

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
289**

Deuxième édition
Second edition
1988

Bobines d'inductance

Reactors



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 289: 1988

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*, which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
289

Deuxième édition
Second edition
1988

Bobines d'inductance

Reactors

© CEI 1988 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

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
SECTION UN – GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Domaine d'application	8
2. Définitions	8
SECTION DEUX – BOBINES D'INDUCTANCE SHUNT	
3. Généralités	12
4. Définitions	14
5. Grandeurs assignées	16
6. Niveau d'isolement	16
7. Plaques signalétiques	16
8. Essais	18
9. Tolérances	26
SECTION TROIS – BOBINES D'INDUCTANCE DE LIMITATION DE COURANT ET BOBINES D'INDUCTANCE DE MISE À LA TERRE DU NEUTRE	
10. Généralités	26
11. Définitions	28
12. Grandeurs assignées	30
13. Niveau d'isolement	30
14. Tenue au courant de courte durée assigné	32
15. Echauffement	32
16. Plaques signalétiques	32
17. Essais	34
18. Tolérances	40
SECTION QUATRE – BOBINES D'INDUCTANCE D'AMORTISSEMENT	
19. Généralités	42
20. Définitions	42
21. Grandeurs assignées	42
22. Niveau d'isolement	44
23. Echauffement	44
24. Plaques signalétiques	44
25. Essais	44
26. Tolérances	46
SECTION CINQ – BOBINES D'INDUCTANCE D'ACCORD (DE FILTRAGE)	
27. Généralités	46
28. Définitions	48
29. Grandeurs assignées	50
30. Plaques signalétiques	50
31. Essais	52
32. Tolérances	54
SECTION SIX – TRANSFORMATEURS DE MISE À LA TERRE (BOBINES D'INDUCTANCE TRIPHASÉES DE MISE À LA TERRE)	
33. Introduction	54
34. Généralités	54
35. Définitions	56
36. Grandeurs assignées	56
37. Tenue au courant de neutre assigné	58
38. Echauffement	58
39. Niveau d'isolement	58
40. Plaques signalétiques	60
41. Essais	60
42. Tolérances	62

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
SECTION ONE – GENERAL	
Clause	
1. Scope	9
2. Definitions	9
SECTION TWO – SHUNT REACTORS	
3. General	13
4. Definitions	15
5. Rating	17
6. Insulation level	17
7. Rating plates	17
8. Tests	19
9. Tolerances	27
SECTION THREE – CURRENT-LIMITING REACTORS AND NEUTRAL-EARTHING REACTORS	
10. General	27
11. Definitions	29
12. Rating	31
13. Insulation level	31
14. Ability to withstand short-time current	33
15. Temperature rise	33
16. Rating plates	33
17. Tests	35
18. Tolerances	41
SECTION FOUR – DAMPING REACTORS	
19. General	43
20. Definitions	43
21. Rating	43
22. Insulation level	45
23. Temperature rise	45
24. Rating plates	45
25. Tests	45
26. Tolerances	47
SECTION FIVE – TUNING (FILTER) REACTORS	
27. General	47
28. Definitions	49
29. Rating	51
30. Rating plates	51
31. Tests	53
32. Tolerances	55
SECTION SIX – EATHING TRANSFORMERS (NEUTRAL COUPLERS)	
33. Introduction	55
34. General	55
35. Definitions	57
36. Rating	57
37. Ability to withstand the rated neutral current	59
38. Temperature rise	59
39. Insulation level	59
40. Rating plates	61
41. Tests	61
42. Tolerances	63

SECTION SEPT – BOBINES D'INDUCTANCE D'EXTINCTION D'ARC

43. Généralités	64
44. Définitions	64
45. Grandeurs assignées	64
46. Plage de réglage	66
47. Echauffement des enroulements	66
48. Niveau d'isolement	66
49. Plaques signalétiques	66
50. Essais	68
51. Tolérances	70

SECTION HUIT – BOBINES D'INDUCTANCE DE LISSAGE

52. Généralités	72
53. Définitions	72
54. Grandeurs assignées	74
55. Niveau d'isolement	74
56. Echauffement	74
57. Plaques signalétiques	74
58. Essais	76
59. Tolérances	82
FIGURES	84



SECTION SEVEN – ARC-SUPPRESSION REACTORS

43. General	65
44. Definitions	65
45. Rating	65
46. Adjustment range	67
47. Winding temperature rise	67
48. Insulation level	67
49. Rating plates	67
50. Tests	69
51. Tolerances	71

SECTION EIGHT – SMOOTHING REACTORS

52. General	73
53. Definitions	73
54. Rating	75
55. Insulation level	75
56. Temperature rise	75
57. Rating plates	75
58. Tests	77
59. Tolerances	83
FIGURES	85

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

BOBINES D'INDUCTANCE

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 4) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 14C: Bobines d'inductance, du Comité d'Etudes n° 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Cette deuxième édition remplace la première édition de la Publication 289 de la CEI, parue en 1968.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapports de vote
14C(BC)7 14C(BC)8	14C(BC)9 14C(BC)9

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

Les publications suivantes sont citées dans la présente norme:

- Publications n°s 60-2 (1973): Technique des essais à haute tension: Deuxième partie: Modalités d'essai.
- 70 (1967): Condensateurs de puissance.
- 76-1 (1976): Transformateurs de puissance: Première partie: Généralités.
- 76-2 (1976): Deuxième partie: Echauffement.
- 76-3 (1980): Troisième partie: Niveaux d'isolement et essais diélectriques.
- 76-5 (1976): Cinquième partie: Tenue au court-circuit.
- 146 (1973): Convertisseurs à semi-conducteurs.
- 551 (1976): Mesures des niveaux de bruit des transformateurs et des bobines d'inductance.
- 722 (1982): Guide pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre des transformateurs de puissance et des bobines d'inductance.
- 726 (1982): Transformateurs de puissance de type sec.

Autre publication citée:

- Norme ISO 3 (1973): Nombres normaux — Série de nombres normaux.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

REACTORS

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.
- 4) The IEC has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 14C: Reactors, of IEC Technical Committee No. 14: Power Transformers.

This second edition replaces the first edition of IEC Publication 289, issued in 1968.

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

Six Months' Rule	Reports on Voting
14C(CO)7 14C(CO)8	14C(CO)9 14C(CO)9

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

The following publications are quoted in this standard:

- Publication Nos. 60-2 (1973): High-voltage test techniques: Part 2: Test procedures.
 70 (1967): Power capacitors.
 76-1 (1976): Power transformers: Part 1: General.
 76-2 (1976): Power transformers: Part 2: Temperature rise.
 76-3 (1980): Power transformers: Part 3: Insulation levels and dielectric tests.
 76-5 (1976): Part 5: Ability to withstand short circuit.
 146 (1973): Semiconductor convertors.
 551 (1976): Measurement of transformer and reactor sound levels.
 722 (1982): Guide to the lightning impulse and switching impulse testing of power transformers and reactors.
 726 (1982): Dry-type power transformers.

Other publication quoted:

- ISO Standard 3 (1973): Preferred numbers—Series of preferred numbers.

BOBINES D'INDUCTANCE

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux types suivants de bobines d'inductance:

- bobines d'inductance shunt,
- bobines d'inductance de limitation de courant y compris les bobines d'inductance de mise à la terre du neutre,
- bobines d'inductance d'amortissement,
- bobines d'inductance d'accord (de filtrage),
- transformateurs de mise à la terre (bobines d'inductance triphasées de mise à la terre),
- bobines d'inductance d'extinction d'arc,
- bobines d'inductance de lissage,

à l'exception des bobines d'inductance suivantes:

- bobines d'inductance de puissance généralement inférieure à 2 kvar en monophasé et à 10 kvar en triphasé,
- bobines d'inductance de type spécial, telles que bobines d'inductance pour circuits bouchons à haute fréquence ou bobines d'inductance pour matériel roulant.

Lorsque des normes de la CEI n'existent pas pour les bobines d'inductance mentionnées ci-dessus ni pour d'autres bobines d'inductance de type spécial, la présente norme peut s'appliquer en partie ou en totalité.

Lorsqu'on se réfère à des articles et paragraphes spécifiques des diverses parties de la Publication 76 de la CEI: Transformateurs de puissance, les éditions à considérer sont les suivantes:

- | | | |
|--------------|-------------------|---|
| 76-1 (1976) | Première partie: | Généralités. |
| 76-2 (1976) | Deuxième partie: | Echauffement. |
| 76-3 (1980) | Troisième partie: | Niveaux d'isolement et essais diélectriques.
Modification n° 1 (1981). |
| 76-4 (1976) | Quatrième partie: | Prises et connexions. |
| 76-5* (1976) | Cinquième partie: | Tenue au court-circuit. |

2. Définitions

Les définitions données dans cet article concernent les catégories de bobines d'inductance qui font l'objet des sections deux à huit de la présente norme.

Dans ces sections sont données les définitions complémentaires des termes spécifiques à la catégorie particulière ou qui revêtent une signification particulière quand ils se rapportent à cette catégorie.

* La deuxième impression (1982) incorpore la Modification n° 1 (1979).

REACTORS

SECTION ONE – GENERAL

1. Scope

This standard applies to the following types of reactors:

- shunt reactors,
- current-limiting reactors including neutral-earthing reactors,

- damping reactors,
- tuning (filter) reactors,
- earthing transformers (neutral couplers),
- arc-suppression reactors,
- smoothing reactors,

with the exception of the following reactors:

- small reactors with a rating generally less than 2 kvar single-phase and 10 kvar three-phase,

- reactors for special purposes such as high-frequency line traps or reactors mounted on rolling stock.

Where IEC standards do not exist for such small or special reactors, this standard may be applicable in whole or in part.

Where reference is made to specific clauses and sub-clauses of the various parts of IEC Publication 76: Power transformers, it is to be understood that the editions are as follows:

- | | |
|--------------|--|
| 76-1 (1976) | Part 1: General. |
| 76-2 (1976) | Part 2: Temperature rise. |
| 76-3 (1980) | Part 3: Insulation levels and dielectric tests.
Amendment No. 1 (1981). |
| 76-4 (1976) | Part 4: Tappings and connections. |
| 76-5* (1976) | Part 5: Ability to withstand short-circuit. |

2. Definitions

The definitions given in this clause concern the categories of reactors which form the subject of Sections Two to Eight of this standard.

Additional definitions are given in those sections of terms which are specific to the particular category or which are given a particular meaning when related to that category.

* The second impression (1982) incorporates Amendment No. 1 (1979).

A défaut de telles définitions dans cette norme, les termes utilisés ont la signification indiquée dans la Publication 76 de la CEI.

Les autres termes, de nature plus générale, sont définis dans le Vocabulaire Electrotechnique International (VEI).

De fréquentes références sont également faites aux articles techniques de la Publication 76 de la CEI et à d'autres publications concernant les transformateurs et les essais de transformateurs. La terminologie de ces publications a été conservée, même si celle-ci n'est pas strictement applicable aux bobines d'inductance.

Les articles concernant les essais doivent être suivis, s'ils sont applicables, pour les amplitudes, les durées, les séquences d'essais, les mesures et l'évaluation des résultats, même si les branchements d'essai spécifiés ne sont pas réalisables. Par exemple, l'essai par «tension induite» est un essai dans lequel, pour les bobines d'inductance, la tension d'essai appliquée aux bornes de l'enroulement n'est pas «induite» par un autre enroulement, mais est toujours appliquée directement par source extérieure.

2.1 *Types de bobines d'inductance*

2.1.1 *Bobine d'inductance shunt*

Bobine d'inductance destinée à être connectée en dérivation dans un réseau pour compenser le courant capacitif.

2.1.2 *Bobine d'inductance de limitation de courant*

Bobine d'inductance destinée à être connectée en série dans un réseau pour limiter le courant en cas de défaut dans le réseau.

2.1.3 *Bobine d'inductance de mise à la terre du neutre*

Bobine d'inductance monophasée destinée à être connectée entre le neutre d'un réseau et la terre afin de limiter à une valeur modérée le courant phase-terre en cas de défaut à la terre du réseau.

2.1.4 *Bobine d'inductance d'amortissement*

Bobine d'inductance destinée à être connectée en série avec des condensateurs pour limiter le courant d'enclenchement.

2.1.5 *Bobine d'inductance d'accord (de filtrage)*

Bobine d'inductance destinée à être connectée en série ou en parallèle avec des condensateurs afin de réduire, bloquer ou filtrer les harmoniques ou les fréquences de télécommunication.

2.1.6 *Transformateur de mise à la terre (bobine d'inductance triphasée de mise à la terre)*

Transformateur ou bobine d'inductance triphasé destiné à être connecté en dérivation dans un réseau pour former un point neutre.

Note. — Les transformateurs de mise à la terre peuvent, en outre, alimenter un réseau auxiliaire local.

2.1.7 *Bobine d'inductance d'extinction d'arc*

Bobine d'inductance monophasée destinée à être connectée entre le neutre d'un réseau et la terre pour compenser essentiellement le courant capacitif ligne-terre dû à un défaut monophasé à la terre (réseau compensé).

2.1.8 *Bobine d'inductance de lissage*

Bobine d'inductance destinée à limiter la circulation des courants harmoniques et les surintensités transitoires dans des réseaux à courant continu.

Unless such definitions are given in this standard, the terms used have the meaning given in IEC Publication 76.

Additional terms of more general nature are defined in the International Electrotechnical Vocabulary (IEV).

There are also frequent references to technical clauses in IEC Publication 76 and other related publications concerning transformers and transformer testing. The terminology of those publications has been maintained although it may not be strictly relevant in the context of reactors.

Test clauses should be followed as applicable concerning amplitudes, durations, test sequences, measurements and evaluation, even though specified test connections may not be applicable. For example “induced overvoltage test” is a test on a reactor where there is a test voltage across the winding although it is not “induced” from another winding, but always applied directly from the test source.

2.1 *Types of reactor*

2.1.1 *Shunt reactor*

Reactor intended for parallel connection in a system to compensate for capacitive current.

2.1.2 *Current-limiting reactor*

Reactor intended for series connection in a system for limiting the current under system fault conditions.

2.1.3 *Neutral-earthing current-limiting reactor*

Single-phase reactor intended for connection between the neutral of a system and earth for limiting the line-to-earth current under system earth fault conditions to a moderate value.

2.1.4 *Damping reactor*

Reactor intended for series connection with capacitors for limiting the inrush current during switching.

2.1.5 *Tuning (filter) reactor*

Reactor intended for series or parallel connection with capacitors for reducing, blocking or filtering harmonics or communication frequencies.

2.1.6 *Earthing transformer (neutral coupler)*

Three-phase transformer or reactor intended for parallel connection in a system to provide a neutral.

Note. — Earthing transformers may in addition supply a local auxiliary network.

2.1.7 *Arc-suppression reactor*

Single-phase reactor intended for connection between the neutral of a system and earth for essentially compensating the capacitive line-to-earth current due to a single-phase earth-fault (resonant-earthed system).

2.1.8 *Smoothing reactor*

Reactor intended to reduce the flow of harmonic currents and transient overcurrents in d.c. systems.

2.2 *Caractéristique magnétique*

Relation entre la valeur de crête du flux embrassé par l'enroulement de la bobine d'inductance et la valeur de crête du courant.

2.3 *Conditions de service*

Les conditions normales de service pour les bobines d'inductance ainsi que les prescriptions pour les conditions particulières de service sont les mêmes que celles qui sont spécifiées pour les transformateurs de puissance (Publication 76-1 de la CEI, article 2), selon les applications.

SECTION DEUX — BOBINES D'INDUCTANCE SHUNT

3. Généralités

3.1 *Domaine d'application*

Bobines d'inductance destinées à être connectées en dérivation dans un réseau pour compenser le courant capacitif.

Note. — La puissance réactive absorbée sous la tension assignée peut avoir une valeur constante ou peut être ajustée en utilisant des dispositifs additionnels:

- a) la variation peut être réalisée, par exemple, par des thyristors commandés par la phase (compensateur statique) ou par magnétisation du noyau magnétique par courant continu,
- b) la variation peut être réalisée par sélection de prises prévues dans l'enroulement au moyen d'un changeur de prises hors tension ou en charge.

3.2 *Conception*

Du point de vue conception et construction, la bobine d'inductance peut être:

- monophasée ou triphasée,
- de type sec ou immergée dans l'huile,
- sans circuit magnétique ou avec circuit magnétique à entrefers,
- avec ou sans blindage magnétique,
- pour installation à l'intérieur ou à l'extérieur,
- à réactance constante ou variable,
- dotée éventuellement d'un bobinage de charge additionnel.

