage of

400 V/230 V, and instruct the user to determine, in consultation with the supply authority if necessary, that the service current capacity at the interface point is sufficient for the equipment.

The equipment shall be clearly marked as being suitable for use only in premises having a service current capacity equal to or greater than 100 A per phase.

For options a) and b), if the supply capacity, service current capacity, and/or the actual system impedance at the service cut-out of the premises where the equipment is to be used have been declared to, or measured by, the user or equipment installer, this information may be used to assess the suitability of equipment without reference to the supply authority.

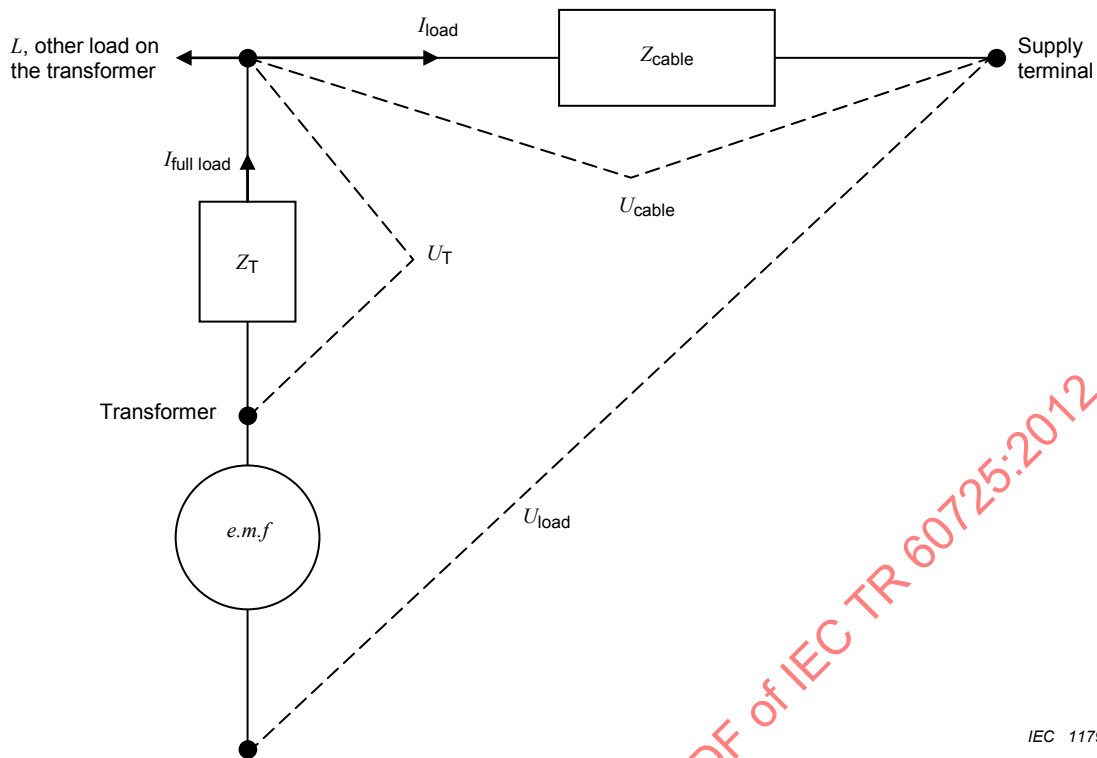
This annex, therefore, presents impedance data in a form that enables supply authorities worldwide to determine appropriate values specific to the construction of their supply systems and statutory obligations. Values of impedance are derived from consideration of a basic model of a 500 kVA transformer supplying a 400 V/230 V, 50 Hz, three-phase public distribution network, which in turn supplies a service having a declared capacity of 200 A per phase.

A.2 Network model appropriate to low-voltage public electricity supply networks

The basic model used to determine the impedance of a supply from a public electricity network is single-phase and uses a declared voltage U_{dec} with a declared voltage variation range. For the purpose of this example the following descriptions will be used: ΔU_{range} , expressed as a percentage of U_{dec} and comprised of an upper voltage limit, ΔU_{up} , and a lower voltage limit, ΔU_{down} , both expressed as a percentage of U_{dec} .

The single-phase model is shown in Figure A.1 and is comprised of

- transformer, T , having an *e.m.f.* equal to the maximum permissible voltage, i.e. $U_{\text{dec}} (1 + \Delta U_{\text{up}}/100)$, a voltage regulation U_{reg} from no-load to full-load expressed as a percentage of U_{dec} , an impedance Z_T , and a full-load rated current of $I_{\text{full load}}$,
- network load, L , connected directly to the transformer, which together with the capacity of the service being considered equals the capacity of the transformer,
- distribution cable and service line having a combined impedance of Z_{cable} , and service load of I_{load} amperes per phase equal to the declared service capacity,
- U_{load} is the voltage across the load connected at the supply terminal.



IEC 1179/12

Key

e.m.f. electromotive force

Figure A.1 – Model used for determining the impedance of a network line conductor from a transformer to a three-phase service cut-out

The voltage, U_{cable} , across Z_{cable} is given by

$$U_{\text{cable}} = e.m.f. - U_T - U_{\text{load}}$$

NOTE This is a simplified formula that assumes the power factor of the load and the power factor of the network are equal.

$$= U_{\text{dec}} (1 + \Delta U_{\text{up}}/100) - U_{\text{reg}}/100 \cdot U_{\text{dec}} (1 + \Delta U_{\text{up}}/100) - U_{\text{dec}} (1 - \Delta U_{\text{down}}/100)$$

$$= \Delta U_{\text{range}}/100 \cdot U_{\text{dec}} - U_{\text{reg}}/100 \cdot (1 + \Delta U_{\text{up}}/100) \cdot U_{\text{dec}}$$

$$U_{\text{cable}} = \frac{U_{\text{dec}}}{100} \left[\Delta U_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{\Delta U_{\text{up}}}{100} \right) \right] \quad (\text{A.1})$$

The modulus value of Z_{cable} is given by dividing U_{cable} by the service cut-out phase-current capacity, which is also I_{load} .

A complex value of Z_{cable} may be obtained from the modulus value by application of the impedance ratio of the line impedance components of cables in common use; see Clause A.3 where the R/Z ratio of 0,877 is applied to cables. Vector addition of Z_T to Z_{cable} yields the impedance of the network line conductor. Provided that the power-factor of the assumed load is in the region of, and higher than, 0,9, reasonably accurate results are obtained by this method.

To obtain the value of supply impedance relevant to the connection of single-phase equipment to a three-phase service, Z_{cable} is multiplied by 1,667 before the addition of Z_T , in order to reflect the impedance in the cable's neutral return path in accordance with the ratio of line components to neutral components of Z_{ref} given in Table 8 and adopted in IEC 61000-3-3.

A.3 Application of the network model to 230 V/400 V, 50 Hz public supply systems

A.3.1 Method

In the case of 230 V/400 V, 50 Hz supply systems, it is possible to use the known impedance and voltage regulation characteristics of distribution transformers, together with the impedance characteristics of mains cables and an assumed load current power-factor, and apply them directly to the model in order to obtain maximum values of supply impedance.

The modulus value Z_{sys} of the line conductors, which represents the network impedance, is obtained by adding the component of Z_T in-phase with the mains cable impedance, Z_{Tequiv} , to the calculated value of Z_{cable} ; the Z_{Tequiv} component is 0,007 6 Ω for $U_{\text{reg}} = 3$; 0,010 2 Ω for $U_{\text{reg}} = 4$; 0,012 7 Ω for $U_{\text{reg}} = 5$ and 0,015 2 Ω for $U_{\text{reg}} = 6$.

These nominal values of Z_{Tequiv} are derived from the impedance characteristic of a typical 500 kVA delta-star transformer (0,005 09 + j0,017 1) Ω , whose $R:Z$ ratio is typical of all three-phase transformers, by considering the components in-phase with the impedances of commonly used main distribution cables, which have an $R:Z$ ratio of 0,877:1; see Figure A.2 below.

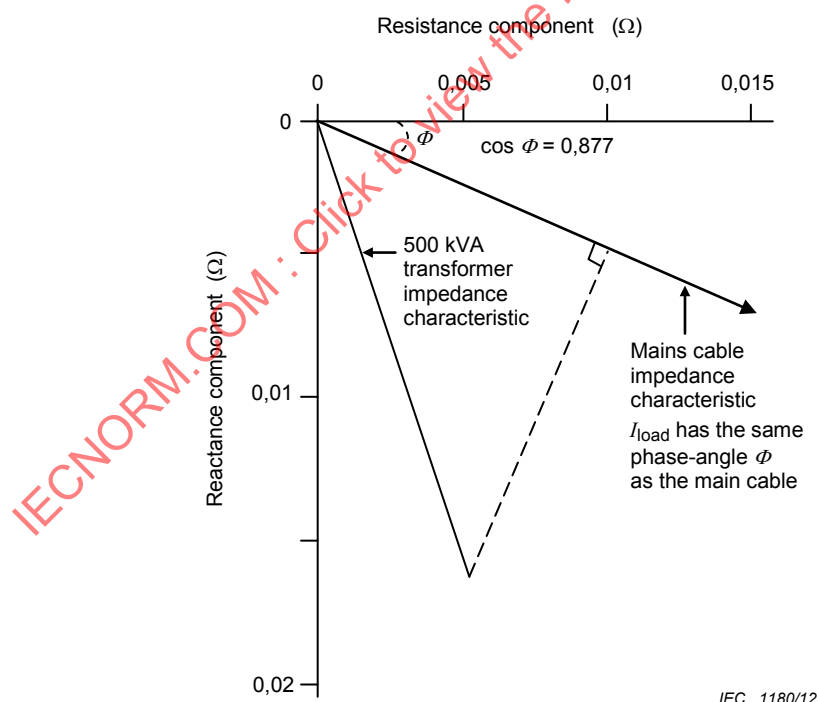


Figure A.2 – Three-phase impedance diagram of a typical 500 kVA transformer and mains cable

The typical mains cable impedance line has a R/Z value of 0,877, which is also typical of the power-factor of consumers' load. As voltages are calculated from the vector multiplication of current and impedance, it is reasonable to reference all impedances to the mains cable and assume that all values are in-phase. Hence the calculations are simplified but sufficiently accurate for the voltage ranges considered.

