

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 60725

Deuxième édition
Second edition
2005-05

**Etude 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**

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 60725:2005

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Service clients

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- IEC Just Published

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

- Customer Service Centre

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

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

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 60725

Deuxième édition
Second edition
2005-05

**Etude 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**

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

© IEC 2005 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Réseaux d'alimentation	8
4 Impédances de réseaux	10
5 Impédances de référence	16
6 Impédance harmonique	20
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	22
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	40
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	26
Figure A.2 – Schéma d'impédance triphasée d'un transformateur 500 kVA et d'un câble secteur typiques	28
Tableau 1 – Comparatif international de 1980 des impédances d'alimentation complexes de consommateurs résidentiels, en ohms, pour les connexions monophasées à 50 Hz	12
Tableau 2 – 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	14
Tableau 3 – 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	16
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 230/400 V, 50 Hz, applicables aux services triphasés ayant une capacité utile de 200 A par phase	34
Tableau A.2 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation maximale, en ohms, des conducteurs de phase et neutre de réseaux publics d'alimentation en électricité 230/400 V, 50 Hz, applicables aux services triphasés ayant une capacité utile de 200 A par phase	34

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Systems of supply	9
4 Supply impedances	11
5 Reference impedances	17
6 Harmonic impedance.....	21
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.....	23
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.....	41
Figure A.1 – Model used for determining the impedance of a network line conductor from a transformer to a three-phase service cut-out.....	27
Figure A.2 – The three-phase impedance diagram of a typical 500 kVA transformer and mains cable.....	29
Table 1 – 1980 International survey of residential consumers' complex supply impedances, in ohms, for single-phase connections at 50 Hz.....	13
Table 2 – 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.....	15
Table 3 – 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.....	17
Table A.1 – The modulus values of the maximum supply impedance, in ohms, of the line-conductors of 230/400 V, 50 Hz, public electricity supply networks, relevant to three-phase services having service capacities of 200 A per phase	35
Table A.2 – The modulus values of the maximum supply impedance, in ohms, of the line and neutral conductors of 230/400 V, 50 Hz, public electricity supply networks, relevant to three-phase services having service capacities of 200 A per phase	35

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La 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: Phénomènes basse fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1981. Cette seconde édition constitue une révision technique dans laquelle le changement principal est la définition d'une méthode d'évaluation de la valeur de l'impédance triphasée de façon à appliquer plus facilement la CEI 61000-3-11.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CONSIDERATION OF REFERENCE IMPEDANCES AND PUBLIC SUPPLY NETWORK IMPEDANCES FOR USE IN DETERMINING DISTURBANCE CHARACTERISTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT HAVING A RATED CURRENT $\leq 75\text{A}$ 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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: Low frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1981. This second edition constitutes a technical revision in which the major change is the definition of a method to assess the 3 phase-impedance value in order to apply more easily IEC 61000-3-11.

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

DTR	Rapport de vote
77A/460/DTR	77A/485/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 maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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

DTR	Report on voting
77A/460/DTR	77A/485/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 maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

Ce rapport technique consigne les informations disponibles et les facteurs pris en compte lors du calcul des impédances de référence énoncées dans la CEI 60555¹⁾, désormais intégrés à certaines sections de la CEI 61000-3.

De plus, les informations fournies concernent les impédances des réseaux publics de distribution associés à des courants de service ayant une capacité ≥ 100 A par phase.

2 Références normatives

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

CEI 61000-3-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 3: Limitation des fluctuations de flicker et du papillotement dans les réseaux basse tension pour les équipements ayant un courant appelé ≤ 16 A*²⁾
Amendement 1 (2001)

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

3.1 Réseaux d'alimentation triphasés

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

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

1) CEI 60555 (toutes les parties), *Perturbations produites dans les réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et les équipements analogues* (retirée)

2) Une édition consolidée 1.1 (2002) existe, qui comprend la CEI 61000-3-3:1994 et son Amendement 1 (2001). Cette édition porte le titre *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3: Limites – Section 3: 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*

CONSIDERATION OF REFERENCE IMPEDANCES AND PUBLIC SUPPLY NETWORK IMPEDANCES FOR USE IN DETERMINING 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 formerly incorporated in IEC 60555 ¹⁾, but which are now incorporated into some sections 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 referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61000-3-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A* ²⁾

Amendment 1 (2001)

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 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 230/400 V.

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

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

2) A consolidated edition 1.1 (2002) exists, including IEC 61000-3-3:1994 and its Amendment 1 (2001). It has been published under the title of *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*

La méthode de raccordement 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 sur 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 sur 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'éclairages sont alimentés par les fils de phase et neutre avec une tension de 230 V.

3.2 Réseaux d'alimentation monophasés

Dans certains pays, au rang desquels figurent notamment les États-Unis d'Amérique et le Japon, on utilise un réseau de distribution monophasé à trois fils. Les charges importantes sont connectées aux fils extérieurs avec une tension de 230 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 115 V. Cela entraîne des impédances d'alimentation qui diffèrent significativement de celles relevées sur les réseaux de distribution triphasés, et peut nécessiter l'utilisation d'impédances de référence différentes.

Les valeurs recommandées des impédances de référence préconisées pour les réseaux de distribution monophasés à trois fils et tous les réseaux fonctionnant à une fréquence fondamentale de 60 Hz ne sont pas fournies dans ce document; ce sujet fera l'objet d'études ultérieures lorsqu'une quantité suffisante d'informations techniques aura été publiée par les pays exploitant de tels réseaux.

4 Impédances de réseaux

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 utilisée lors de la conception du réseau.

Les informations relatives à l'impédance du réseau d'alimentation ont été collectées dans autant de pays que possible, et sont présentées dans le Tableau 1. L'impédance devant être prise 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, comme représenté au Tableau 1.

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. Consequently both large loads less than 15 kVA and lighting circuits are supplied between line and neutral at 230 V.