3.3 *Caractéristique magnétique*

La connaissance de la caractéristique magnétique entière, comme il est indiqué dans les figures 1b et 1c, peut être nécessaire pour:

- établir la plage de fonctionnement normal,
- permettre l'étude des conditions de surtension,
- simulation dans l'étude des réseaux.

Les renseignements concernant la caractéristique magnétique doivent pouvoir être fournis sur demande.

Du point de vue de sa caractéristique magnétique entière, une bobine d'inductance peut être soit:

- linéaire (figure 1a),

2.2 *Magnetic characteristic*

The relationship of peak flux linkage of the reactor winding versus peak current.

2.3 *Service conditions*

Normal service conditions for reactors and the requirements for unusual service conditions are the same as specified for power transformers (IEC Publication 76-1, Clause 2), as applicable.

SECTION TWO — SHUNT REACTORS

3. General

3.1 *Scope*

Reactors intended for parallel connection in a system to compensate for capacitive current.

Note. — The absorbed reactive power at rated voltage can be firm or may be varied by use of additional devices:

- a) variation can be achieved, for example, by phase-controlled thyristors (static var source) or by d.c. magnetization of the iron core,
- b) variation can be achieved by winding tapplings, by means of an off-load or on-load tap-changer.

3.2 *Design*

With regard to design and installation the reactor is identified as:

- single-phase or three-phase,
- dry-type or oil-immersed,
- with air core or with gapped iron core,
- with or without magnetic shield,
- for indoor or outdoor installation,
- for fixed or variable reactance,
- having additional loading winding.

3.3 *Magnetic characteristic*

Knowledge of the entire magnetic characteristic as shown in Figures 1b and 1c may be necessary:

- to set a normal operation range,
- for study of overvoltage conditions,
- for simulation in system studies.

Information on the magnetic characteristic should be supplied on request.

With regard to its entire magnetic characteristic the reactor is identified as:

- linear (Figure 1a),

- non linéaire (figure 1b),
- saturée (figure 1c).

Les bobines d'inductance possédant une caractéristique non linéaire ont leur plage de fonctionnement normal dans la partie linéaire de la caractéristique magnétique, comme le montre la figure 2. Le coude de saturation et la pente dans la partie saturée peuvent faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur. Ces valeurs pourront être déterminées soit par des mesures, soit par le calcul.

4. Définitions

4.1 Tension assignée U_N

Tension à la fréquence assignée qui sera appliquée entre les bornes de ligne des enroulements d'une bobine d'inductance triphasée, ou entre les bornes de l'enroulement d'une bobine d'inductance monophasée.

La tension assignée U_N est une caractéristique de base pour la conception, pour les garanties données par le constructeur et pour les essais.

Note. — Pour les bobines d'inductance monophasées destinées à constituer un banc triphasé, la tension assignée d'une seule unité prévue pour être connectée en étoile est indiquée par une fraction dont le numérateur est la tension entre phases et le dénominateur $\sqrt{3}$, par exemple:

$$U_N = \frac{525}{\sqrt{3}} \text{ kV}$$

4.2 Tension maximale de service U_{\max}

Tension maximale à la fréquence assignée sous laquelle la bobine d'inductance doit être capable de fonctionner en permanence sans dépassement des échauffements spécifiés.

Notes 1. — La tension assignée peut être spécifiée égale à la tension maximale de service.

2. — La tension maximale de service et la tension assignée doivent être spécifiées par l'acheteur.

4.3 Puissance assignée Q_N

Puissance réactive spécifiée pour le fonctionnement sous tension et fréquence assignées.

4.4 Courant assigné I_N

Courant de ligne de la bobine d'inductance déduit de la puissance assignée et de la tension assignée.

Note. — Pour les bobines d'inductance monophasées destinées à constituer un banc triphasé, le courant assigné d'une unité prévue pour un couplage en triangle s'exprime par une fraction dont le numérateur est le courant de ligne correspondant et le dénominateur $\sqrt{3}$, par exemple:

$$I_N = \frac{500}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

4.5 Réactance assignée X_N

Réactance spécifiée sous la tension assignée (exprimée en ohms par phase, à la fréquence assignée).

4.6 Réactance homopolaire X_0 (d'une bobine d'inductance triphasée)

Réactance par phase à la fréquence assignée, égale à trois fois la valeur mesurée entre les bornes de ligne, connectées ensemble, d'une bobine d'inductance couplée en étoile et la borne de neutre.

- non-linear (Figure 1b),
- saturated (Figure 1c).

The reactors with non-linear magnetic characteristic have their normal operation range in the linear part of the magnetic characteristic shown in Figure 2. The knee point and the slope in the saturated part may be subject to agreement between purchaser and manufacturer. They may be determined by measurement or by calculation.

4. Definitions

4.1 Rated voltage U_N

The voltage at rated frequency assigned to be applied between the line terminals of a winding of a three-phase reactor, or between the terminals of a winding of a single-phase reactor.

The rated voltage U_N provides a basis for the design, the manufacturer's guarantees and the tests.

Note. — For single-phase reactors intended to be associated in a three-phase bank, the rated voltage of a single unit intended for star connection is indicated by a fraction, in which the numerator is the line-to-line voltage and the denominator is $\sqrt{3}$, for example:

$$U_N = \frac{525}{\sqrt{3}} \text{ kV}$$

4.2 Maximum operating voltage U_{\max}

The highest voltage at rated frequency at which the reactor shall be capable of operating continuously without exceeding the specified temperature rises.

Notes 1. — The rated voltage may be specified equal to the maximum operating voltage.

2. — Maximum operating voltage and rated voltage have to be specified by the purchaser.

4.3 Rated power Q_N

The reactive power specified for operation at rated voltage and frequency.

4.4 Rated current I_N

The line current of the reactor derived from rated power and rated voltage.

Note. — For single-phase reactors intended to be associated in a three-phase bank, the rated current of a single unit intended for delta connection is indicated by a fraction in which the numerator is the corresponding line current and the denominator is $\sqrt{3}$, for example:

$$I_N = \frac{500}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

4.5 Rated reactance X_N

The reactance (in ohms per phase at rated frequency) specified at rated voltage.

4.6 Zero-sequence reactance X_0 (of a three-phase reactor)

The reactance per phase at rated frequency, equal to three times the value measured between the line terminals of a three-phase star winding, connected together, and its neutral terminal.

4.7 Réactance mutuelle X_M (d'une bobine d'inductance triphasée)

Rapport entre la tension induite dans une phase ouverte et le courant dans la phase alimentée (en ohms par phase à la fréquence assignée), voir figure 3.

Il est commode d'exprimer la réactance mutuelle en prenant comme unité la réactance assignée.

Note. — En vertu de considérations relatives au réseau, il est à noter que les réactances mutuelles sont généralement négligeables pour:

- a) un banc comportant trois bobines d'inductance monophasées séparées, immergées dans l'huile,
- b) un banc de trois bobines d'inductance monophasées sans noyau magnétique (de type sec), placées côte à côte,
- c) une bobine d'inductance triphasée présentant au flux homopolaire un chemin magnétique continu.

5. Grandeurs assignées

Les grandeurs assignées d'une bobine d'inductance de type shunt se rapportent à un service continu, sauf spécification contraire.

Pour les bobines d'inductance utilisées dans une source statique d'énergie réactive avec commande de courant par la phase, les valeurs garanties se rapportent au courant sinusoïdal de pleine charge, sauf spécification contraire.

6. Niveau d'isolement

Voir la Publication 76-3 de la CEI pour la spécification du niveau d'isolement.

7. Plaques signalétiques

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique en matériau résistant aux intempéries, fixée à un endroit visible et portant les indications appropriées, énumérées ci-après. Les inscriptions doivent être marquées de façon indélébile (par exemple par gravure chimique, gravure ou estampage).

7.1 Renseignements à fournir dans tous les cas

- Type de bobine d'inductance.
- Installation extérieure/intérieure.
- Numéro de la présente norme.
- Nom du constructeur.
- Numéro dans la série du constructeur.
- Année de fabrication.
- Nombre de phases.
- Puissance assignée.
- Fréquence assignée.
- Tension assignée.
- Courant assigné.
- Tension maximale de service.
- Niveau(x) d'isolement.
- Couplage des enroulements.
- Réactance sous tension assignée (valeur mesurée).
- Type de refroidissement.
- Masse totale.
- Masse d'huile isolante.

4.7 Mutual reactance X_M (of a three-phase reactor)

The ratio between induced voltage in an open phase and the current in an excited phase (in ohms per phase at rated frequency) (see Figure 3).

Mutual reactance is suitably expressed per unit of the rated reactance.

Note. — For network considerations it should be noted, that the mutual reactance will generally be negligible for:

- a) a bank of three separate single-phase oil-immersed reactors,
- b) a bank of three single-phase air-core (dry-type) reactors in side-by-side arrangement,
- c) a three-phase reactor having continuous magnetic iron-path for zero-sequence flux.

5. Rating

The rating of a shunt reactor refers to continuous duty, unless otherwise specified.

For reactors used in a static var source scheme with phase-controlled current the guaranteed values are referred to the full load current with sinusoidal waveform unless otherwise specified.

6. Insulation level

For specification of the insulation level, see IEC Publication 76-3.

7. Rating plates

Each reactor shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping).

7.1 Information to be given in all cases

- Type of reactor.
- Outdoor/indoor application.
- Number of this standard.
- Manufacturer's name.
- Manufacturer's serial number.
- Year of manufacture.
- Number of phases.
- Rated power.
- Rated frequency.
- Rated voltage.
- Rated current.
- Maximum operating voltage.
- Insulation level(s).
- Winding connection.
- Reactance at rated voltage (measured value).
- Type of cooling.
- Total mass.
- Mass of insulating oil.

7.2 *Renseignements complémentaires à fournir dans certains cas*

- Classe thermique de l'isolation (pour bobines d'inductance du type sec seulement).
- Echauffement (si différent d'une valeur normale).
- Masse de transport (pour bobines d'inductance d'une masse totale supérieure à 5 t).
- Masse de décufrage (pour bobines d'inductance d'une masse totale supérieure à 5 t).
- Nature du liquide isolant, si ce n'est pas de l'huile minérale.
- Détails concernant les prises, s'il y en a.
- Réactance homopolaire.
- Réactance mutuelle.

8. **Essais**

8.1 *Conditions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux*

Voir le paragraphe 8.1 de la Publication 76-1 de la CEI.

8.2 *Essais individuels*

- a) Mesure de la résistance de l'enroulement (paragraphe 8.5).
- b) Mesure de la réactance (paragraphe 8.6).
- c) Mesure des pertes (paragraphe 8.7).
- d) Essais diélectriques (paragraphe 8.11).
- e) Mesure du rapport de transformation et de l'impédance de court-circuit pour les bobines d'inductance possédant un enroulement additionnel de charge.

8.3 *Essais de type*

- a) Essai d'échauffement (paragraphe 8.15).
- b) Essais diélectriques (paragraphe 8.11).

8.4 *Essais spéciaux*

- a) Mesure de la réactance homopolaire des bobines d'inductance triphasées linéaires et non linéaires (paragraphe 8.9).
- b) Mesure de la réactance mutuelle des bobines d'inductance triphasées (paragraphe 8.10).
- c) Mesure du niveau de bruit (paragraphe 8.13).
- d) Mesure des vibrations (paragraphe 8.14).
- e) Mesure des harmoniques de courant (paragraphe 8.8).
- f) Mesure de la puissance consommée par les ventilateurs et pompes, s'il y en a.
- g) Mesure de la caractéristique magnétique (paragraphe 8.12).

8.5 *Mesure de la résistance de l'enroulement*

Voir le paragraphe 8.2 de la Publication 76-1 de la CEI.

8.6 *Détermination de la réactance*

- a) La réactance est déterminée comme le rapport de la tension assignée au courant mesuré (valeur efficace) à la tension assignée, en supposant que la composante résistive de l'impédance est négligeable.
- b) La réactance doit être déterminée à la fréquence assignée en appliquant une alimentation pratiquement sinusoïdale (voir Publication 60-2 de la CEI, paragraphe 7.1).

7.2 *Additional information to be given in certain cases*

- Thermal class of insulation (for dry-type reactors only).
- Temperature rise (if not a normal value).
- Transportation mass (for reactors exceeding 5 t total mass).
- Untanking mass (for reactors exceeding 5 t total mass).
- Type of insulating liquid, if not mineral oil.
- Details regarding tapplings, if any.
- Zero-sequence reactance.
- Mutual reactance.

8. Tests

8.1 *General requirements for routine, type and special tests*

See Sub-clause 8.1 of IEC Publication 76-1.

8.2 *Routine tests*

- a) Measurement of winding resistance (Sub-clause 8.5).
- b) Measurement of reactance (Sub-clause 8.6).
- c) Measurement of loss (Sub-clause 8.7).
- d) Dielectric tests (Sub-clause 8.11).
- e) Measurements of voltage ratio and short-circuit impedance on shunt reactors with additional loading winding.

8.3 *Type tests*

- a) Temperature-rise test (Sub-clause 8.15),
- b) Dielectric tests (Sub-clause 8.11).

8.4 *Special tests*

- a) Measurement of zero-sequence reactance on three-phase linear and non-linear reactors (Sub-clause 8.9).
- b) Measurement of mutual reactance on three-phase reactors (Sub-clause 8.10).
- c) Measurement of acoustic sound level (Sub-clause 8.13).
- d) Measurement of vibration (Sub-clause 8.14).
- e) Measurement of harmonics of the current (Sub-clause 8.8).
- f) Measurement of power taken by fans and oil pumps, if any.
- g) Measurement of magnetic characteristic (Sub-clause 8.12).

8.5 *Measurement of winding resistance*

See Sub-clause 8.2 of IEC Publication 76-1.

8.6 *Determination of reactance*

- a) The reactance is determined as the ratio of the rated voltage to the measured current (r.m.s. value) at rated voltage assuming that the resistive component of impedance is negligible.
- b) The reactance shall be determined at rated frequency by applying an approximately sinusoidal supply (see IEC Publication 60-2, Sub-clause 7.1).

- c) Pour les bobines d'inductance ne possédant ni noyau à entrefers ni blindage magnétique, les mesures peuvent être effectuées à n'importe quelle tension comprise entre 10% et 100% de la tension assignée.
- d) Pour les bobines d'inductance munies d'un noyau à entrefers ou de blindages magnétiques, les mesures doivent être effectuées à la tension assignée. Dans des cas exceptionnels, par exemple pour de très grandes puissances et une tension de réseau élevée, il peut être difficile de maintenir ces conditions d'essai. Pour des bobines d'inductance linéaires et non linéaires, une extrapolation d'environ 10% est permise, c'est-à-dire que la tension d'essai doit, dans tous les cas, dépasser $0,9 U_N$.
- e) La réactance d'une bobine d'inductance triphasée doit être mesurée avec un système de tensions triphasées équilibrées appliquées aux bornes de la bobine d'inductance.
La réactance doit être prise comme le rapport:

$$\frac{\text{tension appliquée entre phases}}{\text{courant de ligne moyen mesuré} \times \sqrt{3}}$$

Pour les bobines d'inductance triphasées avec chemin magnétique pour le flux homopolaire, la mesure de la réactance peut être aussi effectuée avec une alimentation monophasée.

Note. — Quand l'installation d'essai ne permet pas d'effectuer l'essai de manière satisfaisante, celui-ci peut être effectué sur le site sous réserve d'un accord entre acheteur et constructeur.

8.7 Mesure des pertes

La mesure des pertes doit être effectuée sous tension et fréquence assignées avec un voltmètre sensible à la valeur moyenne de la tension, mais gradué pour indiquer la valeur efficace d'une sinusoïde ayant la même valeur moyenne.

Dans des cas exceptionnels, par exemple pour des bobines de très grande puissance et pour des tensions élevées, des difficultés peuvent se présenter pour respecter ces conditions d'essai. Dans de tels cas, les pertes sous tension assignée doivent être obtenues en multipliant les pertes mesurées par le carré du rapport du courant assigné au courant mesuré sous tension réduite.

La méthode de détermination des pertes doit faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur. On fournira une documentation satisfaisante sur la précision et la fiabilité de la méthode proposée.

Comme le facteur de puissance d'une bobine d'inductance shunt est normalement très faible, la mesure des pertes à l'aide des méthodes wattmétriques conventionnelles est susceptible de comporter des erreurs importantes.

Il serait avantageux d'utiliser une méthode de pont. Dans des cas spéciaux, on peut utiliser une méthode calorimétrique.