Figure A.2 above shows that a 500 kVA transformer having a nominal 5,3 % reactance and an impedance of $0,0178 \Omega$ has a component of $0,0127 \Omega$ in-phase with the load current and mains cable impedance.

The impedance value obtained by this method is relevant to the connection of three-phase equipment to the service line.

To obtain the value of impedance relevant to the connection of single-phase equipment to a three-phase service, Z_{cable} is multiplied by 1,667 before the addition of Z_T , in order to reflect the impedance in the cable's neutral return path in accordance with the ratio of line components to neutral components of Z_{ref} given in Clause 5.

Table A.1 contains values of system impedance, Z_{sys3} , relevant to the connection of a three-phase load to a service having a capacity, I_{load} , of 200 A per phase. Values of system impedance are obtained by application of equation (A.2), which is equation (A.1) with the addition of Z_T . Calculations are made to four decimal places and then corrected to two decimal places.

$$Z_{\text{sys3}} = U_{\text{dec}} / (100 \cdot I_{\text{load}}) \cdot [R_{\text{ange}} - U_{\text{reg}} (1 + R_{\text{up}} / 100)] + Z_{\text{Tequiv}} \quad (\text{A.2})$$

Table A.2 contains values of Z_{sys1} relevant to the connection of single-phase load to a service having a capacity, I_{load} , of 200 A per phase, obtained by application of equation (A.3). Calculations are made to four decimal places and then corrected to two decimal places.

$$Z_{\text{sys1}} = 1,667 \cdot U_{\text{dec}} / 100 \cdot I_{\text{load}} [R_{\text{ange}} - U_{\text{reg}} (1 + R_{\text{up}} / 100)] + Z_{\text{Tequiv}} \quad (\text{A.3})$$

The voltage regulation characteristics of transformers are related to the winding impedances and a voltage regulation of 3 % corresponds to a transformer having a reactance, expressed as a percentage of the impedance represented by the terminal voltage at full load divided by the current at full load, within the band of 2,5 % to 3,0 %. 4 % voltage regulation corresponds to reactance within the band of 3,5 % to 4,0 %. 5 % voltage regulation corresponds to reactance within the band of 4,5 % to 5,0 %. 6,0 % voltage regulation corresponds to reactance within the band of 5,5 % to 6,0 %.

Hence, either transformer voltage regulation or percentage reactance may be used to ascertain a maximum value of supply impedance from Tables A.1 and A.2.

If equations (A.2) or (A.3) are used to calculate particular values of Z_{sys} and only percentage reactance values are available, the equivalent voltage regulation values may be used in the calculations.

A.3.2 Example of a calculation

Considering the service to a consumer having a three-phase service capacity, I_{load} , of 200 A per phase, a declared supply voltage, U_{dec} , of 400 V/230 V ± 10 % (i.e. $R_{\text{up}} = 10$ %, $R_{\text{down}} = 10$ % and $R_{\text{ange}} = 20$ %), connected to a network supplied from a 500 kVA transformer having a no-load to full-load voltage regulation of 3 % (i.e. $U_{\text{reg}} = 3$):

The line-conductor impedance

$$\begin{aligned} &= U_{\text{dec}} / (I_{\text{load}} \cdot 100) \cdot [R_{\text{ange}} - U_{\text{reg}} \cdot (1 + R_{\text{up}} / 100)] + Z_{\text{Tequiv}} \\ &= 230 / (200 \cdot 100) \cdot [20 - 3 (1 + 10 / 100)] + 0,0076 \\ &= 0,1920 + 0,0076 \\ &= 0,20 \Omega \dots \text{see last row of Table A.1, column 2.} \end{aligned}$$

The impedance value obtained by this method is relevant to the connection of three-phase equipment to the service line.

To obtain the value of impedance relevant to the connection of single-phase equipment to the three-phase service, Z_{cable} is multiplied by 1,667 before the addition of Z_{Tequiv} .

The line and neutral impedance $= (0,192\ 0 \cdot 1,667) + 0,007\ 6$
 $= 0,33\ \Omega$... See last row of Table A.2, column 2.

A.4 Maximum values of system impedance relevant to three-phase services connected to 400 V/230 V public supply networks

Table A.1 values are relevant to the connection of three-phase equipment to a three-phase service and Table A.2 values are relevant to the connection of single-phase equipment to a three-phase four-wire service.

The values of system impedance presented in Tables A.1 and A.2 have been calculated for three-phase 230 V/400 V electricity services having service capacities of 200 A per phase, using the network model given in Clause A.2, and the equations developed in Clause A.3. See Clause A.5 for system impedances appropriate to conditions other than those assumed in Clause A.3.

In most countries the declared range of voltage variation is symmetrical about the declared nominal network voltage and R_{up} has the same value as R_{down} ; the values in the Tables are based on this condition. It has been assumed that the medium voltage network is regulated to maintain the nominal system voltage at the distribution transformer terminals and therefore all the voltage drop, represented by the R_{range} is attributable to the transformer and low-voltage cable network. For other voltage drop conditions, see Clause A 5.

Table A.1 – Modulus values of the maximum supply impedance, in ohms, of the line-conductors of 230 V/400 V, 50 Hz, public electricity supply networks, relevant to three-phase services having service capacities of 200 A per phase

Declared voltage range %	Characteristics of the network supply transformer			
	Voltage regulation: 3 % Reactance: 2,5 % to <3,5 %	Voltage regulation: 4 % Reactance: 3,5 % to <4,5 %	Voltage regulation: 5 % Reactance: 4,5 % to <5,5 %	Voltage regulation: 6 % Reactance: 5,5 % to <6,5 %
8	0,06	0,05	0,04	0,04
9	0,08	0,07	0,06	0,05
10	0,09	0,08	0,07	0,06
11	0,10	0,09	0,08	0,07
12	0,11	0,10	0,09	0,08
13	0,12	0,11	0,10	0,09
14	0,13	0,12	0,11	0,10
15	0,14	0,13	0,12	0,11
16	0,15	0,14	0,13	0,12
17	0,17	0,16	0,15	0,14
18	0,18	0,17	0,16	0,15
19	0,19	0,18	0,17	0,16
20	0,20	0,19	0,18	0,17

Table A.2 – Modulus values of the maximum supply impedance, in ohms, of the line and neutral conductors of 230 V/400 V, 50 Hz, public electricity supply networks, relevant to three-phase services having service capacities of 200 A per phase

Declared voltage range %	Characteristics of the network supply transformer			
	Voltage regulation: 3 %	Voltage regulation: 4 %	Voltage regulation: 5 %	Voltage regulation: 6 %
	Reactance: 2,5 % to <3,5 %	Reactance: 3,5 % to <4,5 %	Reactance: 4,5 % to <5,5 %	Reactance: 5,5 % to <6,5 %
8	0,10	0,08	0,06	0,05
9	0,12	0,10	0,09	0,07
10	0,14	0,12	0,10	0,09
11	0,16	0,14	0,12	0,10
12	0,18	0,16	0,14	0,12
13	0,20	0,18	0,16	0,14
14	0,22	0,20	0,18	0,16
15	0,23	0,22	0,20	0,18
16	0,25	0,23	0,22	0,20
17	0,27	0,25	0,23	0,22
18	0,29	0,27	0,25	0,23
19	0,31	0,29	0,27	0,25
20	0,33	0,31	0,29	0,27

A.5 Alternative methods of determining supply impedance

If the column headings of Tables A.1 and A.2 do not match the voltage regulation or reactance parameters of a particular system being considered then linear interpolation between values in adjacent columns is valid. For example, the supply impedance appropriate to the connection of a single-phase load to a 200 A service having a voltage range of 12 % and supplied by a transformer having a voltage regulation of 5,5 % is 0,13 Ω .

Values relevant to a service having a current capacity “Y”, greater than 100 A per phase, may be interpolated crudely from the Tables by multiplying the impedance values by the factor: $200/Y$. Accurate values can be obtained by subtracting the transformer impedance relevant to the voltage regulation from the value in the relevant table, multiplying the remainder by the factor $200/Y$ and then adding the relevant transformer impedance to the result.

Values relevant to a supply network having a source transformer, or transformers having an aggregate capacity of “C” kVA, may be interpolated from the Tables by increasing or reducing the impedance values by an amount given by: $(500/C \cdot 0,01) - 0,01$.

Values relevant to a supply network operating at a nominal phase voltage of “X” may be interpolated with reasonable accuracy from the Tables by multiplying the impedance values by the factor: $X/230$.

In countries where R_{up} does not have the same value as R_{down} , it will be necessary to calculate appropriate supply impedance values by inserting the actual value of R_{up} into equations (A.2) and (A.3).