3.2 Single-phase supply systems

In some countries, of which the United States of America and Japan are examples, a single-phase, three-wire distribution is used. Large loads are connected across the outer wires at 230 V whilst small appliances and lighting circuits are connected between one outer and the centre wire at 115 V. This leads to quite different supply impedances from those of three-phase distribution systems and may require different reference impedances.

Recommended values of reference impedances appropriate to single-phase three-wire distribution systems and all systems operating at a fundamental frequency of 60 Hz, are not provided in this document; this subject is to receive further study when sufficient technical information is released by countries operating such systems.

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 Table 1. 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 included 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 as shown in Table 1.

Tableau 1 – Comparatif international de 1980 des impédances d'alimentation complexes de consommateurs résidentiels, en ohms, pour les connexions monophasées à 50 Hz

Pays	Pourcentage de consommateurs ayant des impédances d'alimentation égales ou inférieures aux valeurs complexes fournies			
	98 %	95 %	90 %	85 %
Belgique	–	0,63 + j0,33	0,32 + j0,17	0,28 + j0,15
France	–	0,55 + j0,34	0,45 + j0,25	0,34 + j0,21
Allemagne	–	0,45 + j0,25	0,36 + j0,21	0,31 + j0,17
Irlande ^a	1,47 + j0,64	1,26 + j0,60	1,03 + j0,55	0,94 + j0,43
Italie	–	0,59 + j0,32	0,48 + j0,26	0,44 + j0,24
Pays-Bas	–	0,70 + j0,25	0,41 + j0,21	0,32 + j0,17
Suisse	–	0,60 + j0,36	0,42 + j0,25	0,30 + j0,18
Royaume-Uni	0,46 + j0,45	–	0,25 + j0,23	–
URSS	–	0,63 + j0,30	0,50 + j0,26	–

^a Les impédances des réseaux d'alimentation des consommateurs résidentiels en Pologne sont similaires à celles relevées 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 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.

L'Agence Coréenne pour la Technologie et la Normalisation a effectué une enquête nationale sur les impédances des réseaux Basse Tension 60 Hz, 380/220 V en mars 2004 et a fourni les informations suivantes concernant les valeurs d'impédance, avec une probabilité de 95 % en République de Corée:

- monophasé, deux fils 220 V, capacité de service < 100 A par phase, (0,67 + j0,37) Ω;
- triphasé, quatre fils 380 V, capacité de service < 100 A par phase, (0,33 + j0,20) Ω.

4.2 Locaux résidentiels, commerciaux et industriels légers de grande taille

Les locaux envisagés dans cet article disposent d'une capacité de courant de service 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 la 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.

Table 1 – 1980 International survey of residential consumers' complex supply impedances, in ohms, for single-phase connections at 50 Hz

Country	Percentage of consumers having supply impedances equal to or less than the listed complex values			
	98 %	95 %	90 %	85 %
Belgium	–	$0,63 + j0,33$	$0,32 + j0,17$	$0,28 + j0,15$
France	–	$0,55 + j0,34$	$0,45 + j0,25$	$0,34 + j0,21$
Germany	–	$0,45 + j0,25$	$0,36 + j0,21$	$0,31 + j0,17$
Ireland ^a	$1,47 + j0,64$	$1,26 + j0,60$	$1,03 + j0,55$	$0,94 + j0,43$
Italy	–	$0,59 + j0,32$	$0,48 + j0,26$	$0,44 + j0,24$
Netherlands	–	$0,70 + j0,25$	$0,41 + j0,21$	$0,32 + j0,17$
Switzerland	–	$0,60 + j0,36$	$0,42 + j0,25$	$0,30 + j0,18$
United Kingdom	$0,46 + j0,45$	–	$0,25 + j0,23$	–
USSR	–	$0,63 + j0,30$	$0,50 + j0,26$	–
^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 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.

The Korean Agency for Technology and Standards completed a comprehensive national survey of network impedances associated with 60 Hz, 380/220 V low-voltage supply systems in March 2004 and provides information that the following, 95% probability, network impedances are appropriate to Korea:

- single-phase two-wire 220 V, service capacities < 100 A per phase, $(0,67 + j0,37) \Omega$;
- three-phase four-wire 380 V, service capacities < 100 A per phase, $(0,33 + j0,20) \Omega$.

4.2 Large residential, commercial and light industrial premises

The premises considered in this clause have service current capacities equal to or in excess of 100 A per phase.

It is anticipated that the number of requests from consumers and their agents to distribution network operators for information relating to the system impedance at their supply terminals will increase as a consequence of the publication of IEC 61000-3-11 and the procedure for the conditional connection of equipment that it promulgates.

In order to assist distribution network operating companies worldwide in determining a practical value of actual supply impedance at a particular consumers' premises and to assist manufacturers in assessing the marketability of their products in particular countries worldwide, a basic approach to the determination of maximum supply impedance has been developed and is given in Annex 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:

- a) le transformateur de distribution possède une puissance nominale 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, dont la liste figure 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.

L'Agence Coréenne pour la Technologie et la Normalisation a effectué une enquête nationale sur les impédances des réseaux basse tension 60 Hz, 380/220 V en mars 2004 et a fourni les informations suivantes concernant les valeurs d'impédance, avec une probabilité de 95% en République de Corée:

- monophasé, deux fils 220 V, capacité de service ≥ 100 A par phase, $(0,29 + j0,33) \Omega$;
- triphasé, quatre fils 380 V, capacité de service ≥ 100 A par phase, $(0,26 + j0,30) \Omega$.

4.2.1 Impédances d'alimentation applicables à la connexion d'équipements électriques triphasés

Le Tableau 2 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 230/400 V, 50 Hz applicables aux services triphasés, les différentes plages de tensions légales déclarées aux consommateurs, et les capacités utiles en utilisation commune.