Les pertes dans les diverses parties de la bobine d'inductance (pertes I^2R , pertes fer, pertes supplémentaires) ne peuvent pas être séparées par des mesures; il est donc recommandé, afin d'éviter les corrections à la température de référence, d'effectuer les mesures lorsque la température moyenne des enroulements est pratiquement égale à la température de référence.

Si cela est irréalisable, les pertes fer comme les pertes supplémentaires doivent être considérées comme indépendantes de la température.

Dans le cas de plusieurs appareils à essayer, celui qui sera choisi pour la mesure des pertes à une température voisine de celle de référence doit également faire l'objet d'une mesure des pertes à la température ambiante. Cela permettra d'établir un coefficient de température pour les pertes totales (en supposant une variation linéaire). Pour les autres appareils, la mesure des pertes s'effectuera

- c) For reactors which have neither gapped iron core nor magnetic shield, the measurements may be made at any voltage between 10% and 100% of rated voltage.
- d) For reactors having gapped iron core or magnetic shield, the measurements shall be made at rated voltage. In exceptional cases, e.g. extremely large rated power and high system voltage, it may be difficult to maintain these test conditions. For linear and non-linear reactors, extrapolation of approximately 10% is allowed, i.e. the test voltage shall in all cases exceed $0.9 U_N$.
- e) The reactance of three-phase reactors shall be measured with symmetrical three-phase voltages applied to the reactor terminals.
- The reactance shall be taken as:

$$\frac{\text{line-to-line applied voltage}}{\text{average measured line current} \times \sqrt{3}}$$

For three-phase reactors with magnetic iron-path for zero-sequence flux, the reactance measurement may also be performed with single-phase excitation.

Note. — When the testing installation does not allow a satisfactory test, it may be made on site, subject to agreement between purchaser and manufacturer.

8.7 Measurement of loss

The loss shall be measured at rated voltage and rated frequency. The voltage shall be measured with a voltmeter responsive to the mean value of voltage but scaled to read the r.m.s. value of a sinusoidal wave having the same mean value.

In exceptional cases, for example extremely large rated power and high system voltage, it may be difficult to meet this test condition. In these cases, the loss at rated voltage shall be obtained by multiplying the measured loss by the square of the ratio of rated current to the current measured at the reduced voltage.

The method for determination of loss is subject to agreement between purchaser and manufacturer; satisfactory documentation regarding accuracy and reliability of the proposed method shall be provided.

As the power factor of a shunt reactor is normally very low, loss measurement using conventional wattmeter methods may be subject to considerable errors.

A bridge method may be used to advantage. A calorimetric method can be used in special cases.

The loss in the various parts of the reactor (I^2R loss, iron loss and additional loss) cannot be separated by measurement; it is thus preferable, in order to avoid corrections to reference temperature, to perform the measurement when the average temperature of the windings is practically equal to the reference temperature.

If this is impracticable, the additional loss as well as the iron loss shall be deemed independent of temperature.

If several units are to be tested, it is recommended that the unit on which loss measurement is carried out as a type test at approximately reference temperature, shall be measured at ambient temperature also, thus establishing a temperature coefficient for total loss (assuming linear variation). Remaining units will then be measured at ambient temperature only, and their loss figure

seulement à la température ambiante et les valeurs seront corrigées en les ramenant à la température de référence au moyen du coefficient de température établi pour l'unité choisie pour l'essai de type.

Si, à la tension assignée, le courant mesuré est différent du courant assigné, les pertes mesurées doivent être multipliées par le carré du rapport du courant assigné au courant mesuré.

Note. — Voir la note du paragraphe 8.6.

8.8 *Mesure des harmoniques du courant*

Cette mesure s'applique aux bobines d'inductance à caractéristique magnétique saturée (voir figure 1c). On mesure les harmoniques du courant dans les trois phases pour la tension assignée au moyen d'un analyseur d'harmoniques, et la grandeur de l'harmonique considéré est exprimée en pourcentage de la composante fondamentale.

La mesure des harmoniques de la tension d'alimentation doit être effectuée en même temps par une méthode adéquate.

Note. — Cet essai n'est réalisable que si le facteur de distorsion de la tension d'alimentation est inférieur à 2% (voir paragraphe 7.1 de la Publication 60-2 de la CEI).

8.9 *Mesure de la réactance homopolaire des bobines d'inductance triphasées linéaires et non linéaires*

Voir le paragraphe 8.7 de la Publication 76-1 de la CEI.

Cette mesure doit être effectuée à une tension correspondant à un courant de neutre ne dépassant pas le courant de phase assigné.

8.10 *Mesure de la réactance mutuelle des bobines d'inductance triphasées*

La mesure doit être effectuée, de préférence, à la tension assignée suivant la figure 3.

8.11 *Essais diélectriques*

L'application des différents essais diélectriques aux bobines d'inductance du type shunt suit en général les règles correspondantes pour les transformateurs des Publications 76-3, 726 et 722 de la CEI.

8.11.1 *Essai par tension appliquée (essai individuel)*

Voir l'article 10 de la Publication 76-3 de la CEI.

8.11.2 *Essai par tension induite (essai individuel)*

En général, l'essai par tension induite s'effectue conformément à l'article 11 de la Publication 76-3 de la CEI, sauf indication contraire donnée ci-après.

Si la bobine est à isolation uniforme, on applique le paragraphe 11.2.

Si la bobine est à isolation non uniforme, on applique soit le paragraphe 11.3, soit le paragraphe 11.4, suivant la tension d'essai et les moyens d'essais disponibles.

L'essai conforme au paragraphe 11.4 est la seule possibilité pour $U_m \geq 245$ kV, mais il peut aussi être exécuté pour des tensions inférieures par accord entre acheteur et constructeur. Lorsque l'essai conforme au paragraphe 11.4 est appliqué, il est modifié comme suit:

La mesure des décharges partielles doit être effectuée avec une tension $U_2 = 1,5 U_m / \sqrt{3}$, l'application de courte durée du niveau élevé U_1 étant omise.

shall be corrected to reference temperature using the temperature coefficient established on the type tested unit.

If, at rated voltage, the current measured is different from the rated current, the measured loss shall be multiplied by the square of the ratio of rated current to measured current.

Note. — See note to Sub-clause 8.6.

8.8 *Measurement of harmonics of the current*

This measurement applies to reactors with saturated magnetic characteristic (see Figure 1c). The harmonics of the current in all three phases are measured at rated voltage by means of a harmonic analyzer and the magnitude of the relevant harmonics is expressed as a percentage of the fundamental component.

The harmonics of the applied voltage shall be adequately measured at the same time.

Note. — This test is practicable only if the distortion factor of the applied voltage is less than 2% (see Sub-clause 7.1 of IEC Publication 60-2).

8.9 *Measurement of zero-sequence reactance on three-phase linear and non-linear reactors*

See Sub-clause 8.7 of IEC Publication 76-1.

This measurement has to be carried out at a voltage corresponding to a neutral current not exceeding the rated phase current.

8.10 *Measurement of mutual reactance on three-phase reactors*

The measurement shall be made preferably at rated voltage according to Figure 3.

8.11 *Dielectric tests*

The application of different dielectric tests to shunt reactors in general follows the corresponding rules for transformers in IEC Publications 76-3, 722 and 726.

8.11.1 *Separate-source voltage withstand test (routine test)*

See Clause 10 of IEC Publication 76-3.

8.11.2 *Induced overvoltage withstand test (routine test)*

The induced overvoltage withstand test is carried out in general accordance with Clause 11 of IEC Publication 76-3, except as otherwise described below.

If the reactor is uniformly insulated Sub-clause 11.2 applies.

If the reactor is non-uniformly insulated either Sub-clause 11.3 or Sub-clause 11.4 applies, depending upon test voltage and test facilities available.

The test according to Sub-clause 11.4 is the only alternative at $U_m \geq 245$ kV but may be used by agreement between purchaser and manufacturer at lower voltages as well. When the test according to Sub-clause 11.4 is applied, it is modified as follows:

The partial discharge measurement shall be performed with test voltage $U_2 = 1.5 U_m / \sqrt{3}$, the short-time application of the enhanced level U_1 being omitted.

Si les puissances et tensions requises pour ces essais excèdent celles qui sont disponibles à la station d'essai, l'essai doit être remplacé par un essai au choc de foudre après accord entre acheteur et constructeur.

Les tensions et les méthodes d'essai doivent faire l'objet d'un accord à la commande.

Note. — Pour les bobines d'inductance de type sec, voir également l'article 20 de la Publication 726 de la CEI.

8.11.3 *Essai au choc de foudre (essai de type et individuel)*

Voir les articles 12 et 13 de la Publication 76-3 ou l'article 19 de la Publication 726 et la Publication 722 de la CEI.

8.11.4 *Essai au choc de manœuvre (essai de type et individuel)*

Voir l'article 14 de la Publication 76-3 et le paragraphe 7.3 de la Publication 722 de la CEI.

8.12 *Mesure de la caractéristique magnétique*

Une mesure de la caractéristique magnétique peut être spécifiée lorsque la bobine d'inductance est du type non linéaire (figure 1b) ou du type saturé (figure 1c). La mesure peut être effectuée avec une tension et un courant à fréquence industrielle jusqu'à la tension maximale de service ou, par accord entre acheteur et constructeur, légèrement au-dessus de cette valeur.

Une autre méthode de mesure couvrant une plage plus étendue du flux embrassé peut également faire l'objet d'un accord.

8.13 *Mesure du niveau de bruit*

Cet essai s'effectue en général conformément à la Publication 551 de la CEI.

Lors des mesures effectuées sur les bobines d'inductance de type sec, on doit assurer des distances de sécurité suffisantes aux enroulements sous tension.

Le contour défini au paragraphe 3.4 de la Publication 551 de la CEI doit être distant de 2 m de la surface des enroulements. Le contour prescrit sera situé dans un plan horizontal passant à mi-hauteur des enroulements.

Note. — Pour les bobines d'inductance de forte puissance, les essais peuvent être effectués sur le site si cela n'est pas possible en usine et feront l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

8.14 *Mesure des vibrations*

Si une mesure de vibration est demandée, les points suivants doivent faire l'objet d'un accord avant les essais afin de déterminer:

- si l'essai doit être effectué en tant qu'essai de type sur une unité ou en tant qu'essai individuel sur tous les appareils,
- si l'essai doit être effectué à la tension assignée ou à la tension maximale de service si ces deux tensions sont différentes,
- où et comment les mesures doivent être effectuées (normalement sur les quatre parois de la cuve et en un nombre suffisant de points de mesure pour permettre d'établir une moyenne).

Les amplitudes de vibration doivent être exprimées en valeur de crête à crête.

Une valeur maximale de 200 μm est recommandée.

8.15 *Essai d'échauffement*

Voir la Publication 76-2 de la CEI.

If the power and voltage requirements for these tests exceed those available at the test station, the test shall be replaced by agreement between purchaser and manufacturer by a lightning impulse test.

Test voltages and test methods have to be agreed upon at the time of the order.

Note. — For dry-type reactors, also see Clause 20 of IEC Publication 726.

8.11.3 *Lightning impulse test (type and routine test)*

See Clauses 12 and 13 of IEC Publication 76-3, or Clause 19 of IEC Publication 726 and IEC Publication 722.

8.11.4 *Switching impulse test (type and routine test)*

See Clause 14 of IEC Publication 76-3 and Sub-clause 7.3 of IEC Publication 722.

8.12 *Measurement of magnetic characteristic*

A measurement of the magnetic characteristic may be specified when the reactor is non-linear (Figure 1b) or saturated (Figure 1c). The measurement may be conducted with power frequency voltage and current up to maximum operating voltage or, by agreement between purchaser and manufacturer, slightly above this value.

An alternative method of measurement over a wider range of flux linkage may be agreed upon.

8.13 *Measurement of acoustic sound level*

This test should be made in general accordance with IEC Publication 551.

During measurements on dry-type reactors, sufficient safety clearances to the winding under test have to be ensured.

The contour defined in Sub-clause 3.4 of IEC Publication 551 shall be located 2 m from the winding surface. The prescribed contour shall be located on a horizontal plane at half the winding height.

Note. — For large power rating reactors, if not possible in the factory, the test may be carried out on site subject to agreement between purchaser and manufacturer.

8.14 *Measurement of vibration*

If measurement of vibration is specified, the following items shall be agreed upon before the test is carried out:

- whether the test shall be made as a type test on one unit or as a routine test on all units,
- whether the test shall be run at rated voltage or maximum operating voltage, if different,
- where and how the measurements shall be taken (normally on all four sides of the tank wall and at a sufficient number of points to permit an averaging procedure).

The measurements shall be expressed in terms of peak-to-peak amplitude of vibration.

A recommended maximum value is 200 μm .

8.15 *Temperature-rise test*

See IEC Publication 76-2.

Cet essai est effectué, de préférence, à la tension maximale de service et à la fréquence assignée.

Si la tension maximale de service ne peut être maintenue pendant l'essai, celui-ci peut être effectué à une tension réduite mais pas inférieure à 90% de la tension maximale de service. Les échauffements doivent être corrigés pour la valeur de la tension maximale de service conformément aux Publications 76-2 ou 726 de la CEI, respectivement pour les bobines d'inductance immergées dans l'huile ou de type sec.

9. Tolérances

Dans le cas de bobines d'inductance à prises, les tolérances s'appliquent pour la prise principale, sauf spécification contraire.

9.1 *Tolérances sur la réactance à la tension assignée et à la fréquence assignée*

$\pm 5\%$ de la réactance assignée.

Dans le cas de bobines d'inductance shunt triphasées ou de bancs de trois bobines monophasées, les réactances dans les trois phases, connectées à un réseau de tensions symétriques, ne doivent pas s'écarter de plus de $\pm 2\%$ de la valeur moyenne, mais toujours dans les limites de la tolérance de $\pm 5\%$ indiquée ci-dessus.

Si la bobine d'inductance possède une caractéristique qui soit conforme à la figure 1b, une tolérance de $\pm 5\%$ sur la variation de la valeur de la réactance mesurée à la tension assignée doit être appliquée jusqu'à une tension limite spécifiée par l'acheteur.

9.2 *Tolérances sur les pertes*

Les pertes totales mesurées et corrigées suivant le paragraphe 8.7 ne doivent pas dépasser les pertes garanties de plus de 15%.

SECTION TROIS — BOBINES D'INDUCTANCE DE LIMITATION DE COURANT ET BOBINES D'INDUCTANCE DE MISE À LA TERRE DU NEUTRE

10. Généralités

10.1 *Domaine d'application*

Bobines d'inductance destinées à limiter le courant en cas de défauts dans les réseaux. Ces bobines peuvent être:

10.1.1 *Bobines d'inductance de limitation de courant*

Bobines d'inductance destinées à limiter le courant de courte durée. Pendant le fonctionnement normal, un courant permanent traverse la bobine d'inductance de limitation de courant.

10.1.2 *Bobines d'inductance de mise à la terre du neutre*

Bobines d'inductance monophasées pour réseaux triphasés, connectées entre le neutre d'un réseau et la terre, pour limiter le courant phase-terre dans les conditions de défaut du réseau. En général, les bobines d'inductance de mise à la terre du neutre ne sont pas parcourues par un courant permanent, ou alors uniquement par un courant permanent faible.

This test is performed preferably at maximum operating voltage and rated frequency.

If the maximum operating voltage cannot be maintained during the test, it may be performed at reduced voltage but not less than 90% of maximum operating voltage. The temperature rises shall be corrected to the maximum operating voltage according to IEC Publications 76-2 or 726, for oil-immersed and dry-type reactors respectively.

9. Tolerances

In the case of shunt reactors with tapplings, the tolerances apply to the principal tapping unless otherwise specified.

9.1 *Tolerances on reactance at rated voltage and rated frequency*

$\pm 5\%$ of rated reactance.

In the case of three-phase shunt reactors or banks of three single-phase reactors, the reactances in the three phases, when connected to a system of symmetrical voltages, shall not deviate from the average by more than $\pm 2\%$ but always within the above-mentioned $\pm 5\%$ tolerance.

If a reactor is specified with a characteristic according to Figure 1b, a tolerance on variation of reactance of $\pm 5\%$ of the reactance value measured at rated voltage shall apply up to a limit of voltage specified by the purchaser.

9.2 *Tolerance on loss*

The total loss measured and corrected according to Sub-clause 8.7 shall not exceed the guaranteed loss by more than 15%.

SECTION THREE — CURRENT-LIMITING REACTORS AND NEUTRAL-EARTHING REACTORS

10. General

10.1 *Scope*

Reactors intended for limiting the current under system fault conditions such as:

10.1.1 *Current-limiting reactors*

Reactors intended for limiting the short-time current. During normal operation a continuous current flows through the current-limiting reactor.