If a low-voltage network is supplied from a medium voltage circuit of considerable length, the system design may allow for voltage drop in the medium voltage circuit. In such cases, which are usually associated with rural areas, the statutory low-voltage R_{ange} is reduced by the medium voltage drop allowance. For example, if the statutory voltage declared to a rural low-

voltage consumer has a tolerance of $\pm 10\%$ and there is an allowance of 5% for voltage drop in the medium voltage supply system, the supply impedance values will be those appropriate to a R_{ange} of 15% .

A supply authority may declare a voltage variation range to consumers in accordance with its statutory obligation but nevertheless design its networks to a more stringent value. In such cases the supply authority can quote impedance values appropriate to its design criteria.

The maximum supply impedance values in Tables A.1 and A.2 that will not be exceeded, are easily adjusted to represent particular probability values by multiplying the given 100% probability values by the required probability. For example, if supply impedance values are required that will not be exceeded in 95% of locations, the values in the Tables are multiplied by $0,95$.

A.6 Another method of determining supply impedance

Supply authorities normally terminate the low-voltage service line to a consumer with either a cut-out containing a protective fuse, or a protective device. In both cases the protective device serves to limit the duration of fault current entering a consumer's installation and disconnect the supply authorities' wiring and equipment before the consumer's main switchboard in the event of a fault occurring on that part of the installation.

The minimum fault current at the point of supply, that will enable the supply authorities' protective device to meet the requirements for protection given in IEC 60384, can be used to determine a maximum value of network impedance for a given supply capacity.

The characteristics of protective devices vary considerably and for that reason no alternative general technique for ascertaining supply impedance values can be given in this annex.

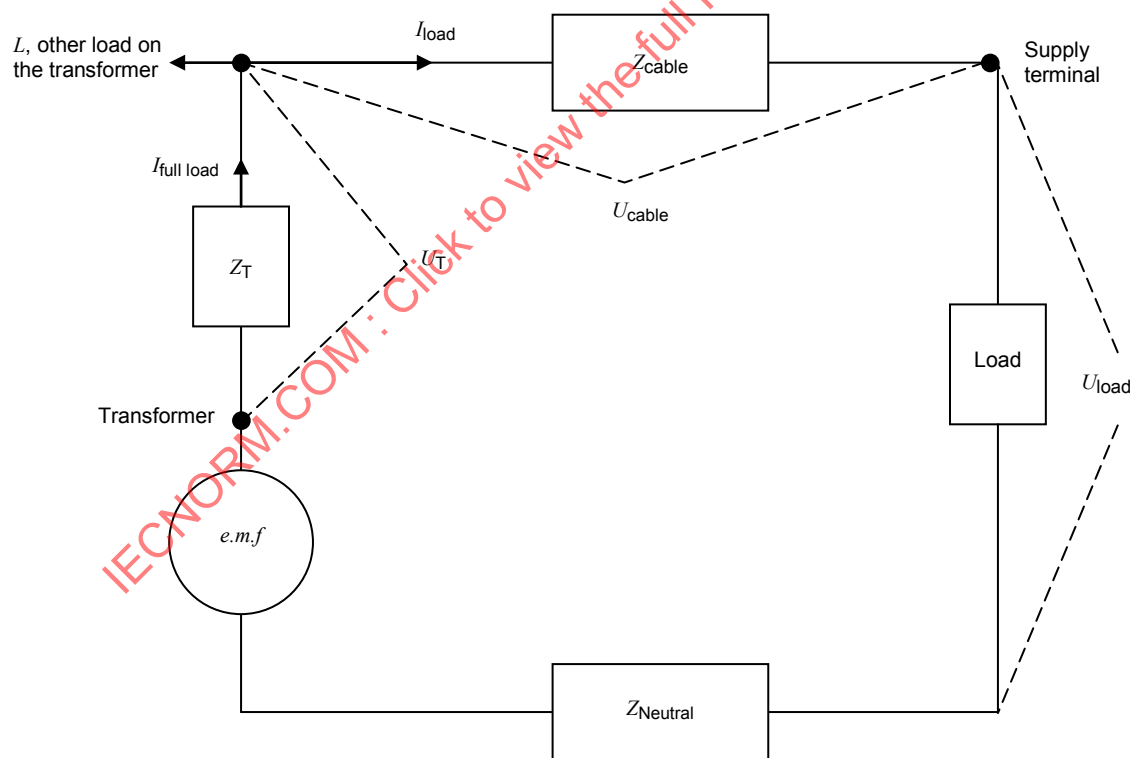
Annex B (informative)

Methods for determining the maximum modulus values of public electricity supply low-voltage network impedances relevant to three-phase services of more than 100 A per phase at 60 Hz

The basic model used to determine the impedance of a supply from a public electricity network is single-phase and uses a declared voltage U_{dec} with a declared voltage variation range, R_{range} , expressed as a percentage of U_{dec} and comprised of an upper voltage limit, $+R_{up}$, and a lower voltage limit, $-R_{down}$, both expressed as a percentage of U_{dec} .

The single-phase model is shown in Figure B.1 and is comprised of

- transformer, T, having an *e.m.f.* equal to the maximum permissible voltage, i.e. $U_{dec} (1 + R_{up}/100)$, a voltage regulation from no-load to full-load of U_{reg} , expressed as a percentage of U_{dec} , an impedance Z_T , and a full-load rated current of $I_{full\ load}$,
- network load, L , connected directly to the transformer, which, together with the capacity of the service being considered, equals the capacity of the transformer,
- distribution cable and service line having a combined impedance of Z_{cable} , and
- service load of I_{load} amperes per phase equal to the declared service capacity.



IEC 1181/12

Key

e.m.f. electromotive force

Figure B.1 – Model used for determining the impedance of a network line conductor from a transformer to a three-phase service cut-out

The voltage, U_{cable} , across Z_{cable} is given by

$$\begin{aligned}
 U_{\text{cable}} &= e.m.f. - U_{\text{T}} - U_{\text{load}} \\
 &= U_{\text{dec}} (1 + R_{\text{up}}/100) - U_{\text{reg}}/100 \cdot U_{\text{dec}} (1 + R_{\text{up}}/100) - U_{\text{dec}} (1 - R_{\text{down}}/100) \\
 &= R_{\text{ange}}/100 \cdot U_{\text{dec}} - U_{\text{reg}}/100 \cdot (1 + R_{\text{up}}/100) \cdot U_{\text{dec}} \\
 U_{\text{cable}} &= \frac{U_{\text{dec}}}{100} \left[R_{\text{ange}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right) \right] \quad (\text{B.1})
 \end{aligned}$$

The modulus value of Z_{cable} is given by dividing U_{cable} by the service cut-out phase-current capacity, which is also I_{load} .

60 Hz single-phase and two-phase supply systems have many configurations and plant parameters, which prevent the development of a representative model. In particular the impedances of supply transformers and the capacities of service cut-outs vary considerably. Consequently, it is recommended that supply system impedances are calculated for particular premises by the application of equation (B.1), to determine the cable impedance component, and then adding the impedance of the supply transformer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60725:2012

Annex C (informative)

Measurement of supply impedance and survey method

C.1 Impedance measurement surveys

The object of the Unipede impedance survey was to establish a value of reference impedance for use in the testing of electrical equipment, which could be purchased by a user and plugged into a supply without reference to the local supply authority or a professional installer of equipment. Z_{ref} is used in IEC 61000-3-3, which is applicable to equipment rated ≤ 16 A. 16 A is the largest rating of ordinary socket outlets in common use worldwide.

Whilst IEC 61000-3-3 is applicable to equipment used in all environments, IEC 61000-3-11, which is primarily applicable to equipment rated >16 A, even though it covers all equipment rated ≤ 75 A, is mainly applicable to equipment used in commercial and industrial environments. Reference impedances for the connection of large equipment are not established, because most connections of such equipment are made by qualified professional installers who are able to ascertain, by measurements or enquiries, the supply impedance at the point of use, and advise the user as to the suitability of equipment for connection.

C.2 Selection of measurement sites

Assuming that all residential customers are supplied at low-voltage by single-phase and that three-phase supplies are only given to commercial and industrial customers, the survey should be divided in two sections "A" and "B".

Survey A should identify a representative number of residential customers located towards the far end of distribution circuits. The number required to give a representative sample will depend upon the differences in the type of network and the type of customer (in terms of their use of electrical energy) within the survey area. It is expected that the number will be no more than 200. The reason for choosing customers located towards the end of the distribution circuit is the need to determine highest levels of source impedance for a particular circuit, the results of all measurements will then be used to derive a percentile figure that will be relevant to all similar networks. This approach will minimise the risk of poor equipment performance for customers located at the end of distribution circuits. The survey should consider the distribution of customer numbers across urban and rural networks, supplied by overhead lines and/or underground cables.

Survey B should identify a representative number of commercial customers and industrial customers located towards the far end of distribution circuits. The number required to give a representative sample will depend upon the differences in the type of network and the type of customer (in terms of their use of electrical energy) within the survey area; it is expected that the number will be no more than 50 commercial and 50 industrial customers.