Tableau 2 – 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 en pourcentage	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

The following values of supply impedance have been obtained by application of the method given in Annex A, based on the assumptions that:

- the distribution transformer has a rating of 500 kVA, a 3 % voltage regulation or a 2,68 % reactance;
- there is 95 % probability of occurrence, i.e. 5 % of consumers, are likely to have a supply system impedance greater than the tabled values.

If necessary, these supply impedances, or the maximum supply impedances listed in Tables A.1 and A.2, may be amended to represent national or particular public supply networks by use of Clause A.5.

The Korean Agency for Technology and Standards completed a comprehensive national survey of network impedances associated with 60 Hz, 380/220 V low-voltage supply systems in March 2004 and provides information that the following, 95% probability, network impedances are appropriate to Korea:

- single-phase two-wire 220 V, service capacities ≥ 100 A per phase, $(0,29 + j0,33) \Omega$;
- three-phase four-wire 380 V, service capacities ≥ 100 A per phase, $(0,26 + j0,30) \Omega$.

4.2.1 Supply impedances relevant to the connection of three-phase equipment

Table 2 contains, under the assumptions stated in 4.2, the values of the modulus, in ohms, of the supply impedance of the line-conductors of 230/400 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 2 – 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 in per cent	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

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

Le Tableau 3 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 230/400 V, 50 Hz applicables à la connexion d'équipements monophasés à des services triphasés à 4 fils.

Tableau 3 – 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 en pourcentage	Capacité utile du raccordement 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

Des valeurs recommandées d'impédance de référence pour les réseaux à 60 Hz ne sont pas données dans ce document; des études complémentaires seront réalisées à ce propos dès que des informations techniques suffisantes seront fournies par les pays exploitant de tels réseaux.

5.1 Impédances de référence pour les équipements ayant un courant nominal ≤ 16 A

Les équipements ayant des courants nominaux ≤ 16 A sont principalement connectés dans des locaux ayant des capacités de courant de service inférieures à 100 A par phase. De tels locaux se trouvent principalement dans les zones d'alimentation résidentielles, comme le montre l'enquête de 1980, et les impédances de référence applicables à la connexion d'équipements ayant des courants nominaux ≤ 16 A ont par conséquent été déduites des valeurs fournies dans le Tableau 1.

Le souhait a été émis 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.

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

Table 3 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 230/400 V, 50 Hz public electricity supply networks relevant to the connection of single-phase equipment to three-phase 4-wire services.

Table 3 – 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 in per cent	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

Recommended values of reference impedances appropriate to distribution systems operating at a fundamental frequency of 60 Hz are not provided in this document; this subject is to receive further study when sufficient technical information is released by countries operating such systems.

5.1 Reference impedances for equipment with current ratings ≤ 16 A

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 surveyed in 1980, and 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 intended that the reference impedances should represent existing system impedances and have values that could be used to assess the emissions of equipment against voltage limits with a view to ensuring that connection of equipment to a public supply network would not cause undue voltage disturbance and distortion.

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 sur les réseaux existants, ainsi que des valeurs du comparatif des impédances de réseaux présentées dans le Tableau 1.

5.1.1 Réseaux d'alimentation 230 V triphasés à quatre fils

L'adoption des impédances de référence d'essai Z_{ref} suivantes est recommandée:

Conducteur de phase	$0,24 + j0,15 \Omega$
Conducteur neutre	$0,16 + j0,10 \Omega$
	$0,40 + j0,25 \Omega$

5.1.2 Réseaux d'alimentation 230 V monophasés à deux fils

Dans cette catégorie, 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 $0,4 + j0,25$.

Une valeur d'impédance de référence unique de $0,4 + j0,25 \Omega$ (phase-neutre) à 50 Hz a été adoptée, et présente les avantages suivants:

- a) cette valeur fournit des conditions limites identiques pour les appareils fabriqués en vue d'une utilisation dans tous les pays;
- b) 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 nominal ≤ 16 A par phase;
- c) elle simplifie les procédures des laboratoires d'essai;
- d) 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);
- e) elle simplifie l'établissement de limites.

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 (by voltage fluctuation 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 Table 1.

5.1.1 Three-phase, four-wire, 230 V supplies

Adoption of the following test reference impedances, Z_{ref} , is recommended:

Phase conductor	$0,24 + j0,15 \Omega$
Neutral conductor	$0,16 + j0,10 \Omega$
	$0,40 + j0,25 \Omega$

5.1.2 Single-phase, two-wire 230 V supplies

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

A single value of reference impedance of $0,4 + j0,25 \Omega$ (phase to neutral) at 50 Hz has been adopted with the advantages that:

- a) this value gives the same limit conditions for appliances manufactured for use in all countries;
- b) 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;
- c) it simplifies test house procedure;
- d) experience shows that most appliances already connected to public supply systems comply with limits based on this impedance (but there are exceptions);
- e) it simplifies the setting of limits.

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

- a) 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;
- b) 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 nominal ≤ 16 A non conformes aux limites de tension de la CEI 61000-3-3 lors d'essais avec la tension de référence peuvent être essayés ou évalués à nouveau afin de démontrer leur conformité à la CEI 61000-3-11. La partie 3-11 de la série CEI 61000 s'applique aux équipements ayant un courant nominal appelé ≤ 75 A par phase, et autorise le raccordement conditionnel d'équipements par une société d'exploitation de réseaux publics de distribution.

5.2 Impédances de référence pour les équipements ayant un courant nominal ≤ 75 A par phase

Les équipements ayant un courant nominal ≤ 75 A par phase sont fréquemment utilisés dans les locaux commerciaux et industriels et, dans une moindre mesure, dans les locaux résidentiels ayant une capacité utile ≥ 100 A par phase.

Les valeurs d'impédance des réseaux pour une plage de capacités utiles supérieures sont fournies dans les Tableaux 2 et 3.