10.1.2 *Neutral-earthing reactors*

Single-phase reactors for three-phase systems, connected between the neutral of a system and earth, for limiting the line-to-earth current under system fault conditions. Neutral-earthing reactors generally carry no continuous current, or only a small continuous current.

10.1.3 *Autres types de bobines d'inductance*

Suivant leur application, des bobines d'inductance destinées à d'autres usages peuvent aussi être couvertes par cette section.

De telles bobines d'inductance sont par exemple:

- des bobines d'inductance de répartition de charge pour l'équilibrage du courant dans des circuits en parallèle.
- des bobines d'inductance de démarrage connectées en série avec un moteur à courant alternatif pour limiter le courant de démarrage.

10.2 *Conception*

En ce qui concerne la conception et l'installation, les bobines d'inductance de limitation de courant peuvent être classées comme suit:

- monophasées ou triphasées,
- de type sec ou de type immergé dans l'huile,
- sans noyau magnétique ou avec noyau magnétique à entrefers,
- avec ou sans blindage magnétique,
- avec ou sans prises,
- pour installation à l'intérieur ou à l'extérieur.

Notes 1. — Le blindage magnétique d'une bobine d'inductance de limitation de courant est généralement conçu pour être saturé lorsque la bobine d'inductance est parcourue par un courant élevé de courte durée.

2. — Une bobine d'inductance de limitation de courant, de type sec, sans blindage, donne naissance à un champ magnétique parasite élevé lorsqu'elle est parcourue par un courant élevé de courte durée. L'emplacement des enroulements de phase et leur situation par rapport à d'autres appareils et à des structures métalliques doivent être étudiés pour en minimiser les effets éventuels, comme un échauffement excessif des parties métalliques adjacentes ou l'application à ces parties de forces dangereuses pendant le passage des courants de courte durée.

11. Définitions

11.1 *Courant permanent assigné I_N*

Courant qui, à la fréquence assignée, parcourt les enroulements en permanence et pour lequel l'appareil est conçu. Sauf indication contraire, aucun courant permanent assigné n'est spécifié pour les bobines d'inductance de mise à la terre du neutre.

11.2 *Courant de courte durée assigné I_{KN}*

Valeur efficace de la composante symétrique en régime établi du courant de courte durée, à la fréquence assignée, qui parcourt la bobine pendant une durée spécifiée pour laquelle l'appareil est conçu et que la bobine peut supporter sans échauffement exagéré ni efforts mécaniques excessifs.

Note. — Le courant de courte durée assigné est déduit des conditions de défaut du réseau.

11.3 *Durée du courant de courte durée assigné t_{KN}*

Durée du courant de courte durée assigné pour laquelle la bobine d'inductance est conçue.

11.4 *Impédance assignée Z_{KN}*

Impédance spécifiée en ohms par phase, à la fréquence assignée et au courant de courte durée assigné.

10.1.3 Other types of reactors

Depending on their application, reactors for other purposes may also be covered in this section.

Such reactors are for example:

- load-sharing reactors for balancing the current in parallel circuits,
- starter reactors connected in series with an a.c. motor for limiting the starting current.

10.2 Design

With regard to design and installation, current-limiting reactors may be classified as:

- single-phase or three-phase,
- dry-type or oil-immersed type,
- with air core or with gapped iron core,
- with or without magnetic shield,
- with or without taps,
- for indoor or outdoor installation.

Notes 1. — The magnetic shield of a current-limiting reactor is generally designed to be saturated when the reactor carries a high short-time current.

2. — An unshielded dry-type current-limiting reactor generates a high magnetic stray field when it carries a high short-time current. The location of the phase windings and their location relative to other apparatus and to metallic structures shall be considered with a view to minimizing possible effects, such as undue heating of adjacent metallic parts or dangerous forces on them during short-time current.

11. Definitions

11.1 Rated continuous current I_N

The current at rated frequency, flowing through the terminals of the winding, which the reactor is designed to carry continuously. Unless otherwise specified, no rated continuous current is specified for neutral-earthing reactors.

11.2 Rated short-time current I_{KN}

The r.m.s. value of the steady-state symmetrical component of the short-time current at rated frequency to be carried for a specified duration for which the reactor is designed and which the reactor can withstand without undue heating or excessive mechanical stresses.

Note. — The rated short-time current is derived from system fault conditions.

11.3 Rated short-time current duration t_{KN}

Duration of the rated short-time current for which the reactor is designed.

11.4 Rated impedance Z_{KN}

The specified impedance in ohms per phase, at rated frequency and rated short-time current.

Pour une bobine d'inductance triphasée de limitation de courant ou un banc triphasé de bobines monophasées, l'impédance assignée est la moyenne des impédances des trois impédances monophasées.

Note. — Dans le cas de bobines d'inductance triphasées, ou de banc de bobines monophasées, le couplage magnétique entre les phases fait apparaître une impédance virtuelle par phase différente de l'impédance assignée définie ci-dessus. Cela n'a qu'une importance mineure si les coefficients de couplage sont inférieurs à 5%.

12. Grandeurs assignées

12.1 *Courant permanent assigné*

Sauf spécification contraire, le courant permanent assigné est un courant triphasé symétrique.

Les valeurs préférentielles du courant permanent assigné correspondent aux séries R 10 de la Norme ISO 3.

12.2 *Courant de courte durée assigné*

Le courant de courte durée assigné doit être au moins égal à la valeur la plus élevée du courant dans des conditions de défaut ou de démarrage spécifiées.

12.3 *Durée du courant de courte durée assignée*

Sauf spécification contraire, le courant de courte durée assigné doit avoir les durées suivantes:

- a) bobines d'inductance de limitation de courant: 2 s
- b) bobines d'inductance de mise à la terre du neutre: 10 s

Note. — Si plusieurs défauts ou démarrages successifs peuvent apparaître dans l'espace d'une courte période, leur durée, l'intervalle de temps les séparant et leur nombre doivent être spécifiés par l'acheteur. La durée du courant de courte durée assigné doit être choisie en conséquence.

12.4 *Impédance assignée*

La valeur de l'impédance assignée doit être spécifiée en même temps que le courant de courte durée assigné en tenant compte des paramètres du réseau et des cas reconnus de défauts du réseau. Cette quantité a nécessairement un caractère de valeur minimale.

Pour une bobine d'inductance pourvue d'un blindage magnétique, l'impédance correspondant au courant permanent doit être spécifiée par le constructeur; elle doit être mesurée et apparaître sur la plaque signalétique.

Pour une bobine d'inductance triphasée ou un banc de bobines monophasées séparées dans une installation bien définie, le constructeur doit fournir, sur demande, les renseignements concernant les coefficients de couplage ou les réactances mutuelles entre phases dans les conditions du courant de courte durée assigné.

Note. — Pour certains types de bobines d'inductance, une mesure directe de cette quantité est difficile (voir paragraphe 17.11).

13. Niveau d'isolement

Pour les spécifications du niveau d'isolement, voir la Publication 76-3 de la CEI.

13.1 *Prescriptions d'isolement pour les bobines d'inductance de limitation de courant*

Les prescriptions d'isolement entre les phases, d'une part, et par rapport à la terre, d'autre part, doivent généralement correspondre à la tension la plus élevée U_m du réseau dans lequel la bobine

For a three-phase current-limiting reactor or a three-phase bank of single-phase reactors, the rated impedance is the average of the three single-phase impedances.

Note. — In a three-phase current-limiting reactor, or a bank of single-phase reactors, the magnetic coupling between phases causes the virtual impedance per phase to be different from the rated impedance as defined above. This is of minor practical importance if the coupling factors are below 5%.

12. Rating

12.1 *Rated continuous current*

Unless otherwise specified, the rated continuous current is a symmetrical three-phase current.

Preferred values of the rated continuous current shall correspond to the Series R 10 in ISO Standard 3.

12.2 *Rated short-time current*

The rated short-time current shall be specified to be not less than the highest value of current under recognized fault or starting conditions.

12.3 *Rated short-time current duration*

Unless otherwise specified, the rated short-time current duration shall be for:

- a) current-limiting reactors: 2 s
- b) neutral-earthing reactors: 10 s

Note. — If several successive faults, or starting operations, may occur within a short period of time, the duration, the interval of time between applications, and the number of applications shall be specified by the purchaser. The rated short-time current duration shall be selected accordingly.

12.4 *Rated impedance*

The value of rated impedance shall be specified together with the rated short-time current in accordance with the system parameters and the recognized cases of system faults. This quantity has the character of a necessarily minimum value.

For a reactor with magnetic shield, the impedance for rated continuous current shall also be stated by the manufacturer, be measured, and appear on the rating plate.

For a three-phase reactor, or a bank of separate single-phase reactors with defined installation, the manufacturer shall, on request, supply information on the coupling factors or mutual reactances between phases under rated short-time current conditions.

Note. — For certain types of reactor, direct measurement of this quantity is difficult (see Sub-clause 17.11).

13. Insulation level

For specification of the insulation level, see IEC Publication 76-3.

13.1 *Insulation requirements for current limiting reactors*

The insulation requirements between phases and to earth shall generally correspond to the highest voltage for equipment U_m of the system in which the reactor is to be installed. The

d'inductance doit être installée. On pourra spécifier des prescriptions d'isolement plus réduites pour l'enroulement, en particulier lorsque des parafoudres seront connectés en parallèle avec l'enroulement. Il est recommandé que la tension assignée du parafoudre ne soit pas choisie au-dessous de 1,2 fois la tension développée le long de la bobine par le courant de courte durée assigné.

13.2 *Prescriptions d'isolement pour les bobines d'inductance de mise à la terre du neutre*

Les prescriptions d'isolement d'une bobine d'inductance de mise à la terre du neutre doivent correspondre à l'isolement du neutre du réseau dans lequel la bobine doit être installée. On peut choisir une isolation réduite pour l'extrémité côté terre (isolement non uniforme).

14. Tenue au courant de courte durée assigné

Les bobines d'inductance de limitation de courant et les bobines d'inductance de mise à la terre du neutre doivent être conçues pour résister aux effets thermiques et dynamiques du courant de courte durée assigné pendant sa durée assignée.

15. Echauffement

15.1 *Echauffement au courant permanent assigné*

Appliquer les limites d'échauffement, données dans l'article 2 de la Publication 76-2 ou dans l'article 10 de la Publication 726 de la CEI.

15.2 *Température après application d'un courant de courte durée*

La température calculée de l'enroulement après application d'un courant de courte durée ne doit pas dépasser les valeurs prescrites au paragraphe 2.1.4 de la Publication 76-5 de la CEI, concernant les enroulements de transformateurs placés dans des conditions de court-circuit.

16. Plaques signalétiques

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique en matériau résistant aux intempéries, fixée à un endroit visible et portant les indications appropriées, énumérées ci-après. Les inscriptions doivent être marquées de façon indélébile (par exemple par gravure chimique, gravure ou estampage).

16.1 *Renseignements à fournir dans tous les cas*

- Type de bobine d'inductance.
- Installation extérieure/intérieure.
- Numéro de la présente norme.
- Nom du constructeur.
- Numéro dans la série du constructeur.
- Année de fabrication.
- Nombre de phases.
- Fréquence assignée.
- Tension la plus élevée pour le matériel.
- Courant permanent assigné.
- Courant de courte durée et durée assignés.
- Niveau d'isolement.
- Impédance (valeur mesurée).
- Type de refroidissement.
- Masse totale.
- Masse d'huile isolante.

insulation requirements across the winding may be specified to be lower, particularly if surge arresters are connected in parallel with the winding. It is recommended that the rated voltage of the surge arrester is selected to be not less than 1.2 times the voltage developed across the reactor by the rated short-time current.

13.2 *Insulating requirements for neutral-earthing reactors*

The insulation requirements shall correspond to the insulation of the neutral of the system in which the reactor is to be installed. For the earth terminal, the selection of a reduced insulation level may be appropriate (non-uniform insulation).

14. **Ability to withstand short-time current**

Current-limiting reactors and neutral-earthing reactors shall be designed to withstand the thermal and dynamic effects of the rated short-time current for its rated duration.

15. **Temperature rise**

15.1 *Temperature rise at rated continuous current*

The temperature-rise limits given in Clause 2 of IEC Publication 76-2 and Clause 10 of IEC Publication 726 respectively, apply.

15.2 *Temperature after short-time current loading*

The calculated temperature of the winding after rated short-time current loading shall not exceed the values prescribed for transformer windings under short-circuit conditions in Sub-clause 2.1.4 of IEC Publication 76-5.

16. **Rating plates**

Each reactor shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate are to be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping).

16.1 *Information to be given in all cases*

- Type of reactor.
- Outdoor/indoor application.
- Number of this standard.
- Manufacturer's name.
- Manufacturer's serial number.
- Year of manufacture.
- Number of phases.
- Rated frequency.
- Highest voltage for equipment.
- Rated continuous current.
- Rated short-time current and duration.
- Insulation level.
- Impedance (measured value).
- Type of cooling.
- Total mass.
- Mass of insulating oil.

16.2 *Renseignements complémentaires à fournir dans certains cas*

- Classe thermique de l'isolation (pour bobines d'inductance du type sec seulement).
- Echauffement (si différent d'une valeur normale).
- Conditions d'isolement pour la borne de terre d'un bobinage à isolation non uniforme.
- Tension assignée de tenue au choc de foudre le long de l'enroulement lorsqu'il y a des parafoudres connectés en parallèle avec l'enroulement (cas des bobines d'inductance de limitation de courant).
- Masse de transport (pour bobines d'inductance d'une masse totale supérieure à 5 t).
- Masse de décuivage (pour bobines d'inductance d'une masse supérieure à 5 t).
- Nature du liquide isolant, si ce n'est pas de l'huile minérale.
- Détails concernant les prises, s'il y en a.

17. **Essais**

17.1 *Prescriptions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux.*

Voir le paragraphe 8.1 de la Publication 76-1 de la CEI.

17.2 *Essais individuels*

- a) Mesure de la résistance de l'enroulement (voir Publication 76-1, paragraphe 8.2).
- b) Mesure de l'impédance pour le courant permanent, s'il y a lieu (paragraphe 17.5).
- c) Mesure des pertes, s'il y a lieu (paragraphe 17.6).
- d) Essai par tension appliquée (paragraphe 17.7).
- e) Essai par tension induite (paragraphe 17.8).

17.3 *Essais de type*

- a) Essai d'échauffement au courant permanent assigné (paragraphe 17.9).
- b) Essai au choc de foudre (paragraphe 17.10).

17.4 *Essais spéciaux*

- a) Essai de courant de courte durée et mesure de l'impédance au courant de courte durée (paragraphe 17.11).
- b) Mesure du niveau de bruit (paragraphe 17.12).

17.5 *Mesure de l'impédance pour le courant permanent*

L'impédance doit être mesurée à la fréquence assignée. Pour les bobines d'inductance triphasées et les bancs triphasés de bobines d'inductance monophasées, les impédances doivent être mesurées sous excitation monophasée; l'impédance est la moyenne des trois impédances monophasées.

Lorsque les coefficients de couplage magnétique d'une bobine d'inductance triphasée sont supérieurs à 5%, l'impédance d'une telle bobine doit être mesurée en appliquant un système de tensions triphasées symétriques aux enroulements couplés en étoile.

L'impédance doit alors être égale à:

$$\frac{\text{tension appliquée entre phases}}{\text{courant moyen mesuré} \times \sqrt{3}}$$

Note. — Pour les bobines sans blindage magnétique, cet essai vérifiera aussi l'impédance assignée.

17.6 *Mesure des pertes*

Cette mesure n'est applicable qu'aux bobines d'inductance pour lesquelles un courant permanent est spécifié. La mesure doit être effectuée à la fréquence assignée.

16.2 *Additional information to be given in certain cases*

Thermal class of insulation (for dry-type reactors only).
 Temperature rise (if not a normal value).
 Insulation requirements for the earth terminal of winding with non-uniform insulation.
 Rated lightning impulse withstand voltage across the winding when surge arresters are connected in parallel with the winding (for current-limiting reactors).

Transportation mass (for reactors exceeding 5 t total mass).
 Untanking mass (for reactors exceeding 5 t total mass).
 Type of insulating liquid, if not mineral oil.
 Details regarding tappings, if any.

17. Tests

17.1 *General requirements for routine, type and special tests*

See Sub-clause 8.1 of IEC Publication 76-1.