To select measurement sites of low-voltage network customers, the following points should be considered:

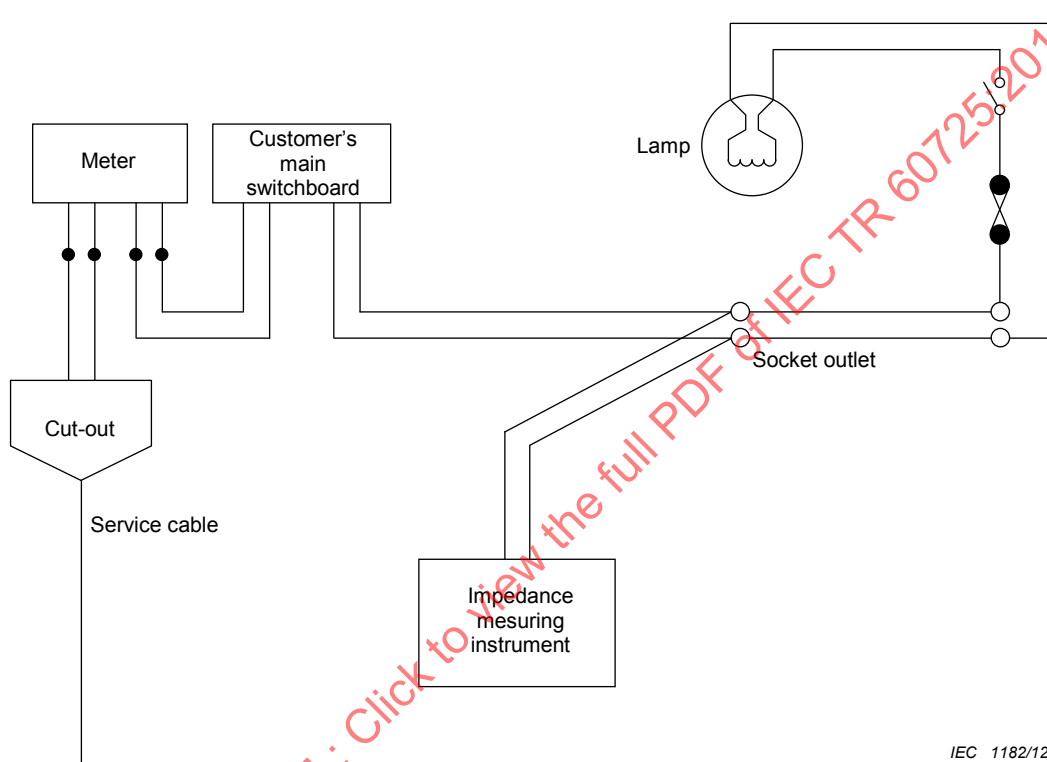
- information about the number of customers on the distribution mains;
- determination of typical network arrangements;
- information regarding the supply capacities of the customers;
- identification of typical distribution network configurations;
- the national percentage of customers in each customer category;
- calibration of the measuring instrument.

C.3 Measurement procedure

Measurements at a location should be taken at a point as near as possible to the supply cut-out; see Figure C.1. At each location, three measurements should be taken and the results recorded.

The approximate length and size of the conductors from the supply cut-out to the measurement point should be recorded.

It is preferable, but not essential, to take measurements at times of low load.



IEC 1182/12

Figure C.1 – Measurement of impedance at a customer's premises

C.4 Processing recorded measurements

The second highest, or second lowest, of the three measurements taken at a location should be taken as the representative reading. This reading should be reduced by the impedance of the installation circuit from the cut-out to the point of measurement, and the impedance of the measuring instrument leads.

If the impedance measurement is complex, only the resistive component is reduced by the circuit and lead impedances, provided that the cross-sectional area of the copper conductors, or equivalent copper conductors, is $\leq 16 \text{ mm}^2$. The inductive component is negligible because, for example, the inductance of a $2,5 \text{ mm}^2$ cable is only $0,75 \mu\text{H/m}$.

Table C.1 – Impedance values for copper conductor installation wiring

Conductor cross-sectional area in mm ²	Conductor resistance in ohms per route metre
1,0	0,034 5
1,5	0,023 0
2,5	0,013 8
4,0	0,008 6
6,0	0,005 7
10,0	0,003 5
16,0	0,002 2

Table C.1 gives circuit conductor impedances in ohms at 20 °C/m of route length, i.e. the “go” and “return” conductor impedance.

An impedance having a 95 % probability of occurrence should be deduced for each set of survey results taking into account the number of customers in each type of environment for which there are measurement results.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60725:2012

Bibliography

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

IEC 60384 (all parts), *Fixed capacitors for use in electronic equipment*

IEC 60555 (all parts), *Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment*

IEC 61000-3 (all parts), *Electromagnetic compatibility – Part 3: Limits*

IEC 61000-3-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*

IEC 61000-4-34, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-34: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with mains current more than 16 A per phase*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60725:2012

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
1 Domaine d'application	34
2 Références normatives	34
3 Réseaux d'alimentation basse tension	34
3.1 Réseaux d'alimentation triphasés	34
3.2 Réseaux d'alimentation monophasés à deux fils	35
3.3 Réseaux d'alimentation monophasés à trois fils	35
4 Impédances d'alimentation	36
4.1 Locaux résidentiels habituels	36
4.2 Locaux résidentiels, commerciaux et industriels légers de grande taille	38
4.2.1 Généralités	38
4.2.2 Impédance d'alimentation applicable à la connexion d'équipements électriques triphasés	39
4.2.3 Impédances d'alimentation applicables à la connexion d'équipements électriques monophasés	40
5 Impédances de référence	41
5.1 Généralités	41
5.2 Impédances de référence pour les équipements avec des courants assignés ≤ 16 A	41
5.2.1 Vue d'ensemble	41
5.2.2 Réseaux d'alimentation basse tension 50 Hz et 60 Hz	42
5.3 Impédance de référence pour les équipements 50 Hz et 60 Hz avec des courants assignés > 16 A et ≤ 75 A par phase	43
6 Impédance à des fréquences supérieures à la fréquence d'alimentation	44
Annexe A (informative) Méthodes de détermination des valeurs maximales du module des impédances de réseaux publics basse tension d'alimentation en électricité applicables aux services triphasés supérieurs à 100 A par phase à 50 Hz	45
Annexe B (informative) Méthodes de détermination des valeurs maximales du module des impédances de réseaux publics basse tension d'alimentation en électricité applicables aux services triphasés supérieurs à 100 A par phase à 60 Hz	53
Annexe C (informative) Mesure de l'impédance d'alimentation et méthode d'enquête	55
Bibliographie	58
Figure 1 – Représentation d'un réseau d'alimentation monophasé à trois fils	35
Figure A.1 – Modèle utilisé pour déterminer l'impédance d'un conducteur de phase de réseau entre un transformateur et un point de sectionnement de circuit triphasé	47
Figure A.2 – Schéma d'impédance triphasée d'un transformateur 500 kVA et d'un câble secteur typiques	48
Figure B.1 – Modèle utilisé pour déterminer l'impédance d'un conducteur de phase de réseau entre un transformateur et un point de sectionnement de circuit triphasé	53
Figure C.1 – Mesure de l'impédance aux locaux d'un consommateur	56
Tableau 1 – Impédances d'alimentation complexes des consommateurs résidentiels à 50 Hz	36
Tableau 2 – Capacités des dispositifs monophasés < 100 A par phase	37

Tableau 3 – Capacités utiles triphasées <100 A par phase	38
Tableau 4 – Capacités utiles monophasées ou biphasées ≥ 100 A par phase	39
Tableau 5 – Capacités utiles triphasées ≥ 100 A par phase	39
Tableau 6 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation, en ohms à 50 Hz, applicables à la connexion d'équipements triphasés et ayant 95 % de probabilité de ne pas être dépassées	40
Tableau 7 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation, en ohms à 50 Hz, applicables à la connexion d'équipements monophasés et ayant 95 % de probabilité de ne pas être dépassées	40
Tableau 8 – Impédances de référence pour les essais	42
Tableau 9 – Impédances de référence pour les réseaux d'alimentation de 100 V/200 V et 120 V/240 V, <100 A	43
Tableau 10 – Impédances de référence pour les réseaux d'alimentation de 200 V à 240 V, <100 A	43
Tableau 11 – Impédances de référence pour les réseaux d'alimentation de 200 V à 240 V, ≥ 100 A par phase	43
Tableau 12 – Impédances de référence pour les essais, pour les réseaux d'alimentation de 200 V à 240 V, ≥ 100 A	44
Tableau A.1 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation maximale, en ohms, des conducteurs de phase de réseaux publics d'alimentation en électricité 230 V/400 V, 50 Hz, applicables aux services triphasés ayant une capacité utile de 200 A par phase	50
Tableau A.2 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation maximale, en ohms, des conducteurs de phase et neutres de réseaux publics d'alimentation en électricité 230 V/400 V, 50 Hz, applicables aux services triphasés ayant une capacité utile de 200 A par phase	51
Tableau C.1 – Valeurs de l'impédance pour des câblages d'installation avec conducteurs en cuivre	57

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉTUDE DES IMPÉDANCES DE RÉFÉRENCE ET DES IMPÉDANCES DES RÉSEAUX PUBLICS D'ALIMENTATION AUX FINS DE LA DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DE PERTURBATION DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES UTILISANT UN COURANT NOMINAL ≤ 75 A PAR PHASE

AVANT-PROPOS

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

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI 60725, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 77A: CEM – Phénomènes basse fréquence, du comité technique 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique. Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 2005, et constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- une nouvelle enquête comparative et d'autres données en provenance de pays ayant des réseaux de distribution publique fonctionnant à 60 Hz ont été incluses;
- les recommandations qui étaient applicables aux systèmes à 50 Hz sont maintenant complétées par des recommandations équivalentes pour les systèmes à 60 Hz.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
77A/784/DTR	77A/789/RVC

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60725:2012

ÉTUDE DES IMPÉDANCES DE RÉFÉRENCE ET DES IMPÉDANCES DES RÉSEAUX PUBLICS D'ALIMENTATION AUX FINS DE LA DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DE PERTURBATION DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES UTILISANT UN COURANT NOMINAL ≤ 75 A PAR PHASE

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique comprend les informations disponibles et les facteurs pris en compte lors de l'établissement des impédances de référence intégrées dans la CEI 60555 et qui sont désormais intégrés dans certaines parties de la CEI 61000-3.