L'adoption des impédances de référence d'essai Z_{test} suivantes est recommandée pour les équipements ayant un courant nominal ≤ 75 A et destinés uniquement à une utilisation dans des locaux ayant une capacité utile ≥ 100 A par phase:

Conducteur de phase	$0,15 + j0,15 \Omega$
Conducteur neutre	$0,10 + j0,10 \Omega$
	$0,25 + j0,25 \Omega$

5.3 Réseaux d'alimentation 120/240 V monophasés à trois fils

Des impédances de référence ont été proposées pour ces alimentations. Toutefois, il a ultérieurement été compris que ces valeurs entraîneraient, pour les appareils conçus avec une tension nominale proche de 230 V dans différents pays, la nécessité de répondre à différentes caractéristiques de perturbations. Cela pourrait présenter un problème sur le plan du commerce international. Lorsque cette difficulté a été découverte, il ne restait pas suffisamment de temps pour obtenir, de la part des experts aux États-Unis d'Amérique et au Japon, une réponse réfléchie à une proposition énonçant que l'impédance de référence de $0,4 + j0,3 \Omega$ (phase-neutre à 60 Hz) devrait s'appliquer à tous les appareils 230 V, quel que soit le réseau utilisé. Par conséquent, aucune recommandation n'est formulée dans ce rapport.

6 Impédance harmonique

Les considérations théoriques suggèrent qu'une résonance entre les condensateurs de correction du facteur de puissance (par exemple éclairages fluorescents) 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 de réseaux présentées dans cette spécification 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.

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

- a) 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;
- b) 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. Part 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 Reference impedance for equipment with current ratings ≤ 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 having a service capacity ≥ 100 A per phase.

System impedance values for a range of higher service capacities are given in Tables 2 and 3.

Adoption of the following test reference impedances, Z_{res} , is recommended for equipment rated ≤ 75 A and intended to be used only in premises having a service capacity ≥ 100 A per phase:

Phase conductor	$0,15 + j0,15 \Omega$
Neutral conductor	$0,10 + j0,10 \Omega$
	$0,25 + j0,25 \Omega$

5.3 Single-phase, three-wire, 120/240 V supplies

Reference impedances for these supplies were proposed. However it was later realised that these values would result in appliances designed with a rated voltage close to 230 V in different countries having to meet different disturbance characteristics. This could present problems for international trade. When this difficulty was discovered, there was insufficient time to obtain a considered response from the experts in the United States of America and Japan to a proposal that the reference impedance of $0,4 + j0,3 \Omega$ (phase to neutral at 60 Hz) should apply to all 230 V appliances irrespective of the network. Therefore, no recommendation is made in this report.

6 Harmonic impedance

Theoretical considerations suggest that resonance between power factor correction capacitors (e.g. fluorescent luminaries) 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 specification may be used to determine the minimum short-circuit level at fundamental frequency used in IEC 61000-3-12 for setting the limits of harmonic current emissions from equipment.

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 Introduction

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 nominal 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 essaient maintenant leurs équipements conformément aux nouvelles normes, car de nombreux équipements modernes sont utilisés dans tous les environnements; par exemple: postes de télévision à grand écran, ordinateurs personnels, photocopieuses, unités de climatisation et 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 utilisable 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 nominales 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 la CEI 61000-3-11, qui comprend un domaine d'application recouvrant partiellement celui de la CEI 61000-3-3.

La CEI 61000-3-11 s'applique aux équipements dont la puissance nominale est inférieure ou égale 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 réessayer les équipements avec une impédance de référence d'essai variable; ils peuvent ainsi:

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 Introduction

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; 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 subject to conditional connection and it permits manufacturers with 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 and they may:

- 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, ou
- b) essayer les équipements monophasés avec une impédance d'essai de $(0,25 + j0,25) \Omega$ et essayer 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 de courant de service égale ou supérieure à 100 A par phase, fournie par un réseau de distribution ayant une tension nominale de 400/230 V, et doit indiquer à l'utilisateur de déterminer, si nécessaire en consultation avec l'autorité chargée de l'alimentation, si la capacité de courant de service 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 de courant de service égale ou supérieure à 100 A par phase.

Pour les options a) et b), si la capacité d'alimentation, la capacité de courant de service 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 pourront être utilisées dans le but d'évaluer l'adéquation des équipements sans consultation de l'autorité chargée de l'alimentation.

Cette annexe présente par conséquent 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 400/230 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 R_{ange} exprimée sous forme d'un pourcentage de U_{dec} , et constituée d'une limite de tension supérieure $+R_{\text{up}}$ et d'une limite de tension inférieure, $-R_{\text{down}}$, 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.e.m. égale à la tension maximale admissible, c'est-à-dire $U_{\text{dec}} (1 + R_{\text{up}}/100)$, une régulation de la tension sur l'ensemble de la plage s'étendant d'une charge nulle à la pleine charge U_{reg} , exprimée sous forme d'un pourcentage de U_{dec} , une impédance Z_T , et un courant nominal 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_{cable} , et
- d) une charge utile de I_{load} ampères par phase, égale à la capacité utile déclarée.

- 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 $(0,25 + j0,25) \Omega$ and, test three-phase equipment with a line test impedance of $(0,15 + j0,15) \Omega$ and a neutral test impedance of $(0,1 + j0,1) \Omega$. 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 400/230 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.