17.2 *Routine tests*

- a) Measurement of winding resistance (see IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.2).
- b) Measurement of the impedance at continuous current, if applicable (Sub-clause 17.5).
- c) Measurement of loss, if applicable (Sub-clause 17.6).
- d) Separate-source voltage-withstand test (Sub-clause 17.7).
- e) Induced overvoltage withstand test (Sub-clause 17.8).

17.3 *Type tests*

- a) Temperature-rise test at rated continuous current (Sub-clause 17.9).
- b) Lightning impulse test (Sub-clause 17.10).

17.4 *Special tests*

- a) Short-time current test and measurement of impedance at short-time current (Sub-clause 17.11).
- b) Measurement of acoustic sound level (Sub-clause 17.12).

17.5 *Measurement of impedance at continuous current*

The impedance shall be measured at rated frequency. For three-phase reactors and three-phase banks of single-phase reactors, the impedances shall be measured at single-phase excitation and the impedance is the average of the three single-phase impedances.

The impedance of a three-phase reactor where the magnetic coupling factors are higher than 5% shall be measured by applying a system of symmetrical voltages to the star-connected phase windings.

The impedance shall then be taken as:

$$\frac{\text{line-to-line applied voltage}}{\text{average measured current} \times \sqrt{3}}$$

Note. — For reactors without magnetic shield, this test will also verify the rated impedance.

17.6 *Measurement of loss*

This measurement applies only to reactors where a continuous current is specified. The measurement shall be carried out at rated frequency.

La méthode de détermination des pertes doit faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur. Une documentation satisfaisante concernant la précision et la fiabilité de la méthode proposée doit être fournie.

Comme le facteur de puissance d'une bobine d'inductance de limitation du courant est normalement très faible, la mesure des pertes par les méthodes wattmétriques conventionnelles est susceptible de comporter des erreurs importantes.

Il peut être avantageux d'utiliser une méthode de pont.

- 17.6.1 Pour les bobines d'inductance sans circuit magnétique ni blindage magnétique, la mesure peut être effectuée à n'importe quel courant et ramenée au courant permanent assigné. Pour les corrections de température, se référer au paragraphe 8.4 de la Publication 76-1 de la CEI.

Note. — La présence de parties métalliques dans le voisinage de la bobine d'inductance peut être la source d'erreurs de mesure importantes.

- 17.6.2 Pour les bobines d'inductance avec blindage magnétique, les pertes dans les diverses parties de la bobine d'inductance (pertes I^2R , pertes fer, pertes supplémentaires) ne peuvent être mesurées séparément; il est donc préférable, afin d'éviter les corrections à la température de référence, d'effectuer les mesures lorsque la température moyenne des enroulements est approximativement égale à la température de référence. Si cela n'est pas possible, les pertes supplémentaires comme les pertes fer seront considérées comme étant indépendantes de la température.

Dans le cas de plusieurs appareils à essayer, celui qui sera choisi pour l'essai de type pour la mesure des pertes à une température voisine de celle de référence doit faire également l'objet de la mesure des pertes à la température ambiante. Les autres appareils seront mesurés à la température ambiante et leurs pertes corrigées en les ramenant à la température de référence au moyen du coefficient de température établi pour l'unité choisie pour l'essai de type.

- 17.7 *Essai par tension appliquée (essai individuel)*

L'essai doit être effectué, en général, conformément à l'article 10 de la Publication 76-3 de la CEI.

La tension d'essai doit être appliquée:

- entre chaque enroulement et la terre;
- entre les différents enroulements.

- 17.8 *Essai par tension induite (essai individuel)*

L'essai doit être effectué, en général, conformément au paragraphe 11.1 de la Publication 76-3 de la CEI. La tension d'essai doit être égale à deux fois la tension apparaissant le long du bobinage pour le courant de courte durée assigné.

Si cet essai entraîne des contraintes thermiques disproportionnées sur le matériel essayé, ou si les puissances et tensions nécessaires dépassent celles qui sont disponibles à la plate-forme d'essai, il doit être remplacé par un essai au choc de foudre après accord entre constructeur et acheteur.

- 17.9 *Essai d'échauffement au courant permanent assigné*

L'essai doit être effectué, en général, conformément à la Publication 76-2 de la CEI.

- 17.9.1 *Bobines d'inductance de type sec*

L'essai doit être effectué à une valeur du courant d'essai aussi voisine que possible du courant permanent assigné I_N et pas inférieure à 90% de cette valeur. L'essai se poursuivra jusqu'à ce que l'augmentation de l'échauffement de n'importe quelle partie de la bobine soit inférieure à 2 K en 1 h.

The method for determination of loss is subject to agreement between purchaser and manufacturer; satisfactory documentation regarding accuracy and reliability of the proposed method shall be provided.

As the power factor of a current-limiting reactor is normally very low, loss measurement using conventional wattmeter methods may be subject to considerable errors.

A bridge method may be used to advantage.

- 17.6.1 For reactors with air core and without magnetic shield, the measurement may be made at any current and corrected to rated continuous current. For temperature correction, refer to Sub-clause 8.4 of IEC Publication 76-1.

Note. — The presence of metallic parts in the vicinity of the reactor may give rise to considerable measuring errors.

- 17.6.2 For reactors with magnetic shield, the loss in the various parts of the reactor (I^2R loss, iron loss and additional loss) cannot be separated by measurement; it is thus preferable, in order to avoid corrections to reference temperature, to perform the measurement when the average temperature of the windings is approximately equal to the reference temperature. If this is impracticable, the additional loss as well as the iron loss shall be deemed independent of temperature.

If several units are to be tested, it is recommended that the unit on which loss measurement is carried out as a type test at approximately reference temperature, shall be tested at ambient temperature also. Remaining units will then be tested at ambient temperature only, and their loss figure shall be corrected to reference temperature by the same ratio as measured on the type-tested unit.

- 17.7 *Separate-source voltage withstand test (routine test)*

The test shall be carried out in general accordance with Clause 10 of IEC Publication 76-3.

The test voltage shall be applied:

- between each winding and earth;
- between different windings.

- 17.8 *Induced overvoltage withstand test (routine test)*

The test shall be carried out in accordance with Sub-clause 11.1 of IEC Publication 76-3. The test voltage shall be twice the voltage occurring across the winding at rated short-time current.

If this test would mean unrealistic thermal stress on the test object, or if the power and voltage requirements exceed those available at the test station, the test shall be replaced by a lightning impulse test in agreement between purchaser and manufacturer.

- 17.9 *Temperature-rise test at rated continuous current*

The test shall be carried out in general accordance with IEC Publication 76-2.

- 17.9.1 *Dry-type reactors*

The test shall be carried out at a value of test current as near as possible to the rated continuous current I_N , and not less than 90% of this value, and the run continued until the temperature-rise increment of any part of the reactor is less than 2 K in 1 h.

L'échauffement $\Delta\theta_N$ de l'enroulement au-dessus de la température de l'air de refroidissement, au courant continu assigné, est calculé par la formule:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

où:

I_N = courant permanent assigné

I_t = courant d'essai

$\Delta\theta_t$ = échauffement correspondant au courant d'essai

Les valeurs de q doivent être prises égales à:

1,6 pour les bobines à refroidissement AN

1,8 pour les bobines à refroidissement AF

La température θ_t de l'enroulement doit être calculée à partir de sa résistance mesurée conformément au paragraphe 3.3 de la Publication 76-2 de la CEI.

17.9.2 *Bobines d'inductance immergées dans l'huile*

La détermination de l'échauffement de l'huile à la partie supérieure et l'échauffement de l'enroulement doit être effectuée conformément au paragraphe 3.7 de la Publication 76-2 de la CEI.

17.10 *Essai au choc de foudre*

Pour les informations générales, voir l'article 12 de la Publication 76-3 de la CEI et l'article 19 de la Publication 726 de la CEI. Voir aussi la Publication 722 de la CEI.

Note. — La durée correcte à mi-valeur peut ne pas pouvoir être atteinte. Cette durée plus courte doit normalement être acceptée.

17.10.1 *Essai au choc de foudre des bobines d'inductance de limitation de courant*

La tension d'essai est appliquée successivement à chaque extrémité de l'enroulement essayé, l'autre extrémité étant reliée à la terre. Les extrémités des autres enroulements doivent aussi être reliées à la terre. Si des conditions d'isolement réduites le long de l'enroulement sont spécifiées, la procédure des essais au choc de foudre doit faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

17.10.2 *Essai au choc de foudre des bobines d'inductance de mise à la terre du neutre*

Pour les bobines d'inductance de mise à la terre du neutre, la tension d'essai est appliquée à l'extrémité connectée au neutre du transformateur, l'autre extrémité étant reliée à la terre. Une durée plus longue du front d'onde est admise jusqu'à 13 μ s.

17.11 *Essai au courant de courte durée et mesure de l'impédance au courant de courte durée*

Pour les généralités, la Publication 76-5 de la CEI est applicable.

L'essai au courant de courte durée est destiné à prouver la tenue mécanique de la bobine d'inductance au courant de courte durée assigné et, dans le cas d'une bobine d'inductance avec blindage magnétique, à permettre la mesure de l'impédance assignée.

Sauf spécification contraire, la première pointe du courant de courte durée doit avoir une valeur de crête de $1,8 \times \sqrt{2}$ fois la valeur efficace (dans certaines conditions de service, on peut avoir des coefficients inférieurs à $1,8 \times \sqrt{2}$).

La tenue de la bobine d'inductance à cet essai doit être déterminée conformément au paragraphe 2.2 de la Publication 76-5 de la CEI.

L'impédance pour le courant de courte durée doit être déterminée à partir des enregistrements des valeurs en régime établi de la tension et du courant d'essai.

The temperature rise $\Delta\theta_N$ of the winding above the temperature of the cooling air at rated continuous current is calculated from the formula:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta_t \left[\frac{I_N}{I_t} \right]^q$$

where:

I_N = rated continuous current
 I_t = test current
 $\Delta\theta_t$ = temperature rise at test current

The value of q shall be taken as:

for AN cooled reactors: 1.6

for AF cooled reactors: 1.8

The temperature θ_t of the winding shall be calculated from its measured resistance according to Sub-clause 3.3 of IEC Publication 76-2.

17.9.2 Oil-immersed type reactors

The determination of the top-oil temperature rise and of the winding temperature rise shall be made in accordance with Sub-clause 3.7 of IEC Publication 76-2.

17.10 Lightning impulse test

For general information refer to Clause 12 of IEC Publication 76-3 and Clause 19 of IEC Publication 726. See also IEC Publication 722.

Note. — The correct time to half value may not be achievable. This shorter time should normally be accepted.

17.10.1 Lightning impulse test of current-limiting reactors

The test voltage is applied to each terminal of the tested winding in turn, while the other terminal is earthed. The terminals of the other windings shall also be earthed. If reduced insulation requirements across the winding are specified, the lightning impulse test procedure shall be subject to agreement between purchaser and manufacturer.

17.10.2 Lightning impulse test of neutral-earthing reactors

For neutral-earthing reactors the test voltage is applied to the terminal which is to be connected to the transformer neutral whereas the other terminal is earthed. A longer duration of the front time is allowed up to 13 μ s.

17.11 Short-time current test and measurement of impedance at short-time current

For general information IEC Publication 76-5 applies.

The short-time current test is designed to prove the mechanical withstand strength of the reactor at rated short-time current and, in the case of a reactor with magnetic shield, to permit measurement of the rated impedance.

Unless otherwise specified, the first peak of short-time current shall have a peak value of $1.8 \times \sqrt{2}$ times the r.m.s. value (certain service conditions may result in asymmetry factors lower than $1.8 \times \sqrt{2}$).

The ability of the reactor to withstand the test shall be determined in accordance with Sub-clause 2.2 of IEC Publication 76-5.

The impedance at short-time current shall be determined from the records of the steady-state values of test voltage and current.

Sa valeur doit être égale à l'impédance assignée dans des limites de tolérance appropriées.

L'impédance d'une bobine d'inductance triphasée pour le courant de courte durée doit être mesurée conformément au paragraphe 17.5. Pendant les essais, les tensions induites dans les phases non essayées doivent être enregistrées afin de déterminer les facteurs de couplage ou les impédances mutuelles entre phases.

17.11.1 *Procédure d'essai*

Pour les bobines d'inductance monophasées, l'essai doit comporter deux applications du courant de courte durée pendant $0,5 \pm 0,05$ s.

Les bobines d'inductance triphasées ou bancs triphasés de bobines d'inductance séparées doivent subir un essai monophasé pour chaque phase avec pleine asymétrie et un essai triphasé avec un courant approximativement égal pour les trois phases.

Note. — Si la durée de 0,5 s ne peut être obtenue durant l'essai par manque de puissance des moyens d'essai, des durées plus courtes peuvent faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

17.11.2 *Comportement thermique au courant de courte durée*

La tenue thermique au courant de courte durée doit être démontrée par un calcul conformément au paragraphe 2.1.5 de la Publication 76-5 de la CEI.

17.12 *Mesure du niveau de bruit au courant permanent assigné*

Cet essai doit être effectué, en général, conformément à la Publication 551 de la CEI.

Pour les mesures sur les bobines d'inductance de type sec, on doit assurer des distances de sécurité suffisantes aux enroulements en essai. Le contour défini au paragraphe 3.4 de la Publication 551 de la CEI doit être distant de 2 m de la surface des enroulements. Le contour prescrit doit se situer sur un plan horizontal à mi-hauteur des enroulements.

18. Tolérances

Tolérances sur l'impédance établie par essai et/ou calcul pour le courant de courte durée assigné:

$+ \frac{20}{0}\%$ de l'impédance assignée.

Tolérances sur l'impédance de bobines d'inductance triphasées:

Le courant mesuré dans les bobinages de chaque phase dans les conditions définies au paragraphe 17.5 ne doit pas s'écarter de plus de 5% de la valeur moyenne, mais toujours dans la plage mentionnée ci-dessus soit:

$+ \frac{20}{0}\%$

Tolérances sur l'impédance au courant permanent assigné, si indiquées:

$+ \frac{20}{0}\%$

Tolérance sur les pertes (seulement dans le cas où un courant permanent assigné est spécifié pour la bobine d'inductance):

+ 15% de la valeur spécifiée.

Its value shall be equal to the rated impedance within the appropriate tolerances.

The impedance of a three-phase reactor at short-time current shall be measured in accordance with Sub-clause 17.5. During the tests, the induced voltages in non-tested phases shall be recorded in order to determine coupling factors or mutual impedances between phases.

17.11.1 *Test procedure*

For single-phase reactors the test shall consist of two applications of rated short-time current of duration 0.5 ± 0.05 s.

Three-phase reactors, or a three-phase bank of separate reactors with defined installation, shall undergo one single-phase test for each phase with full asymmetry, and to one three-phase test with approximately equal three-phase current.

Note. — If the duration 0.5 s cannot be obtained during the test because of insufficient power capacity of the test equipment, shorter durations are subject to agreement between purchaser and manufacturer.

17.11.2 *Thermal behaviour at short-time current*

The thermal short-time withstand capability shall be demonstrated by calculation in accordance with Sub-clause 2.1.5 of IEC Publication 76-5.

17.12 *Measurement of acoustic sound level at rated continuous current*

This test should be carried out in general accordance with IEC Publication 551.

For measurement on a dry-type reactor, sufficient safety clearances to the winding under test shall be ensured. The contour defined in Sub-clause 3.4 of IEC Publication 551 shall be located 2 m from the winding surface. The prescribed contour shall be located on a horizontal plane at half the winding height.

18. Tolerances

Tolerances of the impedance established by test and/or calculation at rated short-time current:

+ $\frac{20}{0}$ % of rated impedance.

Tolerances on the impedance of three-phase reactors:

The current measured in each phase winding, under the conditions defined in Sub-clause 17.5, shall not deviate by more than 5% from the average value, but shall always be within the above-mentioned range of:

+ $\frac{20}{0}$ %

Tolerances for impedance at rated continuous current, if stated:

+ $\frac{20}{0}$ %

Tolerance on loss (only when a rated continuous current is assigned to the reactor):

+ 15% of the declared value.

SECTION QUATRE — BOBINES D'INDUCTANCE D'AMORTISSEMENT

19. Généralités

19.1 *Domaine d'application*

Les bobines d'inductance d'amortissement sont utilisées en particulier pour limiter les courants d'enclenchement apparaissant lors du couplage de batteries de condensateurs à un réseau alternatif. Elles sont connectées en série avec les condensateurs.

Dans les conditions de service normales, le courant assigné des condensateurs circule dans la bobine d'inductance d'amortissement. Le courant maximal admissible (surcharge) dans la bobine d'inductance d'amortissement est égal à la valeur correspondante de la batterie de condensateurs mentionnée dans les normes concernant les condensateurs de puissance (en dérivation).