De plus, les informations fournies concernent les impédances des réseaux publics d'alimentation associés à des capacités utiles de courant ≥ 100 A par phase.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 61000-3-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-3: Limites – Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension, pour les matériels ayant un courant assigné ≤ 16 A par phase et non soumis à un raccordement conditionnel*

CEI 61000-3-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-11: Limites – Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et du papillotement dans les réseaux publics d'alimentation basse tension – Equipements ayant un courant appelé ≤ 75 A et soumis à un raccordement conditionnel*

CEI 61000-3-12, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-12: Limites – Limites pour les courants harmoniques produits par les appareils connectés aux réseaux publics basse tension ayant un courant appelé > 16 A et ≤ 75 A par phase*

3 Réseaux d'alimentation basse tension

3.1 Réseaux d'alimentation triphasés

Les réseaux d'alimentation triphasés à quatre fils sont utilisés partout dans le monde afin d'alimenter les consommateurs basse tension en tensions nominales proches de 230 V/400 V.

Par volonté de conformité avec les tensions normalisées de la CEI, ces réseaux sont décrits sous la forme de réseaux 230 V/400 V dans ce rapport.

Les méthodes de raccordements des réseaux d'alimentation des consommateurs individuels aux réseaux triphasés sont très diverses.

Dans certains pays, les quatre fils sont acheminés dans les locaux des consommateurs, autorisant l'utilisation de courants triphasés 400 V en cas de charge importante, les petits appareils et circuits d'éclairage étant connectés entre un fil de phase et un fil neutre avec une tension de 230 V.

Dans d'autres pays, trois fils sont acheminés dans les locaux des consommateurs, autorisant l'utilisation de courants 400 V sur deux phases en cas de charge importante, les petits appareils et circuits d'éclairage étant connectés entre un fil de phase et un fil neutre avec une tension de 230 V.

Dans d'autres pays, au rang desquels figure notamment le Royaume-Uni, il est inhabituel que plusieurs phases soient acheminées à l'intérieur des locaux d'un consommateur résidentiel particulier. Par conséquent, les charges importantes de moins de 15 kVA et les circuits d'éclairage sont alimentés entre un fil de phase et un fil neutre avec une tension de 230 V.

3.2 Réseaux d'alimentation monophasés à deux fils

Dans les zones rurales de la plupart des pays, il est courant de relier les bobines des transformateurs de distribution à deux phases du réseau moyenne tension et d'alimenter les consommateurs basse tension par le biais d'un conducteur de phase et d'un conducteur de retour de courant. Une large plage de tensions est associée à ce type de réseau d'alimentation.

En Corée, il existe de vastes réseaux alimentant des connexions monophasées à deux fils à 220 V.

3.3 Réseaux d'alimentation monophasés à trois fils

Dans certains pays, au rang desquels figurent notamment les États-Unis d'Amérique, on utilise un réseau de distribution monophasé à trois fils. Les charges importantes sont connectées aux fils extérieurs avec une tension de 240 V, tandis que les petits appareils et les circuits d'éclairage sont connectés entre un fil extérieur et le fil central avec une tension de 120 V, comme illustré à la Figure 1.

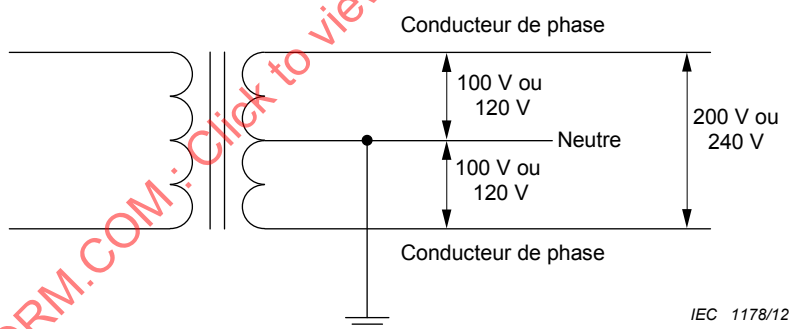


Figure 1 – Représentation d'un réseau d'alimentation monophasé à trois fils

En Amérique du Nord, les réseaux de distribution utilisent des transformateurs plus petits, chacun alimentant 4 à 8 consommateurs avec des longueurs de lignes secondaires (LV) plus courtes. Au Japon, les tensions d'alimentation nominales sont 100 V et 200 V.

Ces réseaux d'alimentation possèdent des impédances d'alimentation quelque peu différentes de celles des réseaux de distribution triphasés et sont susceptibles de nécessiter une impédance de référence différente pour soumettre à l'essai des équipements avec une tension assignée comprise entre 100 V et 125 V.

4 Impédances d'alimentation

4.1 Locaux résidentiels habituels

L'impédance du réseau d'alimentation associée à l'alimentation des locaux d'un consommateur résidentiel habituel est déterminée par la valeur moyenne de la consommation électrique maximale de tous les consommateurs connectés à un réseau typique et la chute de tension admissible en régime permanent à la charge maximale utilisée lors de la conception du réseau.

Les informations relatives à l'impédance du réseau d'alimentation ont été recueillies dans autant de pays que possible et sont présentées aux Tableaux 1 à 5. L'impédance à prendre en compte est l'impédance jusqu'au point de couplage commun avec les autres consommateurs. Dans de nombreux réseaux toutefois, plus particulièrement lorsque plusieurs appartements se trouvent dans un même immeuble, le point de couplage commun est proche du point de comptage. Par conséquent, les chiffres d'impédance obtenus intègrent généralement à la fois l'impédance du réseau d'alimentation et l'impédance du branchement d'électricité.

Les caractéristiques de l'impédance phase-neutre des réseaux d'alimentation triphasés, dans lesquels chaque consommateur est alimenté avec une tension de 230 V à 50 Hz, diffèrent considérablement d'un pays à l'autre. Un comparatif international des impédances d'alimentation complexes des consommateurs résidentiels pour des connexions monophasés à 50 Hz est présenté au Tableau 1.

Tableau 1 – Impédances d'alimentation complexes des consommateurs résidentiels à 50 Hz

Pays	Année à laquelle les données ont été fournies à la CEI	Pourcentage des consommateurs avec des impédances d'alimentation inférieures ou égales aux valeurs complexes, en Ω , énumérées			
		98 %	95 %	90 %	85 %
Australie	2011	$0,42 + j0,38$	$0,30 + j0,27$	$0,25 + j0,23$	$0,22 + j0,20$
Belgique	1980	–	$0,63 + j0,33$	$0,32 + j0,17$	$0,28 + j0,15$
France	1980	–	$0,55 + j0,34$	$0,45 + j0,25$	$0,34 + j0,21$
Allemagne	1980		$0,45 + j0,25$	$0,36 + j0,21$	$0,31 + j0,17$
Irlande ^a	1980	$1,47 + j0,64$	$1,26 + j0,60$	$1,03 + j0,55$	$0,94 + j0,43$
Italie	1980	–	$0,59 + j0,32$	$0,48 + j0,26$	$0,44 + j0,24$
Pays-Bas	1980	–	$0,70 + j0,25$	$0,41 + j0,21$	$0,32 + j0,17$
Suisse	1980	–	$0,60 + j0,36$	$0,42 + j0,25$	$0,30 + j0,18$
Royaume-Uni	1980	$0,46 + j0,45$	–	$0,25 + j0,23$	–
URSS	1980	–	$0,63 + j0,30$	$0,50 + j0,26$	–
NOTE Le Tableau 1 présente l'impédance phase-neutre pour les réseaux monophasés.					
^a Les impédances d'alimentation des consommateurs résidentiels en Pologne sont similaires à celles en Irlande.					

Depuis 1981, lorsque le comparatif des impédances a été publié sous la forme du Tableau 1, un développement et un renforcement naturels des réseaux publics d'alimentation ont été constatés et les valeurs de 1980 dans la colonne 90 %, sur lesquelles reposent les impédances de référence pour les réseaux d'alimentation de consommateurs résidentiels, sont désormais plus fréquemment constatées dans la colonne 95 %, car les impédances d'alimentation ont été globalement réduites.

Tableau 3 – Capacités utiles triphasées <100 A par phase

Pays	Connexions V	Pourcentage des consommateurs avec des impédances d'alimentation inférieures ou égales aux valeurs complexes, en Ω , énumérées				Remarques
		98 %	95 %	90 %	85 %	
Canada	120 /208	TBD	0,07+j0,04	TBD	TBD	Enquête/Calcul publication CIRED
USA	277 /480	Aucune donnée		0,10+j0,06		Estimation/enquête
Mexique ^a	277 /480		0,11+j0,09			
Corée	220 /380	0,30+j0,20	0,29+j0,18	0,26+j0,16	0,22+j0,15	Enquête
Japon	200	Aucune donnée	0,38+j0,18			Enquête/Estimation par le calcul basée sur JIS-C CEI 61000-3-2
NOTE 1 Les chiffres pour les États-Unis sont au 90ème centile. NOTE 2 Toutes les références aux données de Corée se rapportent à des données provenant de Corée du Sud. NOTE 3 Les données provenant de Corée proviennent de réseaux ruraux et urbains. NOTE 4 La grande différence au niveau des topographies de réseaux dans les pays à 60 Hz signifie qu'il est impossible de fournir une seule impédance de référence pour les pays à 60 Hz. NOTE 5 TBD (à obtenir). ^a Les valeurs pour le Mexique sont énumérées sous le 95ème centile cependant le Mexique s'emploie à ce que 100 % des valeurs d'impédance d'alimentation soient égales ou inférieures aux valeurs spécifiées.						