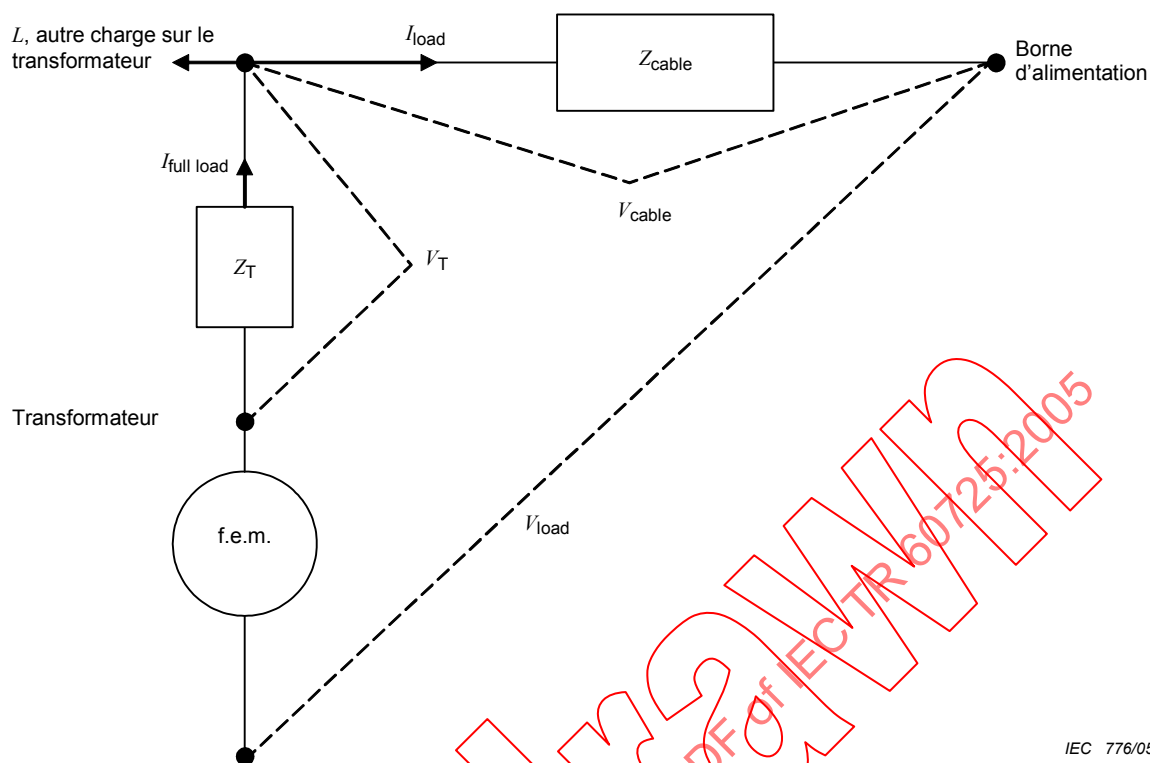
This annex therefore presents impedance data in a form that enables supply authorities worldwide to determine appropriate values specific to the construction of their supply systems and statutory obligations. Values of impedance are derived from consideration of a basic model of a 500 kVA transformer supplying a 400/230 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, R_{ange} , expressed as a percentage of U_{dec} and comprised of an upper voltage limit, $+R_{\text{up}}$, and a lower voltage limit, $-R_{\text{down}}$, both expressed as a percentage of U_{dec} .

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

- a) transformer, T , having an e.m.f. equal to the maximum permissible voltage, i.e. $U_{\text{dec}} (1 + R_{\text{up}}/100)$, 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 $I_{\text{full load}}$,
- b) network load, L , connected directly to the transformer, which together with the capacity of the service being considered equals the capacity of the transformer,
- c) distribution cable and service line having a combined impedance of Z_{cable} , and
- d) service load of I_{load} amperes per phase equal to the declared service capacity.



IEC 776/05

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

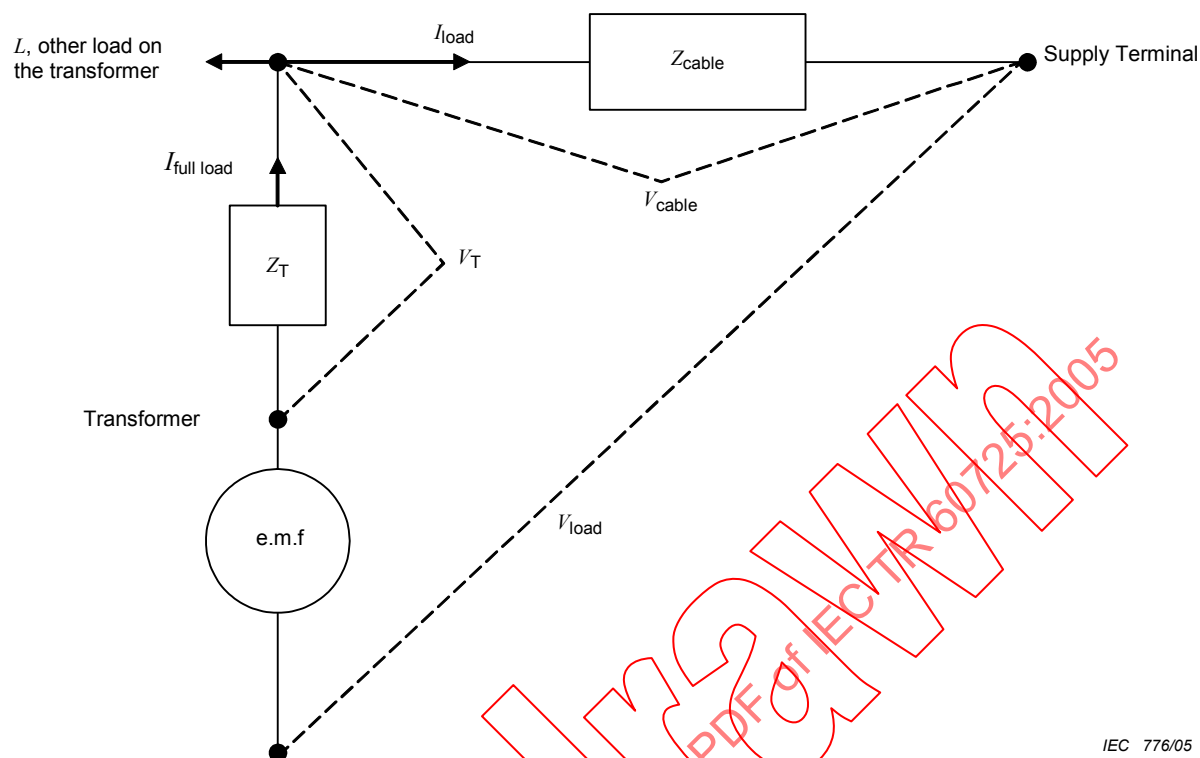
La tension U_{cable} sur Z_{cable} est obtenue par l'équation:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{cable}} &= \text{e.m.f.} - U_T - U_{\text{load}} \\
 U_{\text{cable}} &= U_{\text{dec}} \left[1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right] - U_{\text{dec}} \frac{U_{\text{reg}}}{100} \left[1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right] - U_{\text{dec}} \left[1 + \frac{R_{\text{dwn}}}{100} \right] \\
 U_{\text{cable}} &= \frac{U_{\text{dec}}}{100} \left[R_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right) \right]
 \end{aligned} \tag{A.1}$$