Note. — Pour des applications spéciales de condensateurs, comme les compensateurs statiques ou les réseaux de transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT), les courants de surcharge spécifiés dans les normes concernant les condensateurs de puissance ne sont pas toujours applicables.

19.2 *Conception*

Les bobines d'inductance d'amortissement sont généralement monophasées ou triphasées, de type sec à refroidissement naturel, sans noyau magnétique, prévues pour l'installation à l'intérieur ou à l'extérieur.

20. Définitions

20.1 *Courant permanent assigné I_N*

Valeur efficace du courant circulant dans la bobine d'inductance d'amortissement.

20.2 *Courant d'enclenchement assigné I_{IN}*

Valeur de crête du courant d'enclenchement maximal spécifié pour la bobine d'inductance d'amortissement.

20.3 *Inductance assignée L_N*

Valeur de l'inductance à la fréquence du réseau spécifiée pour la bobine d'inductance d'amortissement.

20.4 *Facteur Q*

Rapport de la réactance à la résistance de la bobine d'inductance d'amortissement à la fréquence et à la température spécifiées.

21. Grandeurs assignées

21.1 *Courant permanent assigné*

Le courant permanent assigné d'une bobine d'inductance d'amortissement doit être choisi au moins égal au courant maximal admissible de la batterie ou section de batterie de condensateurs associée.

Note. — Le courant maximal admissible, conformément à la Publication 70 de la CEI, est un courant dont la valeur efficace est égale à 1,3 fois la valeur obtenue à la tension sinusoïdale assignée aux bornes du condensateur.

SECTION FOUR — DAMPING REACTORS

19. General

19.1 *Scope*

Damping reactors are used particularly for limiting the inrush currents occurring during the switching of capacitor batteries to a.c. networks. They are connected in series with the capacitors.

During normal operation the capacitor rated current flows through the damping reactor. The maximum permissible (overload) current of the damping reactor is equal to the corresponding value of the capacitor battery as called for in the relevant standards for power (shunt) capacitors.

Note. — For special capacitor applications, such as in static var sources or HVDC Systems the overload currents as specified in the power capacitor standards are not always applicable.

19.2 *Design*

Damping reactors are usually single-phase or three-phase, dry-type natural (self) cooled, with air core, for indoor or outdoor installation.

20. Definitions

20.1 *Rated continuous current I_N*

The r.m.s. value of the current flowing through the damping reactor.

20.2 *Rated inrush current I_{IN}*

The peak value of the highest inrush current specified for the damping reactor.

20.3 *Rated inductance L_N*

The inductance value at system frequency specified for the damping reactor.

20.4 *Q-factor*

The ratio of reactance to resistance of the damping reactor at specified frequency and temperature.

21. Rating

21.1 *Rated continuous current*

The rated continuous current of the damping reactor shall be selected at least equal to the maximum permissible current of the associated capacitor battery or battery section.

Note. — The maximum permissible current according to IEC Publication 70 is a current with the r.m.s. value equal to 1.3 times the value obtained at rated sinusoidal voltage across the capacitor.

21.2 *Courant d'enclenchement assigné*

Le courant d'enclenchement assigné doit être choisi de manière à couvrir tous les cas reconnus de commutation de la batterie de condensateurs ou des sections de batterie. La fréquence de résonance à l'enclenchement correspondante doit être spécifiée dans l'appel d'offre. Le constructeur doit, sur demande, fournir les informations concernant le facteur Q escompté de la bobine d'inductance d'amortissement pour cette fréquence. La bobine d'inductance d'amortissement doit pouvoir résister aux effets dynamiques dus à ce courant d'enclenchement assigné.

Notes 1. — L'effet thermique du courant d'enclenchement est normalement insignifiant.

2. — Si la bobine d'inductance d'amortissement est appelée à pouvoir résister à une surintensité supérieure au courant d'enclenchement assigné, due, par exemple, à des défauts dans les condensateurs, l'amplitude et la durée d'une telle surintensité doivent être spécifiées.

22. Niveau d'isolement

Sauf spécification contraire, le niveau d'isolement doit correspondre à la tension la plus élevée U_m pour le matériel du réseau dans lequel la bobine d'inductance d'amortissement doit être installée. Si une extrémité de la bobine est prévue pour être reliée directement à la terre on peut convenir, après accord entre le constructeur et l'acheteur, d'appliquer une isolation non uniforme.

23. Echauffement

Pour les bobines d'inductance d'amortissement, appliquer les limites d'échauffement spécifiées dans l'article 2 de la Publication 76-2 de la CEI.

24. Plaques signalétiques

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique en matériau résistant aux intempéries, fixée à un endroit visible et portant les indications appropriées, énumérées ci-après. Les inscriptions doivent être marquées de façon indélébile (par exemple par gravure chimique, gravure ou estampage).

24.1 *Renseignements à fournir dans tous les cas*

- Type de bobine d'inductance.
- Installation extérieure/intérieure.
- Numéro de la présente norme.
- Nom du constructeur.
- Numéro dans la série du constructeur.
- Année de fabrication.
- Fréquence assignée.
- Courant permanent assigné.
- Courant d'enclenchement assigné.
- Niveau d'isolement.
- Inductance assignée.
- Facteur Q pour la fréquence spécifiée.
- Classe thermique de l'isolation (pour bobines d'inductance de type sec seulement).
- Echauffement.
- Masse totale.

25. Essais

Conditions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux, voir le paragraphe 8.1 de la Publication 76-1 de la CEI.

21.2 *Rated inrush current*

The rated inrush current shall be selected to cover all recognized cases of switching the capacitor battery or battery sections. The relevant inrush resonant frequency shall be specified in the inquiry. The manufacturer shall on request supply information about the expected Q -factor of the damping reactor at this frequency. The damping reactor shall be capable of withstanding the dynamic effects of this rated inrush current.

Notes 1. — The thermal effect of the inrush current is normally without significance.

2. — If the damping reactor is required to withstand overcurrents in excess of the rated inrush current, for example due to capacitor faults, the magnitude and duration of such overcurrents are to be specified.

22. **Insulation level**

Unless otherwise specified, the insulation level shall correspond to the highest voltage for equipment U_m of the system in which the damping reactor is to be installed. If one terminal of the damping reactor is intended to be directly earthed, non-uniform insulation may be applied by agreement between manufacturer and purchaser.

23. **Temperature rise**

For damping reactors the temperature-rise limits specified in Clause 2 of IEC Publication 76-2 are applicable.

24. **Rating plates**

Each reactor shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping).

24.1 *Information to be given in all cases*

- Type of reactor.
- Outdoor/indoor application.
- Number of this standard.
- Manufacturer's name.
- Manufacturer's serial number.
- Year of manufacture.
- Rated frequency.
- Rated continuous current.
- Rated inrush current.
- Insulation level.
- Rated inductance.
- Q -factor at a specified frequency.
- Thermal class of insulation (for dry-type reactors).
- Temperature rise.
- Total mass.

25. **Tests**

General requirements for routine, type and special tests, see IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.1.

25.1 *Essais individuels*

25.1.1 Mesure de la résistance du bobinage, voir le paragraphe 8.2 de la Publication 76-1 de la CEI.

25.1.2 Mesure de l'inductance

La mesure peut être effectuée à toute valeur de courant appropriée ou par une méthode de pont. La valeur de l'inductance assignée est rapportée à la fréquence du réseau.

25.1.3 Essai par tension appliquée, voir le paragraphe 17.7.

25.1.4 Essai par tension induite

Cet essai doit être effectué, en général, conformément au paragraphe 17.8, avec l'exception suivante:

La tension d'essai doit être égale à deux fois la tension apparaissant avec le courant d'enclenchement assigné.

25.2 *Essais de type*

25.2.1 Essai d'échauffement, voir le paragraphe 17.9.

25.2.2 Essai au choc de foudre, voir le paragraphe 17.10.

25.3 *Essais spéciaux*

25.3.1 Essai de tenue au courant d'enclenchement

L'essai doit être effectué à la fréquence du réseau conformément au paragraphe 17.11 pour autant que ce paragraphe puisse s'appliquer.

25.3.2 Mesure du facteur Q

La mesure doit être effectuée par une méthode de pont pour la fréquence d'enclenchement spécifiée. Voir le paragraphe 31.6 pour autant que ce paragraphe puisse s'appliquer.

26. Tolérances

+20% de l'inductance assignée.

SECTION CINQ — BOBINES D'INDUCTANCE D'ACCORD (DE FILTRAGE)

27. Généralités

27.1 *Domaine d'application*

Les bobines d'inductance d'accord sont des bobines d'inductance qui, dans les réseaux à courant alternatif, sont reliées à des condensateurs pour constituer des circuits de filtrage accordés résonnant dans la gamme des fréquences acoustiques afin de réduire, bloquer ou filtrer les harmoniques ou les fréquences de télécommunication. Les bobines d'inductance d'accord sont connectées soit suivant un schéma en parallèle avec le réseau (la tension du réseau étant alors appliquée entre leurs extrémités), soit suivant un schéma en série (avec le courant de charge circulant dans leurs enroulements).

27.2 *Conception*

Les bobines d'inductance d'accord sont monophasées ou triphasées, de type immergé dans l'huile ou de type sec. Les bobines d'inductance peuvent être conçues avec un dispositif d'ajustement de la

25.1 *Routine tests*

25.1.1 Measurement of winding resistance, see IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.2.

25.1.2 Measurement of inductance

The measurement may be made at any current value suitable, or by a bridge method. The rated inductance value is referred to system frequency.

25.1.3 Separate-source voltage withstand test, see Sub-clause 17.7.

25.1.4 Induced overvoltage withstand test

This test shall be carried out in general accordance with Sub-clause 17.8, with the following exception:

The test voltage shall be twice the voltage occurring at rated inrush current.

25.2 *Type tests*

25.2.1 Temperature-rise test, see Sub-clause 17.9.

25.2.2 Lightning impulse test, see Sub-clause 17.10.

25.3 *Special tests*

25.3.1 Inrush current withstand test

The test shall be carried out at system frequency in accordance with Sub-clause 17.11, as applicable.

25.3.2 *Q*-factor measurement

The measurement shall be carried out by a bridge method at the specified inrush resonant frequency. See Sub-clause 31.6, as applicable.

26. **Tolerances**

+20% of rated inductance.

SECTION FIVE — TUNING (FILTER) REACTORS

27. **General**

27.1 *Scope*

Tuning reactors are reactors in a.c. systems which are connected with capacitors to tuned filter circuits with resonances in the audio frequency range for reducing, blocking or filtering harmonics or communication frequencies. The tuning reactors are connected either in a parallel configuration in the system (with system voltage applied across them) or in a series configuration (with load current flowing through them).

27.2 *Design*

Tuning reactors are single-phase or three-phase reactors, oil-immersed or dry-type. The reactors may be designed with means for adjusting the inductance value within a limited range either by

valeur d'inductance à l'intérieur d'une plage limitée, soit par prises, soit par déplacement du circuit magnétique et/ou des bobines. Cela doit faire l'objet d'un accord et doit être mentionné dans l'appel d'offre ou dans l'offre.

Les bobines d'inductance d'accord pour les signaux à fréquence acoustique peuvent comporter un deuxième enroulement connecté à la source de fréquences acoustiques ou à d'autres composants.

Lorsque les bobines d'inductance sont connectées suivant un schéma en parallèle, elles sont soumises à des contraintes d'enclenchement transitoires lors des opérations de commutation. Lorsqu'elles sont connectées suivant un schéma en série, elles sont aussi soumises à des surintensités dues aux défauts du réseau, surintensités auxquelles elles devront résister dans des conditions déterminées.

Notes 1. — En cas d'installation de circuits filtres triphasés, il convient de faire attention au couplage magnétique entre les différentes phases de la bobine d'inductance.

2. — Pour les bobines d'inductance d'accord sans blindage magnétique, on prendra en compte l'influence éventuelle de la structure métallique de montage.

28. Définitions

28.1 *Courant assigné à la fréquence du réseau I_N*

Valeur efficace du courant qui parcourt en permanence la bobine d'inductance à la fréquence du réseau.

28.2 *Tension assignée à la fréquence du réseau U_N*

Valeur efficace de la tension à la fréquence du réseau, appliquée en permanence aux bornes de la bobine d'inductance.

28.3 *Courant assigné à la fréquence d'accord I_A*

Valeur efficace du courant qui parcourt en permanence la bobine à la fréquence d'accord.

Note. — Dans certaines applications (signalisation à fréquences acoustiques), le courant à la fréquence d'accord est intermittent. Cela devra être pris en considération pour les pertes et l'échauffement.

28.4 *Tension assignée à la fréquence d'accord U_A*

Valeur efficace de la tension à la fréquence d'accord, appliquée en permanence aux bornes de la bobine d'inductance.

28.5 *Fréquence d'accord assignée f_A*

Fréquence de résonance du circuit filtre dont la bobine d'inductance est un composant.

28.6 *Inductance assignée L_A*

Valeur de l'inductance à la fréquence d'accord assignée.

28.7 *Facteur Q assigné Q_A*

Rapport entre la réactance et la résistance à la fréquence d'accord et à la température de référence.

28.8 *Courant de courte durée assigné I_{KN}*

Valeur efficace du courant de courte durée et sa durée (s'il y a lieu) spécifiées pour la bobine d'inductance d'accord.

tappings or by movement of core and/or coils. This arrangement is subject to agreement and shall be mentioned in the enquiry or tender.

Tuning reactors for audio frequency signals may be equipped with a second winding connected to the audio frequency source or to other components.

When connected in parallel configuration the reactors are subjected to inrush transients at switching operations. When connected in series configuration they are also subjected to overcurrents due to system faults which they will have to withstand under recognized conditions.

Notes 1. — If three-phase filter circuits are installed, attention should be paid to the magnetic coupling between different reactor phases.

2. — For non-shielded tuning reactors, due consideration should be given to possible influence by the mounting structure.

28. Definitions

28.1 *Rated power-frequency current* I_N

The r.m.s. value of power frequency current continuously flowing through the reactor.

28.2 *Rated power-frequency voltage* U_N

The r.m.s. value of power frequency voltage continuously applied across the reactor.

28.3 *Rated tuning-frequency current* I_A

The r.m.s. value of the current of tuning frequency continuously flowing through the reactor.

Note. — In certain applications (audio frequency signalling), the tuning-frequency current is intermittent. This should be taken into account for considerations of loss and temperature rise.

28.4 *Rated tuning-frequency voltage* U_A

The r.m.s. value of the voltage of tuning frequency continuously applied across the reactor.

28.5 *Rated tuning frequency* f_A

The resonance frequency of the filter circuit in which the reactor is a component.

28.6 *Rated inductance* L_A

The inductance value at rated tuning frequency.

28.7 *Rated Q-factor* Q_A

The ratio between reactance and resistance at tuning frequency and reference temperature.

28.8 *Rated short-time current* I_{KN}

The r.m.s. value of short-time current and its duration (if applicable) that is recognized for the tuning reactor.

29. Grandeurs assignées

29.1 Valeurs assignées de courant ou de tension

Suivant que la bobine d'inductance d'accord est destinée à être branchée dans un schéma en série ou en parallèle, elle a des valeurs assignées de courant ou de tension pour les fréquences de réseau et d'accord, selon le cas.

Ces valeurs assignées doivent être choisies au moins égales aux valeurs escomptées dans les conditions de service normal des circuits filtres du réseau.

29.2 Courant de courte durée assigné

Pour une bobine d'inductance d'accord parallèle, cette valeur est en relation avec les phénomènes d'enclenchement et déterminée conformément au paragraphe 21.2.

Pour une bobine d'inductance d'accord en série, cette valeur est en relation avec les défauts dus aux surintensités (paragraphe 11.2 et 12.2).

L'amplitude et la durée du courant de courte durée assigné doivent être spécifiées dans l'appel d'offre et l'offre relatifs aux bobines d'inductance d'accord pour des applications particulières. Pour les bobines d'inductance normalisées à tension plus basse, et en l'absence d'autres spécifications, la surintensité est supposée être limitée à 25 fois le courant assigné permanent à la fréquence du réseau avec une durée ne dépassant pas 2 s.

29.3 Facteur Q assigné

Sauf spécification contraire, c'est une valeur minimale garantie.

29.4 Spectre des courants ou des tensions

Le spectre des courants ou tensions harmoniques et/ou non harmoniques dans les fréquences de signalisation doit être spécifié dans l'appel d'offre.