4.2 Locaux résidentiels, commerciaux et industriels légers de grande taille

4.2.1 Généralités

Les locaux envisagés dans ce paragraphe disposent d'une capacité utile de courant égale ou supérieure à 100 A par phase.

Une hausse du nombre de demandes d'informations transmises par les consommateurs et leurs agents aux exploitants de réseaux de distribution concernant l'impédance des réseaux aux bornes de leur réseau d'alimentation est prévisible suite à la publication de la CEI 61000-3-11 et de la procédure de raccordement conditionnel du matériel qu'elle promulgue.

Afin d'aider les sociétés d'exploitation de réseaux de distribution du monde entier à déterminer une valeur réelle de l'impédance de l'alimentation dans les locaux d'un consommateur spécifique et d'aider les fabricants à évaluer le caractère commercial de leurs produits dans des pays spécifiques du monde entier, une approche fondamentale de la détermination d'une impédance maximale de l'alimentation a été développée et est fournie dans l'Annexe A.

Les valeurs suivantes d'impédance de l'alimentation ont été obtenues en appliquant la méthode fournie dans l'Annexe A, sur la base des suppositions suivantes:

- le transformateur de distribution possède une puissance assignée de 500 kVA, une régulation de tension de 3 % ou une réactance de 2,68 %.

- b) il existe une probabilité de réalisation de 95 %, c'est-à-dire qu'il est probable que 5 % des consommateurs constatent une impédance du réseau d'alimentation supérieure à la valeur prévue.

Si nécessaire, ces impédances d'alimentation, ou les impédances maximales de l'alimentation, énumérées à l'Annexe A aux Tableaux A.1 et A.2, peuvent être modifiées afin de représenter des réseaux publics d'alimentation nationaux ou particuliers, conformément à l'Article A.5.

Les données relatives à l'impédance pour les réseaux d'alimentation résidentiels, basées sur les études et enquêtes récentes effectuées dans des pays avec des systèmes différents de 230 V/400 V, sont récapitulées aux Tableaux suivants.

Tableau 4 – Capacités utiles monophasées ou biphasées ≥ 100 A par phase

Pays	Connexions V	Pourcentage des consommateurs avec des impédances d'alimentation inférieures ou égales aux valeurs complexes, en Ω , énumérées				Remarques
		98 %	95 %	90 %	85 %	
Canada	347	TBD	0,58+j0,11	TBD	TBD	Enquête/Calcul
USA	480	Aucune donnée	Aucune donnée	0,10+j0,06		Estimation/Enquête
Corée	220	0,32+j0,14	0,29+j0,12	0,27+j0,11	0,22+j0,09	Enquête
Japon		Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	
TBD = à obtenir.						

Tableau 5 – Capacités utiles triphasées ≥ 100 A par phase

Pays	Connexions V	Pourcentage des consommateurs avec des impédances d'alimentation inférieures ou égales aux valeurs complexes énumérées				Remarques
		98 %	95 %	90 %	85 %	
Canada	600	TBD	0,39+j0,07	TBD	TBD	Enquête/Calcul publication CIRED
USA	480	Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	
Corée	380	0,27+j0,21	0,24+j0,19	0,21+j0,17	0,20+j0,17	Enquête
Japon	–	–	–	–	–	Non applicable
TBD = à obtenir.						

4.2.2 Impédance d'alimentation applicable à la connexion d'équipements électriques triphasés

Le Tableau 6 contient, conformément aux suppositions énoncées en 4.2, les valeurs du module, en ohms, de l'impédance de l'alimentation des conducteurs de phase des réseaux publics d'alimentation en électricité 230 V/400 V, 50 Hz applicables aux services triphasés, les différentes plages de tensions légales déclarées aux consommateurs, et les capacités utiles en utilisation commune.

Tableau 6 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation, en ohms à 50 Hz, applicables à la connexion d'équipements triphasés et ayant 95 % de probabilité de ne pas être dépassées

Plage de tensions déclarée %	Capacité utile en ampères par phase				
	150 A	200 A	300 A	400 A	600 A
8	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02
9	0,10	0,07	0,05	0,04	0,03
10	0,11	0,08	0,05	0,04	0,03
11	0,12	0,09	0,06	0,05	0,03
12	0,14	0,10	0,07	0,05	0,03
13	0,15	0,11	0,08	0,06	0,04
14	0,17	0,13	0,08	0,07	0,04
15	0,18	0,14	0,09	0,07	0,05
16	0,20	0,15	0,10	0,08	0,05
17	0,21	0,16	0,10	0,08	0,05
18	0,22	0,17	0,11	0,09	0,06
19	0,24	0,18	0,12	0,09	0,06
20	0,25	0,19	0,13	0,10	0,06

4.2.3 Impédances d'alimentation applicables à la connexion d'équipements électriques monophasés

Le Tableau 7 contient, conformément aux suppositions énoncées en 4.2, les valeurs du module, en ohms, de l'impédance de l'alimentation des conducteurs phase-neutre des réseaux publics d'alimentation en électricité 230 V/400 V, 50 Hz applicables à la connexion d'équipements monophasés à des services triphasés à 4 fils.

Tableau 7 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation, en ohms à 50 Hz, applicables à la connexion d'équipements monophasés et ayant 95 % de probabilité de ne pas être dépassées

Plage de tensions déclarée %	Capacité utile en ampères par phase				
	150 A	200 A	300 A	400 A	600 A
8	0,13	0,10	0,06	0,05	0,03
9	0,15	0,12	0,08	0,06	0,04
10	0,18	0,13	0,09	0,07	0,04
11	0,20	0,15	0,10	0,08	0,05
12	0,23	0,17	0,11	0,08	0,06
13	0,25	0,19	0,12	0,09	0,06
14	0,27	0,20	0,14	0,10	0,07
15	0,30	0,22	0,15	0,11	0,07
16	0,32	0,24	0,16	0,12	0,08
17	0,34	0,26	0,17	0,13	0,09
18	0,37	0,28	0,18	0,14	0,09
19	0,39	0,29	0,20	0,15	0,10
20	0,42	0,31	0,21	0,16	0,10

5 Impédances de référence

5.1 Généralités

Des valeurs d'impédances de référence appropriées aux réseaux publics d'alimentation basse tension sont fournies dans les paragraphes suivants; certaines sont des valeurs préalablement établies dans la CEI 61000-3-3 et la CEI 61000-3-11, tandis que d'autres, appartenant aux réseaux d'alimentation de 60 Hz, sont des valeurs recommandées.

Il convient de bien comprendre qu'il est impossible de définir une seule impédance de référence applicable à toutes les régions du monde, en raison de tensions d'alimentation et de réseaux de distribution différents.

5.2 Impédances de référence pour les équipements avec des courants assignés ≤ 16 A

5.2.1 Vue d'ensemble

Les équipements ayant des courants assignés ≤ 16 A sont surtout connectés dans des locaux ayant des capacités utiles de courant inférieures à 100 A par phase. De tels locaux se trouvent principalement dans les zones d'alimentation résidentielles, soumises initialement à l'enquête de 1980 effectuée en Europe, tandis que d'autres enquêtes ont été effectuées plus récemment. Les impédances de référence relatives à la connexion des équipements ayant des courants assignés ≤ 16 A sont donc obtenues à partir des valeurs présentées au Tableau 1.

Il convient que les impédances de référence soient représentatives des impédances des réseaux existants et présentent des valeurs pouvant être utilisées afin d'évaluer les émissions d'équipements par rapport aux limites de tension, dans le but d'assurer que la connexion d'équipements à un réseau public d'alimentation n'entraîne aucune perturbation ou distorsion indésirable de la tension.

Il ne s'est pas avéré possible de trouver une manière automatique et logique de rapporter l'impédance de référence à la plage d'impédances du réseau. Il a été admis que le fait de déclarer que 10 % des consommateurs présentaient des impédances d'alimentation supérieures à une valeur donnée n'impliquait pas que 10 % des consommateurs rencontreraient une gêne. Un consommateur situé à l'extrémité lointaine d'une ligne occasionne moins de perturbations (dus à une fluctuation ou une distorsion harmonique de la tension) aux consommateurs proches de la source qu'à son voisin direct.

Les divergences d'opinions relatives à l'utilisation d'une impédance de référence unique peuvent être récapitulées comme suit:

- a) certains pays possédant des réseaux à impédance élevée n'estiment pas qu'il soit économiquement possible de renforcer leurs réseaux;
- b) certains pays possédant des réseaux à impédance élevée n'ont aucune raison de renforcer leurs réseaux, car ils disposent de sources d'énergie alternatives pour leurs appareils de cuisson et de chauffage;
- c) certains pays ne se préoccupent pas de la commutation de charges importantes à 230 V, car ils connectent des appareils puissants à deux ou trois phases à 400 V.

Les valeurs présentées dans les paragraphes suivants ont été choisies en tant qu'impédances de référence et tiennent compte de l'expérience associée à l'utilisation d'appareils existants sur les réseaux existants, ainsi que des valeurs du comparatif des impédances de réseaux présentées dans les Tableaux 1, 2, 3, 4 et 5.

5.2.2 Réseaux d'alimentation basse tension 50 Hz et 60 Hz

5.2.2.1 Réseaux d'alimentation 230 V/400 V triphasés à quatre fils avec des capacités utiles <100 A

L'adoption des impédances de référence suivantes, Z_{ref} , pour les essais est recommandée, voir le Tableau 8.