La valeur du module de Z_{cable} est obtenue en divisant U_{cable} par la capacité du courant de phase de service 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 d'une valeur supérieure à 0,9, cette méthode permet d'obtenir des résultats raisonnablement précis.

Pour obtenir la valeur de l'impédance de l'alimentation applicable à la connexion d'équipements monophasés sur un service triphasé, on multiplie Z_{cable} par 1,667 avant d'ajouter Z_T afin de refléter l'impédance du trajet de retour neutre du câble, conformément au rapport des composantes de ligne aux composantes neutres de Z_{ref} fourni en 5.1.2 et adopté dans la CEI 61000-3-3.



IEC 776/05

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:

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

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} .

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 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 5.1.2 and adopted in IEC 61000-3-3.

A.3 Application du modèle de réseau aux réseaux publics d'alimentation 230/400 V 50Hz

Dans le cas des systèmes d'alimentation 230/400 V 50 Hz, il est possible d'utiliser les caractéristiques connues d'impédance et de régulation de la tension des transformateurs d'alimentation conjointement aux caractéristiques d'impédances des câbles secteur et d'un facteur de puissance supposé du courant de charge, et de les appliquer directement au modèle afin d'obtenir les valeurs maximales de l'impédance de l'alimentation.

La valeur du module Z_{sys} des conducteurs de phase, qui représente l'impédance du réseau, est obtenue en ajoutant la composante de Z_T en phase avec l'impédance des câbles secteur $Z_{T\text{equiv}}$ à la valeur calculée de Z_{cable} ; la composante $Z_{T\text{equiv}}$ est égale à 0,0076 Ω pour $U_{\text{reg}} = 3$, à 0,0102 Ω pour $U_{\text{reg}} = 4$, à 0,0127 Ω pour $U_{\text{reg}} = 5$ et à 0,0152 Ω pour $U_{\text{reg}} = 6$.

Ces valeurs nominales de $Z_{T\text{equiv}}$ sont obtenues à partir de la caractéristique d'impédance d'un transformateur triangle-étoile 500 kVA habituel ($0,00509 + j0,0171$) Ω , dont le rapport $R:Z$ est caractéristique de tous les transformateurs triphasés, en envisageant des composantes en phase avec les impédances des câbles de distribution couramment utilisés, présentant un rapport $R:Z$ de 0,877:1; voir la Figure A.2 ci-dessous.

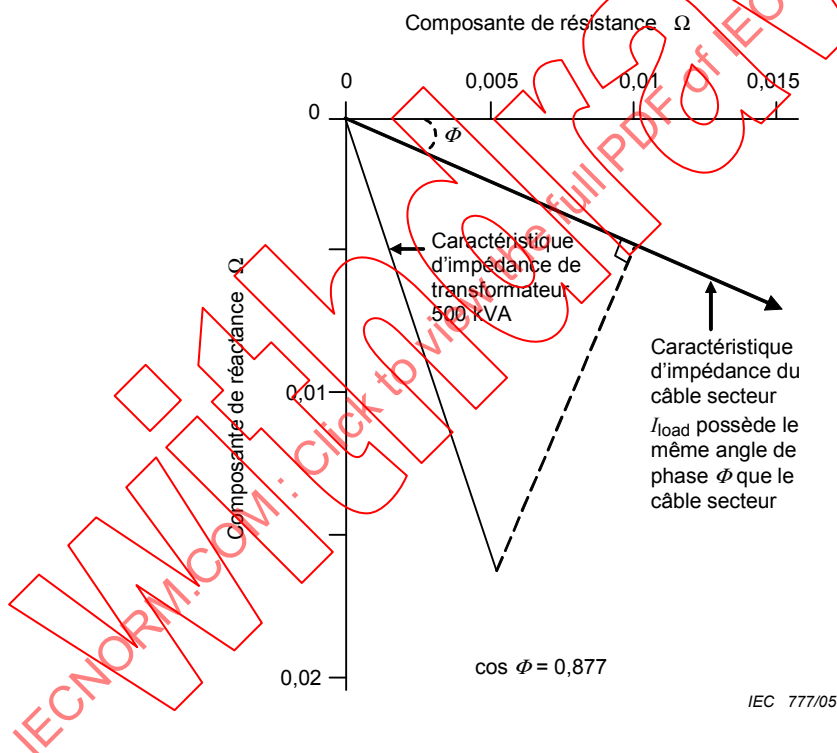


Figure A.2 – Schéma d'impédance triphasée d'un transformateur 500 kVA et d'un câble secteur typiques

La ligne d'impédance des câbles secteur typiques possède une valeur R/Z de 0,877, qui est également caractéristique du facteur de puissance de la charge du consommateur. Les tensions étant calculées à partir de la multiplication vectorielle du courant et de l'impédance, il est raisonnable de référencer toutes les impédances au câble secteur et de supposer que toutes les valeurs sont en phase. Par conséquent, les calculs sont simplifiés mais suffisamment précis pour les plages de tensions envisagées.

La Figure A.2 ci-dessus démontre qu'un transformateur 500 kVA ayant une réactance nominale de 5,6 % et une impédance de 0,0178 Ω possède une composante de 0,0127 Ω en phase avec l'impédance du courant de charge et du câble secteur.