29.5 Niveau d'isolement

Sauf spécification contraire, le niveau d'isolement doit correspondre à la tension la plus élevée U_m du matériel du réseau dans lequel la bobine d'inductance doit être installée. Si une extrémité de la bobine est prévue pour être reliée directement à la terre, on peut, après accord, appliquer un isolement non uniforme.

Note. — Lorsque la bobine d'inductance comporte un deuxième enroulement, il convient de concevoir cet enroulement en tenant compte de surtensions éventuelles transmises par le réseau de puissance.

30. Plaques signalétiques

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique en matériau résistant aux intempéries, fixée à un endroit visible et portant les indications appropriées, énumérées ci-après. Les inscriptions doivent être marquées de façon indélébile (par exemple par gravure chimique, gravure ou estampage).

30.1 Renseignements à fournir dans tous les cas

Type de bobine d'inductance.

Installation extérieure/intérieure.

Numéro de la présente norme.

Nom du constructeur.

Numéro dans la série du constructeur.

Année de fabrication.

29. Rating

29.1 *Rated current or voltage quantities*

Depending on whether the tuning reactor is intended to be connected in a series or a parallel configuration, it has rated values of power-frequency and tuning-frequency current or voltage, as applicable.

The values of these rated quantities shall be selected at least equal to the expected values in normal operation of the filter circuits in the system.

29.2 *Rated short-time current*

For a parallel-connected tuning reactor this value is related to inrush phenomena and determined in accordance with Sub-clause 21.2.

For a series-connected tuning reactor, this value is related to system overcurrent faults (Sub-clauses 11.2 and 12.2).

The magnitude and duration of the rated short-time current must be specified in the enquiry and tender for tuning reactors in individual applications. For standardized reactors at lower voltage, in the absence of other specifications, the overcurrent is assumed to be limited to 25 times the rated power-frequency continuous current, with a duration of not more than 2 s.

29.3 *Rated Q-factor*

Unless otherwise specified, this is a guaranteed minimum value.

29.4 *Current or voltage spectrum*

The spectrum of harmonic and/or non-harmonic signalling frequency current or voltage components in service shall be stated in the enquiry.

29.5 *Insulation level*

Unless otherwise specified, the insulation level shall correspond to the highest voltage for equipment U_m of the system in which the reactor is to be installed. If one terminal of the reactor is intended to be directly earthed, non-uniform insulation may be applied by agreement.

Note. — When a second winding is added in an audio signalling reactor, this winding should be designed with consideration of possible transferred overvoltages from the power system.

30. Rating plates

Each reactor shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping).

30.1 *Information to be given in all cases*

- Type of reactor.
- Outdoor/indoor application.
- Number of this standard.
- Manufacturer's name.
- Manufacturer's serial number.
- Year of manufacture.

Fréquence assignée du réseau.
Fréquence d'accord assignée.
Tension assignée à la fréquence du réseau (selon les applications).
Tension assignée à la fréquence d'accord (selon les applications).
Courant assigné à la fréquence du réseau (selon les applications).
Courant assigné à la fréquence d'accord (selon les applications).
Courant assigné de courte durée et durée de ce courant.
Niveau d'isolement.
Inductance assignée.
Facteur Q .
Masse totale.
Masse de l'huile isolante.

31. Essais

31.1 *Conditions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux*
Voir le paragraphe 8.1 de la Publication 76-1 de la CEI.

31.2 *Essais individuels*

- a) Mesure de la résistance du bobinage (voir Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.2).
- b) Mesure de l'inductance (paragraphe 31.4).
- c) Essai par tension induite (paragraphe 31.5).
- d) Essai par tension appliquée (Publication 76-3 de la CEI, article 10).
- e) Mesure du facteur Q (paragraphe 31.6).
- f) Mesure des pertes (paragraphe 31.7).

31.3 *Essais de type*

- a) Essai d'échauffement (paragraphe 31.8).
- b) Essai au choc de foudre (Publication 76-3 de la CEI, article 12).

31.4 *Mesure de l'inductance*

La mesure de l'inductance d'une bobine d'accord doit être effectuée à la fréquence d'accord et approximativement au courant ou à la tension assigné suivant le cas, avec les exceptions suivantes:

L'inductance d'une bobine sans circuit magnétique est supposée constante et indépendante du courant et peut être mesurée à courant (ou tension) réduit.

Si l'on démontre qu'à la fréquence du réseau on a une caractéristique linéaire pour une bobine d'inductance à circuit magnétique jusqu'à une valeur de courant égale à la valeur du courant assigné à la fréquence d'accord, alors l'inductance à la fréquence d'accord peut être mesurée à courant (ou tension) réduit.

31.5 *Essai par tension induite*

L'essai doit être effectué, en général, conformément au paragraphe 11.1 de la Publication 76-3 de la CEI. La tension d'essai doit être égale à deux fois la tension aux bornes de la bobine lorsqu'elle est parcourue par le courant I_{KN} ou à deux fois la tension ($U_N + U_A$). On choisira la plus forte de ces deux valeurs.

Si les prescriptions de tension et de puissance, pour cet essai, dépassent les possibilités de la plate-forme d'essai, il doit être remplacé par un essai au choc de foudre, après accord entre acheteur et constructeur.

Rated power frequency.
Rated tuning frequency.
Rated power-frequency voltage (as applicable).
Rated tuning-frequency voltage (as applicable).
Rated power-frequency current (as applicable).
Rated tuning-frequency current (as applicable).
Rated short-time current and duration.
Insulation level.
Rated inductance.
 Q -factor.
Total mass.
Mass of insulating oil.

31. Tests

31.1 *General requirements for routine, type and special tests*

See Sub-clause 8.1 of IEC Publication 76-1.

31.2 *Routine tests*

- a) Measurement of winding resistance (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.2).
- b) Measurement of inductance (Sub-clause 31.4).
- c) Induced overvoltage withstand test (Sub-clause 31.5).
- d) Separate-source voltage withstand test (IEC Publication 76-3, Clause 10).
- e) Measurement of Q -factor (Sub-clause 31.6).
- f) Measurement of loss (Sub-clause 31.7).

31.3 *Type tests*

- a) Temperature-rise test (Sub-clause 31.8).
- b) Lightning impulse test (IEC Publication 76-3, Clause 12).

31.4 *Measurement of inductance*

The measurement of inductance of a tuning reactor shall be carried out at tuning frequency and at approximately rated tuning-frequency current or voltage as appropriate with the following exceptions:

The inductance of a reactor with air core is assumed to be constant regardless of current and may be measured at reduced current (or voltage).

If the linearity of a core-type reactor up to a current equal to rated tuning-frequency current is demonstrated at power frequency, the inductance at tuning frequency may be measured at reduced current or voltage.

31.5 *Induced overvoltage withstand test*

The test shall be carried out in general accordance with Sub-clause 11.1 of IEC Publication 76-3. The test voltage shall be twice the voltage across the reactor when I_{KN} passes through it, or twice $(U_N + U_A)$, whichever is the higher.

If the power and voltage requirements for this test exceed those available at the test station, the test shall be replaced by a lightning impulse test, by agreement between purchaser and manufacturer.

31.6 *Mesure du facteur Q*

La mesure doit être effectuée à la fréquence d'accord. Le facteur Q mesuré à la température de référence on rapporté à celle-ci, ne doit pas être inférieur à la valeur garantie. La procédure pour correction de température, si elle est appliquée, doit être spécifiée et être, en général, en accord avec le paragraphe 8.7.

31.7 *Mesure des pertes*

Les pertes totales d'une bobine d'inductance d'accord se composent de pertes fer (si la bobine possède un circuit ou un blindage magnétique) et de pertes dans les enroulements dues aux composantes du courant à la fréquence du réseau, à d'éventuelles fréquences harmoniques et/ou non harmoniques superposées (fréquences de signalisation).

Les pertes fer et les pertes dans les enroulements à la fréquence du réseau sont déterminées par une mesure à la fréquence du réseau. Les pertes pour chacune des composantes à des fréquences supérieures spécifiées sont calculées ou mesurées aux fréquences respectives, et ajoutées aux pertes à la fréquence du réseau. Les pertes totales sont rapportées à la température de référence et ne doivent pas dépasser la valeur garantie.

31.8 *Détermination de l'échauffement*

L'essai d'échauffement doit être effectué à la fréquence du réseau. Le courant ou la tension d'essai doit être réglé afin de correspondre aux pertes totales déterminées conformément au paragraphe 31.7.

La procédure d'essai doit être généralement conforme aux Publications 76-2 ou 726 de la CEI (pour les bobines de type sec).

32. Tolérances

Si la bobine d'inductance d'accord n'est pas équipée de moyens pour régler l'inductance, on doit spécifier et garantir une tolérance sur l'inductance assignée.

SECTION SIX — TRANSFORMATEURS DE MISE À LA TERRE (BOBINES D'INDUCTANCE TRIPHASÉES DE MISE À LA TERRE)

33. Introduction

Les transformateurs de mise à la terre sont utilisés dans des réseaux comportant des mises à la terre diverses. Cela est répercuté dans la spécification du courant de neutre en cas de défaut.

Quand le neutre du transformateur de mise à la terre est relié à la terre, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une bobine d'inductance de limitation de courant, son courant de neutre assigné (paragraphe 35.3) est relativement élevé, mais d'une courte durée (quelques secondes seulement).

Quand le neutre est relié à une bobine d'inductance d'extinction d'arc, le courant de neutre assigné est d'amplitude réduite, mais d'une durée plus longue (quelques heures ou même permanent).

34. Généralités

34.1 *Domaine d'application*

Les transformateurs de mise à la terre sont des transformateurs triphasés (ou bobines d'inductance triphasées) utilisés pour créer un neutre artificiel pouvant être chargé, pour mise à la terre d'un réseau en un point où il ne l'est pas:

31.6 *Measurement of Q-factor*

The measurement is carried out at tuning frequency. The measured Q-factor, obtained at or corrected to reference temperature, shall be not less than the guaranteed value. The procedure for temperature correction, if applied, shall be stated and be generally in line with Sub-clause 8.7.

31.7 *Measurement of loss*

The total loss of a tuning reactor is composed of the iron loss (if the reactor has an iron core or magnetic shield) and of winding losses from current components of system frequency, possible harmonic frequencies and/or a superimposed non-harmonic frequency (signalling frequency).

The iron loss and power-frequency winding loss are determined by a measurement at power frequency. Losses from higher individual frequency components as specified are calculated or measured at the respective frequencies and added to the power-frequency loss. The total loss is referred to reference temperature and shall not exceed the guaranteed value.

31.8 *Determination of temperature rise*

The temperature-rise test is carried out at power frequency. The test current or voltage shall be adjusted to correspond to the total loss determined according to Sub-clause 31.7.

The test procedure shall be generally in accordance with IEC Publications 76-2 or 726 (for dry-type reactors).

32. **Tolerances**

If a tuning reactor is not provided with means of adjusting the inductance, tolerances on rated inductance shall be specified and guaranteed.

SECTION SIX — EARTHING TRANSFORMERS (NEUTRAL COUPLERS)

33. **Introduction**

Earthing transformers are used in systems with different earthing practices. This is reflected in the specification of neutral current under earth fault conditions.

If the earthing transformer neutral is connected to earth directly or through a current-limiting reactor, its rated neutral current (Sub-clause 35.3) is relatively high but with short duration (only a few seconds).

If the neutral is connected to an arc-suppression reactor, the rated neutral current will be of limited amplitude but longer duration (hours or even continuous rating).

34. **General**

34.1 *Scope*

Earthing transformers are three-phase transformers (or reactors) used to provide an artificial loading neutral for earthing of a system at a point where it is otherwise unearthed:

- par mise à la terre directe;
- par l'intermédiaire d'une bobine d'inductance de point neutre, d'une résistance ou d'une bobine d'extinction d'arc.

34.2 *Conception*

Les transformateurs de mise à la terre sont généralement couplés en zig-zag ou en étoile/triangle. L'enroulement triangle peut être du type ouvert pour permettre l'insertion d'une résistance ou d'une bobine d'inductance pour ajuster l'impédance homopolaire.

Les transformateurs de mise à la terre peuvent comporter un enroulement secondaire (basse tension) pouvant débiter une puissance assignée en régime continu pour l'alimentation des auxiliaires d'un poste.

Note. — Les transformateurs de mise à la terre peuvent aussi être utilisés pour le raccordement d'une charge monophasée entre ligne et neutre dans un réseau sans neutre.

35. Définitions

35.1 *Enroulement principal*

Enroulement du transformateur de mise à la terre dont les bornes de ligne sont prévues pour être reliées aux phases du réseau que l'on veut mettre à la terre.

35.2 *Tension assignée*

Tension à la fréquence assignée, spécifiée pour être appliquée ou développée à vide entre les bornes de ligne des enroulements.

35.3 *Courant de neutre assigné*

Courant traversant la borne de neutre de l'enroulement principal à la fréquence assignée, pour lequel le transformateur de mise à la terre est conçu et qu'il doit supporter en régime permanent ou pendant une durée spécifiée.

35.4 *Courant permanent assigné (pour transformateurs de mise à la terre avec un enroulement secondaire)*

Courant à la fréquence assignée correspondant à la puissance assignée de l'enroulement secondaire.

35.5 *Impédance homopolaire assignée Z_0 (d'un transformateur ou d'une bobine d'inductance triphasée)*

Impédance par phase à la fréquence assignée, égale à trois fois la valeur mesurée entre les bornes de ligne connectées ensemble, d'une bobine couplée en étoile, et la borne du neutre.

35.6 *Définitions supplémentaires*

Pour des définitions supplémentaires, voir la Publication 76-1 de la CEI.

36. Grandeurs assignées

36.1 *Tension assignée de l'enroulement principal*

A moins que les conditions d'exploitation ne justifient le choix d'une valeur plus élevée, la tension assignée doit être égale à la tension entre phases du réseau associé.

- by direct earthing;
- by connection of earthing reactors, resistors or arc suppression reactors.

34.2 *Design*

Earthing transformers are usually connected either in zigzag or star/delta. A delta-connected winding may be of the open type in order to permit the insertion of a resistor or reactor to adjust the zero-sequence impedance.

Earthing-transformers may be specified with a secondary (low-voltage) winding having a continuous rated power for station auxiliary supply.

Note. — Earthing transformers may also be used to connect a single-phase load between line and neutral in a system without neutral conductor.

35. **Definitions**

35.1 *Main winding*

The winding of the earthing transformer the line terminals of which are intended to be connected to the phases of the system to be earthed.

35.2 *Rated voltage*

The voltage at rated frequency specified to be applied or developed at no load between the line terminals of the windings.

35.3 *Rated neutral current*

The current, flowing through the neutral terminal of the main winding at rated frequency which the earthing transformer is designed to carry continuously or for a specified duration.

35.4 *Rated continuous current for earthing transformers having a secondary winding*

The specified current at rated frequency corresponding to the rated power of a secondary winding.

35.5 *Zero-sequence impedance Z_0 (of a three-phase transformer or reactor)*

The impedance per phase at rated frequency, equal to three times the value measured between the line terminals of a three-phase star winding connected together, and its neutral terminal.

35.6 *Further definitions*

For further definitions see IEC Publication 76-1.

36. **Rating**

36.1 *Rated voltage of the main winding*

Unless operating conditions justify the selection of a higher value, the rated voltage shall be equal to the line-to-line voltage of the associated system.

36.2 *Courant de neutre assigné*

Le courant de neutre assigné ne doit pas être inférieur aux courants en régime permanent les plus élevés dans les conditions de service, par exemple en cas de déséquilibre entre phases.

Dans le cas de défauts successifs pendant une période de courte durée, la durée des intervalles de temps entre les applications et le nombre de ces applications doivent être spécifiés par l'acheteur. La durée spécifiée du courant de courte durée doit être choisie en conséquence.

Si nécessaire, l'acheteur peut spécifier un courant permanent causé, par exemple, par le déséquilibre entre phases.

36.3 *Impédance homopolaire assignée*

La valeur de l'impédance homopolaire peut soit ne pas être mentionnée dans la spécification, soit spécifiée, par exemple, quand le transformateur de mise à la terre est utilisé pour limiter le courant de défaut à la terre.

36.4 *Grandeurs assignées supplémentaires*

Pour les grandeurs assignées supplémentaires, voir l'article 4 de la Publication 76-1 de la CEI.

Cela s'applique lorsque le transformateur de mise à la terre est équipé d'un enroulement secondaire pour l'alimentation des auxiliaires d'un poste ou pour d'autres applications similaires.

En cas de fonctionnement de l'enroulement principal avec un enroulement secondaire, les définitions similaires à celles des transformateurs, comme celle de la puissance assignée, sont applicables.