Tableau 8 – Impédances de référence pour les essais

Conducteur	Impédances Ω
Conducteur de phase	$0,24 + j0,15$
Conducteur neutre	$0,16 + j0,10$
Total	$0,40 + j0,25$

NOTE En Corée, il existe des réseaux d'alimentation basse tension 220 V/380 V triphasés à quatre fils.

5.2.2.2 Réseaux 230 V monophasés à deux fils avec des capacités utiles <100 A

Dans cette catégorie de réseaux d'alimentation, l'Irlande possède un réseau sur lequel un pourcentage élevé de consommateurs constatent une impédance de l'alimentation supérieure à $(0,4 + j0,25) \Omega$. L'Italie et la Pologne possèdent également une vaste proportion de réseaux ruraux présentant une impédance de l'alimentation relativement élevée. Au Royaume-Uni, l'alimentation en électricité de seulement 2 % environ des consommateurs excède $(0,4 + j0,25) \Omega$.

Une valeur d'impédance de référence unique de $(0,4 + j0,25) \Omega$ (phase-neutre) a été adoptée, et présente les avantages suivants:

- cette valeur fournit des conditions limites identiques pour les appareils fabriqués en vue d'une utilisation dans tous les pays;
- elle est conforme à la décision selon laquelle il convient qu'une impédance de référence unique soit utilisée aux fins de l'évaluation d'émissions provenant d'équipements ayant un courant assigné ≤ 16 A par phase;
- elle simplifie les procédures des laboratoires d'essai;
- l'expérience démontre que la plupart des appareils déjà connectés aux réseaux publics d'alimentation sont conformes aux limites reposant sur cette impédance (avec quelques exceptions, toutefois);
- elle simplifie l'établissement de limites.

Le choix d'une impédance unique comporte également des inconvénients, notamment:

- bien que les conditions sur les réseaux ayant une impédance relativement élevée soient normalement acceptables à l'heure actuelle, cela peut ne pas être le cas si des équipements destinés à être utilisés simultanément en grand nombre ont été conçus pour produire les valeurs maximales de fluctuation de la tension prévues;
- les équipements formant partie d'un appareil plus important, utilisés uniquement pour de courtes périodes et réputés acceptables, seraient interdits.

Les équipements ayant un courant assigné ≤ 16 A non conformes aux limites de tension de la CEI 61000-3-3 lors d'essais avec l'impédance de référence peuvent être de nouveau soumis à l'essai ou évalués afin de démontrer leur conformité à la CEI 61000-3-11. La CEI 61000-3-11 s'applique aux équipements ayant un courant assigné ≤ 75 A par phase, et autorise le raccordement conditionnel d'équipements par une société d'exploitation de réseaux publics de distribution.

5.2.2.3 Réseaux d'alimentation 100 V/200 V et 120 V/240 V monophasés et à trois fils avec des capacités utiles <100 A

Les impédances de référence recommandées pour les réseaux d'alimentation monophasés à trois fils 50 Hz et 60 Hz, voir Figure 1, avec des tensions nominales comprises entre 100 V et 120 V sont données au Tableau 9.

Tableau 9 – Impédances de référence pour les réseaux d'alimentation de 100 V/200 V et 120 V/240 V, <100 A

Conducteur	Impédances Ω
Conducteur de phase	0,209 + j0,103
Conducteur neutre	0,143 + j0,025
Total	0,35 + j0,13
Cette impédance est basée sur les données des Etats-Unis, du Canada et du Japon.	

Les impédances de référence recommandées pour les réseaux d'alimentation monophasés à trois fils 50 Hz et 60 Hz, voir Figure 1, avec des tensions nominales comprises entre 200 V et 240 V avec des capacités utiles <100 A sont données dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Impédances de référence pour les réseaux d'alimentation de 200 V à 240 V, <100 A

Conducteur	Impédances Ω
Conducteur de phase	0,209 + j0,103
Conducteur de retour de phase	0,209 + j0,103
Total	0,42 + j0,21
Cette impédance est basée sur les données des États-Unis, du Canada et du Japon.	

5.2.2.4 Réseaux d'alimentation triphasés à quatre fils avec des capacités utiles ≥ 100 A par phase

Pour les réseaux d'alimentation monophasés 50 Hz et 60 Hz avec des tensions nominales comprises entre 200 V et 240 V et des capacités utiles ≥ 100 A par phase, les impédances de référence recommandées sont données au Tableau 11.

Tableau 11 – Impédances de référence pour les réseaux d'alimentation de 200 V à 240 V, ≥ 100 A par phase

Conducteur	Impédances Ω
Conducteur de phase	0,15 + j0,15
Conducteur neutre	0,10 + j0,10
Total	0,25 + j0,25

5.3 Impédance de référence pour les équipements 50 Hz et 60 Hz avec des courants assignés >16 A et ≤ 75 A par phase

Les équipements avec un courant assigné de ≤ 75 A par phase sont largement utilisés dans les locaux commerciaux et industriels, mais moins dans les locaux résidentiels.

Les valeurs d'impédance des réseaux d'alimentation 50 Hz pour une plage de capacités utiles supérieures sont fournies aux Tableaux 6 et 7.

Pour les équipements avec un courant assigné ≤ 75 A et destinés à n'être utilisés que dans les locaux avec une capacité de service < 100 A par phase (avec la tension monophasée comprise entre 200 V et 240 V) il est recommandé que les impédances de référence d'essai, Z_{test} , de 5.2.2.1 soient adoptées.

Pour les équipements avec un courant assigné de ≤ 75 A et destinés à n'être utilisés que dans les locaux avec une capacité utile ≥ 100 A par phase (avec la tension monophasée comprise entre 200 V et 240 V), il est recommandé que les impédances de référence d'essai, Z_{test} , présentées au Tableau 12 soient adoptées.

Tableau 12 – Impédances de référence pour les essais, pour les réseaux d'alimentation de 200 V à 240 V, ≥ 100 A

Conducteur	Impédances Ω
Conducteur de phase	$0,15 + j0,15$
Conducteur neutre	$0,10 + j0,10$
Total	$0,25 + j0,25$
NOTE Les valeurs d'impédance ci-dessus sont recommandées pour les essais conformément à la CEI 61000-3-11 sur les équipements avec des courants assignés > 20 A en valeur efficace. Les équipements avec des courants assignés supérieurs à 19 A par définition dépassent la limite α_c de 3,3 % et nécessitent donc une impédance de réseaux inférieure à la Z_{ref} indiquée dans le Tableau 8.	

6 Impédance à des fréquences supérieures à la fréquence d'alimentation

Les considérations théoriques suggèrent qu'une résonance entre les condensateurs de correction du facteur de puissance et l'inductance du réseau est possible à des fréquences harmoniques; toutefois, ce phénomène n'a été observé que dans quelques cas. Pour cette raison, il est recommandé qu'aux fins de l'évaluation d'émissions harmoniques, l'impédance de référence soit envisagée comme étant purement résistive et inductive.

Les valeurs d'impédances d'alimentation présentées dans ce rapport peuvent être utilisées pour déterminer la puissance de court-circuit minimale à la fréquence fondamentale utilisée dans la CEI 61000-3-12 qui définit les limites d'harmoniques applicables aux équipements.

Annexe A (informative)

Méthodes de détermination des valeurs maximales du module des impédances de réseaux publics basse tension d'alimentation en électricité applicables aux services triphasés supérieurs à 100 A par phase à 50 Hz

A.1 Application de ce Rapport Technique

Le corps de ce Rapport Technique a été publié en 1981, dans le but de faciliter la connexion d'équipements résidentiels aux réseaux publics basse tension d'alimentation en fournissant des impédances de référence d'essai utilisables avec les normes relatives aux émissions énoncées dans la CEI 60555.

Toutefois, lorsque les normes de la CEI 60555 ont été converties en normes CEI 61000-3 en 1995, les domaines d'application ont été modifiés afin d'inclure la plupart des équipements ayant un courant assigné inférieur ou égal à 16 A. Cette modification signifiait que les équipements destinés à une utilisation dans des locaux commerciaux, industriels légers et industriels, précédemment considérés comme des équipements professionnels, devaient être conformes aux limites d'émissions pour les harmoniques et les fluctuations de tension.

Les fabricants conçoivent et soumettent maintenant à l'essai leurs équipements conformément aux nouvelles normes, car de nombreux équipements modernes sont utilisés dans tous les environnements. Les équipements modernes incluent par exemple des postes de télévision à grand écran, des ordinateurs personnels, des photocopieuses, des unités de climatisation et du matériel à jet d'eau à haute pression.

Le but de cette annexe consiste à développer les informations relatives aux impédances d'alimentation fournies par les autorités chargées de l'alimentation aux capacités utiles supérieures à 100 A par phase, et à faciliter ainsi l'évaluation d'équipements destinés à être connectés à une alimentation spécifique et à former une base de connaissances commune pouvant être utilisée par les fabricants d'équipements dans le cadre de discussions relatives à la commercialisation de leurs produits avec les autorités chargées de l'alimentation au niveau national.

En raison de l'immense diversité des tensions d'alimentation légales dans le monde, des variations admissibles et des spécifications utilisées par les autorités chargées de l'alimentation pour les centrales électriques des réseaux et les équipements, un comparatif statistique visant à déterminer les impédances d'alimentation applicables à des capacités utiles particulières s'avérerait extrêmement coûteux, et les résultats en seraient trop spécifiques.