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

In the case of 230/400 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, $Z_{T\text{equiv}}$, to the calculated value of Z_{cable} ; the $Z_{T\text{equiv}}$ component is 0,0076 Ω for $U_{\text{reg}} = 3$, 0,0102 Ω for $U_{\text{reg}} = 4$, 0,0127 Ω for $U_{\text{reg}} = 5$ and 0,0152 Ω for $U_{\text{reg}} = 6$.

These nominal values of $Z_{T\text{equiv}}$ are derived from the impedance characteristic of a typical 500 kVA delta-star transformer (0,00509 + j0,0171) 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.

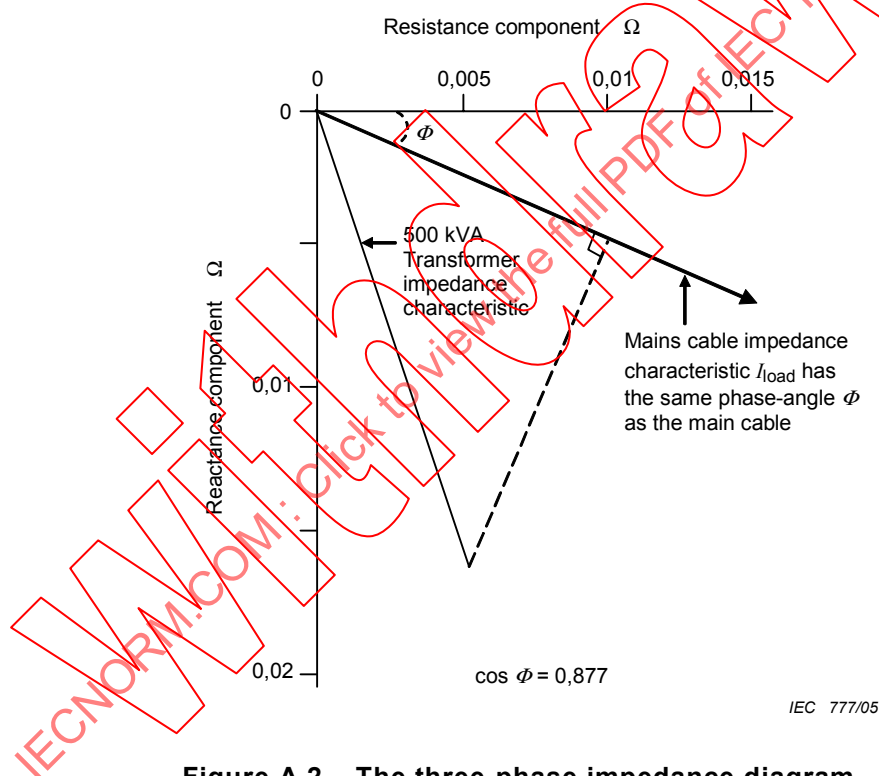


Figure A.2 – The three-phase impedance diagram of a typical 500 kVA transformer and mains cable

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 5,6 % reactance and an impedance of 0,0178 Ω has a component of 0,0127 Ω in-phase with the load current and mains cable impedance.

La valeur d'impédance obtenue par cette méthode est applicable à la connexion d'équipements triphasés à la ligne de service.

Pour obtenir la valeur de l'impédance applicable à la connexion d'équipements monophasés sur un service triphasé, on multiplie Z_{cable} par 1,667 avant l'addition de Z_T afin de refléter l'impédance du trajet de retour neutre du câble conformément au rapport des composants de ligne aux composants neutres de Z_{ref} fourni dans la 5.1.1.

Le Tableau A.1 contient les valeurs de l'impédance du réseau Z_{sys3} applicables à la connexion d'une charge triphasée à un service ayant une capacité I_{load} de 200 A par phase. Les valeurs d'impédance du réseau sont obtenues en appliquant l'équation (A.2), qui est l'équation (A.1) avec l'ajout de Z_T . Les calculs sont réalisés avec quatre décimales, puis corrigés à deux décimales.

$$Z_{\text{sys3}} = \frac{U_{\text{dec}}}{100 \times I_{\text{load}}} \times \left[R_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right) \right] + Z_{\text{Tequiv}} \quad (\text{A.2})$$

Le Tableau A.2 contient les valeurs de Z_{sys1} applicables à la connexion d'une charge monophasée à un service ayant une capacité I_{load} de 200 A par phase, obtenue par l'application de l'équation (A.3). Les calculs sont réalisés avec quatre décimales, puis corrigés à deux décimales.

$$Z_{\text{sys1}} = \frac{1,667 \times U_{\text{dec}}}{100 \times I_{\text{load}}} \times \left[R_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right) \right] + Z_{\text{Tequiv}} \quad (\text{A.3})$$

Les caractéristiques de régulation de la tension des transformateurs sont liées aux impédances des bobinages, et une régulation de la tension de 3 % correspond à un transformateur ayant une réactance comprise dans une plage entre 2,5 % et 3,0 %, exprimée sous forme d'un pourcentage de l'impédance représentée par la tension aux bornes à pleine charge divisée par le courant à pleine charge. Une régulation de tension de 4 % correspond à une réactance comprise dans une plage entre 3,5 % et 4,0 %. Une régulation de tension de 5 % correspond à une réactance comprise dans une plage entre 4,5 % et 5,0 %. Une régulation de tension de 6,0 % correspond à une réactance comprise dans une plage entre 5,5 % et 6,0 %.

Par conséquent, la régulation de la tension et le pourcentage de réactance du transformateur peuvent toutes deux être utilisées afin de déterminer une valeur maximale de l'impédance de l'alimentation à partir des Tableaux A.1 et A.2.

Si les équations (A.2) ou (A.3) sont utilisées pour calculer les valeurs particulières de Z_{sys} et seules les valeurs de réactance en pourcentage sont disponibles, les valeurs de régulation de la tension équivalentes peuvent être utilisées aux fins des calculs.