Les demandes de consommateurs en termes d'équipements dotés de performances optimisées ont eu pour effet d'accroître les puissances assignées des équipements, et les fabricants éprouvent des difficultés à se conformer aux limites de fluctuation de la tension définies dans la CEI 61000-3-3, en particulier. Une solution aux problèmes des fabricants a été trouvée avec la publication de la CEI 61000-3-11, qui comprend un domaine d'application recouvrant en partie celui de la CEI 61000-3-3.

La CEI 61000-3-11 s'applique aux équipements dont le courant assigné est inférieur ou égal à 75 A, et soumis à un raccordement conditionnel, et permet aux fabricants dont les équipements ne sont pas conformes aux limites de la CEI 61000-3-3, lorsqu'ils sont soumis à des essais avec l'impédance de référence Z_{ref} , de resoumettre à l'essai les équipements avec une impédance de référence d'essai variable; ils peuvent ainsi:

- a) soit déterminer l'impédance maximale admissible du réseau $Z_{\max}$ au point d'interface de l'alimentation de l'utilisateur, ce qui procure une conformité aux limites de la norme, la déclarer dans le manuel d'instructions de l'équipement et indiquer à l'utilisateur de déterminer, si nécessaire en consultation avec l'autorité chargée de l'alimentation, si l'équipement est connecté à une alimentation ayant cette impédance ou une impédance inférieure, soit
- b) soumettre à l'essai les équipements monophasés avec une impédance d'essai de $(0,25 + j0,25) \Omega$ et soumettre à l'essai les équipements triphasés avec une impédance d'essai de ligne de $(0,15 + j0,15) \Omega$ et une impédance d'essai neutre de $(0,1 + j0,1) \Omega$. Si l'équipement est conforme aux limites définies dans la norme, le fabricant doit déclarer, dans le manuel de l'utilisateur de l'équipement, que l'équipement est uniquement destiné à une utilisation dans les locaux ayant une capacité utile de courant égale ou supérieure à 100 A par phase, fournie par un réseau de distribution ayant une tension nominale de 400 V/230 V, et doit indiquer à l'utilisateur de déterminer, si nécessaire en consultation avec l'autorité chargée de l'alimentation, si la capacité utile de courant au point d'interface est suffisante pour l'équipement.

L'équipement doit être clairement désigné comme étant uniquement adapté à une utilisation dans des locaux disposant d'une capacité utile de courant égale ou supérieure à 100 A par phase.

Pour les options a) et b), si la capacité d'alimentation, la capacité utile de courant et/ou l'impédance réelle du réseau au point de sectionnement du circuit du local dans lequel doit être utilisé l'équipement ont été déclarées ou mesurées par l'utilisateur ou l'installateur de l'équipement, ces informations peuvent être utilisées dans le but d'évaluer l'adéquation des équipements sans consultation de l'autorité chargée de l'alimentation.

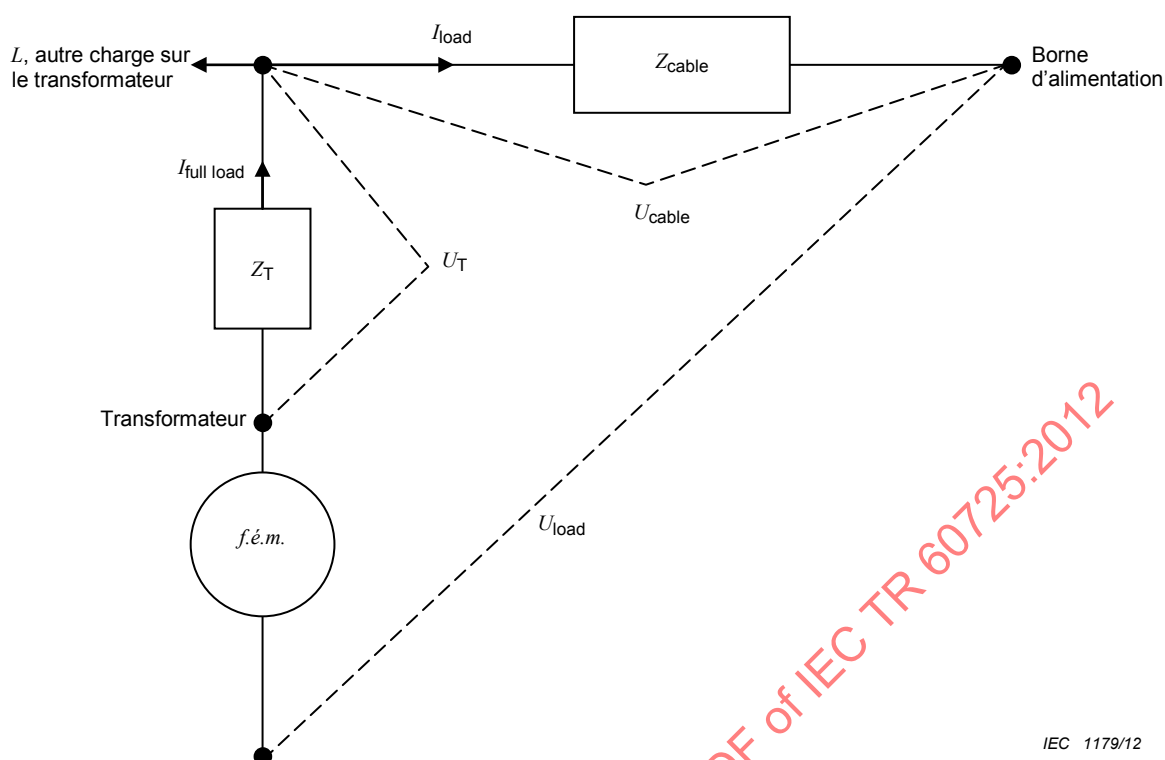
Par conséquent, cette annexe présente les données relatives aux impédances sous une forme permettant aux autorités chargées de l'alimentation dans le monde entier de déterminer les valeurs adéquates spécifiques à la construction de leurs réseaux d'alimentation et leurs obligations légales. Les valeurs de l'impédance sont calculées en envisageant un modèle basique de transformateur 500 kVA alimentant un réseau de distribution public 400 V/230 V, 50 Hz, triphasé, qui alimente à son tour un service ayant une capacité déclarée de 200 A par phase.

A.2 Modèle de réseau adapté aux réseaux publics basse tension d'alimentation en électricité

Le modèle fondamental utilisé pour déterminer l'impédance d'une alimentation depuis un réseau public d'électricité est monophasé et utilise une tension déclarée U_{dec} avec une plage de variation de tension déclarée. Pour cet exemple, les descriptions suivantes seront utilisées: ΔU_{range} , exprimée sous forme d'un pourcentage de U_{dec} et constituée d'une limite de tension supérieure, ΔU_{up} , et d'une limite de tension inférieure, ΔU_{down} , toutes deux exprimées sous forme d'un pourcentage de U_{dec} .

Le modèle monophasé est représenté à la Figure A.1 et est constitué des éléments suivants:

- a) un transformateur, T, ayant une *f.é.m.* égale à la tension maximale admissible, c'est-à-dire $U_{\text{dec}} (1 + \Delta U_{\text{up}}/100)$, une régulation de la tension U_{reg} sur l'ensemble de la plage s'étendant d'une charge nulle à la pleine charge exprimée sous forme d'un pourcentage de U_{dec} , une impédance Z_T , et un courant assigné à pleine charge $I_{\text{full load}}$,
- b) la charge du réseau, L, connectée directement au transformateur qui, associée à la capacité utile envisagée, est égale à la capacité du transformateur,
- c) un câble de distribution et une ligne de service ayant une impédance associée de $Z_{\text{câble}}$, et une charge utile de I_{load} ampères par phase, égale à la capacité utile déclarée.
- d) U_{load} est la tension à la charge reliée à la borne du réseau d'alimentation.



IEC 1179/12

Légende

f.é.m. force électromotrice

Figure A.1 – Modèle utilisé pour déterminer l'impédance d'un conducteur de phase de réseau entre un transformateur et un point de sectionnement de circuit triphasé

La tension, U_{cable} , sur Z_{cable} est obtenue par

$$U_{\text{cable}} = f.é.m. - U_T - U_{\text{load}}$$

NOTE Il s'agit d'une formule simplifiée dans laquelle il est supposé que le facteur de puissance de la charge et le facteur de puissance du réseau sont égaux.

$$= U_{\text{dec}} (1 + \Delta U_{\text{up}}/100) - U_{\text{reg}}/100 \cdot U_{\text{dec}} (1 + \Delta U_{\text{up}}/100) - U_{\text{dec}} (1 - \Delta U_{\text{down}}/100)$$

$$= \Delta U_{\text{range}}/100 \cdot U_{\text{dec}} - U_{\text{reg}}/100 \cdot (1 + \Delta U_{\text{up}}/100) \cdot U_{\text{dec}}$$

$$U_{\text{cable}} = \frac{U_{\text{dec}}}{100} \left[\Delta U_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{\Delta U_{\text{up}}}{100} \right) \right] \quad (\text{A.1})$$

La valeur du module de Z_{cable} est obtenue en divisant U_{cable} par la capacité du courant de phase au point de sectionnement, qui est également I_{load} .

Une valeur complexe de Z_{cable} peut être obtenue à partir de la valeur du module en appliquant le rapport d'impédance des composantes de l'impédance de ligne des câbles couramment utilisés; voir l'Article A.3, où le rapport R/Z de 0,877 est appliqué aux câbles. L'ajout du vecteur Z_T à Z_{cable} produit l'impédance du conducteur de phase du réseau. A condition que le facteur de puissance de la charge supposée soit proche de, et avec une valeur supérieure à 0,9, cette méthode permet d'obtenir des résultats raisonnablement précis.