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 5.1.1.

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.

$$Z_{\text{sys3}} = \frac{U_{\text{dec}}}{100 \times I_{\text{load}}} \times \left[R_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right) \right] + Z_{\text{Tequiv}} \quad (\text{A.2})$$

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.

$$Z_{\text{sys1}} = \frac{1,667 \times U_{\text{dec}}}{100 \times I_{\text{load}}} \times \left[R_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right) \right] + Z_{\text{Tequiv}} \quad (\text{A.3})$$

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.3.1 Exemple de calcul

En envisageant le service à un consommateur ayant une capacité utile triphasée I_{load} de 200 A par phase, une tension d'alimentation déclarée U_{dec} , de 400/230 V $\pm 10\%$ (c'est-à-dire $R_{up} = 10$, $R_{down} = 10$ et $R_{range} = 20$), connecté à un réseau alimenté depuis un transformateur 500 kVA ayant une régulation de la tension de 3 % sur l'ensemble de la plage s'étendant d'une charge nulle à pleine charge (c'est-à-dire $U_{reg} = 3$):

Impédance du conducteur de phase

$$Z_{sys3} = \frac{U_{dec}}{100 \times I_{load}} \times \left[R_{range} - U_{reg} \left(1 + \frac{R_{up}}{100} \right) \right] + Z_{Tequiv}$$

$$Z_{sys3} = \frac{230}{100 \times 200} \times \left[20 - 3 \left(1 + \frac{10}{100} \right) \right] + 0,0076$$

$$= 0,1920 + 0,0076$$

$$= 0,20 \, \Omega \dots \text{voir la dernière ligne du Tableau A.1, colonne 2}$$

La valeur de l'impédance obtenue par cette méthode est applicable à la connexion d'équipements triphasés à la ligne de service.

Pour obtenir la valeur de l'impédance applicable à la connexion d'équipements monophasés au service triphasé, on multiplie Z_{cable} par 1,667 avant l'ajout de Z_{Tequiv} .

$$\text{Impédance phase-neutre} = (0,1920 \cdot 1,667) + 0,0076$$

$$= 0,33 \, \Omega \dots \text{voir la dernière ligne du Tableau A.2, colonne 2.}$$

A.4 Valeurs maximales de l'impédance de réseaux applicables aux services triphasés connectés aux réseaux publics d'alimentation 400/230 V

Les valeurs du Tableau A.1 se rapportent à la connexion d'équipements triphasés à un service triphasé, et les valeurs du Tableau A.2 se rapportent à la connexion d'équipements monophasés à un service triphasé à quatre fils.

Les valeurs d'impédance de réseaux présentées dans les Tableaux A.1 et A.2 ont été calculées pour les services électriques triphasés 230/400 V ayant des capacités utiles de 200 A par phase, utilisant le modèle de réseau fourni à l'Article A.2 et les équations développées à l'Article A.3. Voir l'Article A.5 pour connaître les impédances de réseaux adaptées aux conditions autres que celles supposées à l'Article A. 3.

Dans la plupart des pays, la plage de variation de la tension déclarée est symétrique autour de la tension nominale déclarée, et R_{up} possède la même valeur que R_{down} ; les valeurs fournies dans les tableaux reposent sur cette condition. Il a été supposé que le réseau moyenne tension est régulé dans le but de maintenir la tension nominale du réseau aux bornes du transformateur de distribution et que, par conséquent, toutes les chutes de tension admissible, représentées par R_{range} , sont imputables au transformateur et au réseau câblé basse tension. Pour connaître les autres conditions de chute de la tension admissible, voir l'Article A.5.

A.3.1 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 400/230 V $\pm 10\%$ (i.e. $R_{\text{up}} = 10$, $R_{\text{down}} = 10$ and $R_{\text{range}} = 20$), 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

$$Z_{\text{sys3}} = \frac{U_{\text{dec}}}{100 \times I_{\text{load}}} \times \left[R_{\text{range}} - U_{\text{reg}} \left(1 + \frac{R_{\text{up}}}{100} \right) \right] + Z_{\text{Tequiv}}$$

$$Z_{\text{sys3}} = \frac{230}{100 \times 200} \times \left[20 - 3 \left(1 + \frac{10}{100} \right) \right] + 0,0076$$

$$= 0,1920 + 0,0076$$

$$= 0,20 \, \Omega \dots \text{see the last row of Table A.1, column 2.}$$

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} .

$$\text{The line and neutral impedance} = (0,1920 \times 1,667) + 0,0076$$

$$= 0,33 \, \Omega \dots \text{see the last row of Table A.2, column 2.}$$

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

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 230/400 V, 50 Hz, applicables aux services triphasés ayant une capacité utile de 200 A par phase

Tension déclarée R_{range} en pourcentage	Caractéristiques du transformateur d'alimentation du réseau			
	Régulation de la tension: 3 %	Régulation de la tension: 4 %	Régulation de la tension: 5 %	Régulation de la tension: 6 %
	Réactance: 2,5 % à < 3,5 %	Réactance: 3,5 % à < 4,5 %	Réactance: 4,5 % à < 5,5 %	Réactance: 5,5 % à < 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

Tableau A.2 – Valeurs du module de l'impédance de l'alimentation maximale, en ohms, des conducteurs de phase et neutre de réseaux publics d'alimentation en électricité 230/400 V, 50 Hz, applicables aux services triphasés ayant une capacité utile de 200 A par phase

Tension déclarée R_{range} en pourcentage	Caractéristiques du transformateur d'alimentation du réseau			
	Régulation de la tension: 3 %	Régulation de la tension: 4 %	Régulation de la tension: 5 %	Régulation de la tension: 6 %
	Réactance: 2,5 % à < 3,5 %	Réactance: 3,5 % à < 4,5 %	Réactance: 4,5 % à < 5,5 %	Réactance: 5,5 % à < 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