37. **Tenue au courant de neutre assigné**

Les transformateurs de mise à la terre doivent être conçus pour supporter sans dommages les effets thermiques et dynamiques dus au courant de neutre assigné.

38. **Echauffement**

38.1 *Echauffement au courant permanent assigné*

Appliquer les limites d'échauffement données dans l'article 2 de la Publication 76-2 de la CEI et dans l'article 10 de la Publication 726 de la CEI.

38.2 *Température après application d'une charge de courte durée*

La température des enroulements après une charge de courte durée allant jusqu'à 10 s avec le courant de courte durée ne doit pas dépasser les valeurs prescrites au paragraphe 2.1.4 de la Publication 76-5 de la CEI, concernant les enroulements de transformateurs placés dans des conditions de court-circuit.

En cas de fonctionnement avec une bobine d'inductance d'extinction d'arc, les règles de l'article 47 doivent être appliquées.

39. **Niveau d'isolement**

Le niveau d'isolement pour les bornes de ligne de l'enroulement principal d'un transformateur de mise à la terre doit être choisi conformément à la Publication 76-3 de la CEI.

Pour la borne neutre on peut avoir un niveau d'isolement réduit (isolation non uniforme).

36.2 *Rated neutral current*

The rated neutral current shall be specified to be not less than the highest value of continuous current under service conditions, for example phase unbalance.

If successive faults may occur within a short period of time, the time intervals between applications and the number of applications shall be specified by the purchaser. The specified duration of short-time current shall be selected accordingly.

If necessary the purchaser may specify a continuous current caused, for example, by phase unbalance.

36.3 *Rated zero-sequence impedance*

The value of zero-sequence impedance may either be left open in the specification or be specified, for example when the earthing transformer itself is used to limit the earth fault current.

36.4 *Further rating*

For further rating see Clause 4 of IEC Publication 76-1.

This applies when the earthing transformer is provided with a secondary winding for station service supply or similar purposes.

For the operation of the main winding with a secondary winding, definitions such as that of rated power, similar to those for power transformers, are applicable.

37. **Ability to withstand the rated neutral current**

Earthing transformers shall be designed to withstand without damage the thermal and dynamic effects of the rated neutral current.

38. **Temperature rise**

38.1 *Temperature rise at rated continuous current*

Temperature-rise limits given in Clause 2 of IEC Publication 76-2 and Clause 10 of IEC Publication 726 apply.

38.2 *Temperature after short-time current loading*

The temperature of the winding after short-time loading up to 10 s with the short-time current shall not exceed the values prescribed for transformer windings under short-circuit conditions in Sub-clause 2.1.4 of IEC Publication 76-5.

In the case of operation together with arc-suppression reactors the rules of Clause 47 are applicable.

39. **Insulation level**

The insulation level for the line terminals of the main winding of an earthing transformer shall be selected according to IEC Publication 76-3.

For the neutral terminal, the selection of a reduced insulation level may be appropriate (non-uniform insulation).

40. Plaques signalétiques

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique en matériau résistant aux intempéries, fixée à un endroit visible et portant les indications appropriées, énumérées ci-après. Les inscriptions doivent être marquées de façon indélébile (par exemple par gravure chimique, gravure ou estampage).

40.1 *Renseignements à fournir dans tous les cas*

Type de transformateur ou de bobine d'inductance.
Installation extérieure/intérieure.
Numéro de la présente norme.
Nom du constructeur.
Numéro dans la série du constructeur.
Année de fabrication.
Fréquence assignée.
Tension assignée.
Courant de neutre assigné et sa durée.
Niveaux d'isolement.
Couplage des enroulements ou symbole de couplage.
Impédance homopolaire (valeur mesurée).
Type de refroidissement.
Masse totale.
Masse d'huile isolante.

40.2 *Renseignements supplémentaires à fournir dans certains cas*

Dans le cas de transformateurs de mise à la terre avec enroulement secondaire, des renseignements supplémentaires doivent être fournis, comme pour les transformateurs de puissance.

41. Essais

41.1 *Conditions générales pour essais individuels, essais de type et essais spéciaux*

Voir le paragraphe 8.1 de la Publication 76-1 de la CEI.

41.2 *Essais individuels*

- a) Mesure de la résistance des enroulements (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.2).
- b) Mesure de l'impédance homopolaire (paragraphe 41.5).
- c) Mesure des pertes et du courant à vide (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.5).
- d) Essais diélectriques (Publication 76-3 de la CEI).

Pour les transformateurs de mise à la terre avec enroulement secondaire:

- e) Mesure du rapport de transformation et vérification du couplage (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.3).
- f) Mesure de la tension de court-circuit, de l'impédance de court-circuit et des pertes en charge (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.4).

41.3 *Essais de type*

- g) Essais diélectriques (Publication 76-3 de la CEI).
- h) Essais d'échauffement (paragraphe 41.6).

40. Rating plates

Each earthing transformer shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping).

40.1 *Information to be given in all cases*

Type of transformer (or reactor).
Outdoor/indoor application.
Number of this standard.
Manufacturer's name.
Manufacturer's serial number.
Year of manufacture.
Rated frequency.
Rated voltage.
Rated neutral current and duration.
Insulation levels.
Winding connection or connection symbol.
Zero-sequence impedance (measured value).
Type of cooling.
Total mass.
Mass of insulating oil.

40.2 *Additional information to be given in certain cases*

In the case of earthing transformers with a secondary winding, additional information shall be given as for power transformers.

41. Tests

41.1 *General requirements for routine, type and special tests*

See Sub-clause 8.1 of IEC Publication 76-1.

41.2 *Routine tests*

- a) Measurement of winding resistance (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.2).
- b) Measurement of zero-sequence impedance (Sub-clause 41.5).
- c) Measurement of no-load loss and current (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.5).
- d) Dielectric tests (IEC Publication 76-3).

In the case of earthing transformers with a secondary winding:

- e) Measurement of voltage ratio and check of voltage vector relationship (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.3).
- f) Measurement of impedance voltage, short-circuit impedance and load loss (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.4).

41.3 *Type tests*

- g) Dielectric tests (IEC Publication 76-3).
- h) Temperature-rise tests (Sub-clause 41.6).

41.4 *Essais spéciaux*

- i) Essai de tenue au courant de courte durée (paragraphe 41.7).
- j) Mesure du niveau de bruit (Publication 551 de la CEI).

41.5 *Mesure de l'impédance homopolaire*

L'impédance homopolaire doit être mesurée de préférence au courant de neutre assigné et exprimée en ohms par phase. On doit s'assurer que le courant et le temps d'application sont compatibles avec le dimensionnement des enroulements ou des parties métalliques. Si cette condition ne permet pas de faire la mesure au courant de neutre assigné, tout courant entre 25% et 100% de ce courant assigné peut être utilisé.

Pour la méthode de mesure, voir le paragraphe 8.7 de la Publication 76-1 de la CEI.

41.6 *Echauffement pour le courant de neutre assigné*

Dans le cas de transformateurs de mise à la terre d'une durée de fonctionnement n'excédant pas 10 s, la tenue thermique est démontrée par le calcul conformément au paragraphe 2.1.5 de la Publication 76-5 de la CEI.

Dans les autres cas, la mesure doit être faite conformément à l'article 3 de la Publication 76-2 de la CEI.

Au démarrage de l'essai, la valeur initiale de la température de l'huile à la partie supérieure doit être celle d'un régime permanent à vide ou d'un régime permanent avec la puissance assignée de l'enroulement secondaire, pour autant que cela s'applique.

La température des enroulements après essai est déterminée par la méthode de résistance.

41.7 *Démonstration de la tenue au courant de courte durée*

Ce paragraphe s'applique aux transformateurs de mise à la terre avec un courant de neutre de courte durée de 10 s ou moins.

La tenue aux effets dynamiques du courant de courte durée est prouvée par des essais ou par référence aux essais sur des appareils similaires.

Les essais doivent être effectués sur un transformateur de mise à la terre prêt à fonctionner.

Cet essai peut être effectué des deux manières suivantes:

- Le transformateur de mise à la terre est connecté à une alimentation triphasée symétrique, et un court-circuit est établi entre une borne de ligne et la borne de neutre.
- Le transformateur de mise à la terre est connecté à une alimentation monophasée entre les trois bornes de ligne réunies et la borne de neutre.

Le nombre des essais doit être de deux, la durée de chaque essai étant de $0,5 \pm 0,05$ s.

L'intervalle entre les essais consécutifs doit être suffisant pour éviter un échauffement excessif.

Par ailleurs, les mesures doivent être effectuées conformément au paragraphe 2.2 de la Publication 76-5 de la CEI.

42. Tolérances

Tolérance sur l'impédance homopolaire mesurée sous courant de neutre assigné:

$+20\%$ de la valeur spécifiée.

Pour les autres quantités, lorsqu'elles sont sujettes à garantie, par exemple pertes, rapport de transformation, impédance de court-circuit, etc., se référer à la Publication 76-1 de la CEI pour autant que celle-ci soit applicable.

41.4 *Special tests*

- i) Short-time current test (Sub-clause 41.7).
- j) Measurement of acoustic sound level (IEC Publication 551).

41.5 *Measurement of zero-sequence impedance*

The zero-sequence impedance shall be measured preferably at rated neutral current and expressed in ohms per phase. It shall be ensured that the current and the time of application are compatible with the current-carrying capability of the windings or metallic constructional parts. If this condition does not allow the measurement at rated neutral current, any current between 25% and 100% of this rated current may be used.

For the method of measurement see Sub-clause 8.7 of IEC Publication 76-1.

41.6 *Temperature rise under rated neutral current*

In the case of short-time loaded earthing transformers with a loading duration not more than 10 s, the thermal ability is demonstrated by calculation according to Sub-clause 2.1.5 of IEC Publication 76-5.

In other cases measurement shall be carried out in accordance with Clause 3 of IEC Publication 76-2.

At the beginning of the test, the initial value of the top-oil temperature shall be the temperature in continuous no-load service or in continuous service with rated power of the secondary winding, as applicable.

The winding temperature after test is determined by using the resistance method.

41.7 *Demonstration of ability to withstand short-time current*

This sub-clause applies to earthing transformers with a duration of short-time neutral current of 10 s or less.

The ability to withstand the dynamic effects of short-time current is demonstrated by tests or by reference to tests on similar units.

The tests are carried out on an earthing transformer ready for operation.

For the test, two alternative possibilities of connection are possible:

- The earthing transformer shall be connected to a symmetrical three-phase supply and a short-circuit shall be established between one line terminal and the neutral terminal.
- The earthing transformer shall be connected to a single-phase supply between the three line terminals connected together and the neutral terminal.

The number of tests shall be two, the duration of each test being 0.5 ± 0.05 s.

The interval between subsequent tests should be sufficient to avoid an undue accumulation of heat.

Otherwise the measurement shall be carried out in accordance with Sub-clause 2.2 of IEC Publication 76-5.

42. Tolerances

Tolerance on zero-sequence impedance measured at rated neutral current:

$+20\%$ of the specified value.

For other quantities when they are subject to guarantees, for example losses, voltage ratio, short-circuit impedance, etc., refer to IEC Publication 76-1 as applicable.

SECTION SEPT — BOBINES D'INDUCTANCE D'EXTINCTION D'ARC

43. Généralités

43.1 *Domaine d'application*

Les bobines d'inductance d'extinction d'arc sont des bobines d'inductance monophasées destinées à compenser le courant capacitif apparaissant en cas de défauts entre ligne et terre dans un réseau à neutre isolé.

Dans un réseau triphasé, elles sont connectées entre le neutre d'un transformateur de puissance ou de mise à la terre et la terre.

Les bobines d'inductance d'extinction d'arc peuvent avoir une inductance variable, soit par échelons, soit par variation continue, dans une plage spécifiée, afin de pouvoir l'accorder avec la capacité du réseau.

Les bobines d'inductance d'extinction d'arc peuvent comporter un enroulement secondaire pour le raccordement d'une résistance de charge et/ou un enroulement auxiliaire destiné à des mesures.

44. Définitions

44.1 *Tension assignée*

La tension assignée est la tension destinée à être appliquée, à la fréquence assignée, entre les bornes de l'enroulement principal.

44.2 *Courant assigné*

Courant circulant dans l'enroulement principal, quand on applique la tension assignée à la fréquence assignée, pour lequel la bobine est conçue pour fonctionner en permanence ou pendant une durée spécifiée.

Si l'inductance est variable dans une certaine plage, le courant assigné se rapporte à l'inductance minimale.

44.3 *Plage de réglage*

Pour une bobine d'inductance d'extinction d'arc à inductance variable, c'est le rapport entre le courant assigné et le courant le plus faible obtenu pour la tension assignée.

44.4 *Enroulement auxiliaire*

Enroulement destiné à alimenter des appareils de mesure et de commande, conçu pour une basse tension et un faible courant, par exemple 100 V, 10 A.

44.5 *Enroulement secondaire*

Enroulement d'une bobine d'extinction d'arc, destiné à connecter une résistance, prévue pour un régime de courte durée, afin d'augmenter la composante résistive du courant de défaut à la terre.

45. Grandeurs assignées

45.1 *Tension assignée*

La tension assignée doit être au moins égale à la tension la plus élevée qui puisse apparaître entre le neutre du transformateur de puissance ou de mise à la terre, et la terre durant un défaut à la terre.

SECTION SEVEN — ARC-SUPPRESSION REACTORS

43. General**43.1 Scope**

Arc-suppression reactors are single-phase reactors used to compensate for the capacitive current occurring in the case of line-to-earth faults in a system with an insulated neutral.

They are connected between the neutral of a power transformer or an earthing transformer and earth in a three-phase system.

Arc-suppression reactors may have variable inductance, either in steps or continuously, over a specified range to permit tuning with the network capacitance.

Arc-suppression reactors may be provided with a secondary winding for connection of a loading resistor and/or an auxiliary winding for measuring purposes.

44. Definitions**44.1 Rated voltage**

The rated voltage is the voltage at rated frequency assigned to be applied between the terminals of the main winding.

44.2 Rated current

The current flowing through the main winding when rated voltage is applied at rated frequency which the reactor is designed to carry continuously or for a specified duration.

If the inductance is variable over a certain range, the rated current refers to minimum inductance.

44.3 Adjustment range

For a variable-inductance arc-suppression reactor, the ratio between the rated current and the lowest obtainable current at rated voltage.

44.4 Auxiliary winding

A winding for measuring and control purposes, designed for a low voltage and a low current, for instance 100 V, 10 A.

44.5 Secondary winding

A winding of an arc-suppression reactor intended for the connection of a resistor for short-time service duty in order to increase the resistive component of the earth-fault current.

45. Rating**45.1 Rated voltage**

The rated voltage shall be at least equal to the highest voltage which can occur between the neutral of the power transformer, or earthing transformer, and earth during an earth fault.

En général la tension assignée est spécifiée égale à la tension entre phase et neutre du réseau.

La bobine d'inductance doit avoir une caractéristique magnétique essentiellement linéaire jusqu'à la tension assignée (voir figure 1a).

45.2 Courant assigné

Le courant assigné et sa durée doivent être spécifiés comme n'étant pas inférieurs aux valeurs les plus élevées apparaissant pendant les défauts ligne-terre.

Si plusieurs défauts successifs peuvent apparaître pendant une courte période de temps, les intervalles de temps entre les applications et le nombre d'applications doivent être spécifiés par l'acheteur. La durée spécifiée du courant assigné doit être choisie en conséquence.

46. Plage de réglage

Le courant correspondant à la tension et à la fréquence assignées peut être réglé par une des méthodes suivantes:

- a) en ajoutant des portions d'enroulement par échelons finis au moyen d'un changeur de prises hors tension ou en charge,
- b) en faisant varier l'entrefer du circuit magnétique au moyen d'un mécanisme.

Note. — Dans le cas du point a), on recommande une plage de réglage n'excédant pas 2,5:1.

47. Echauffement des enroulements

L'échauffement des enroulements d'une bobine d'inductance d'extinction d'arc au courant assigné ne doit pas dépasser les valeurs suivantes lorsqu'elle est essayée suivant le paragraphe 50.7:

- 80 K pour un courant assigné permanent,
- 100 K pour une durée spécifiée de 2 h maximum, du courant assigné,
- 120 K pour une durée spécifiée de 30 min maximum, du courant assigné.

Note. — Les valeurs d'échauffement tiennent compte de la rareté et de la courte durée des défauts à la terre des réseaux.

Dans le cas d'une charge de courte durée, jusqu'à 10 min, d'un enroulement secondaire, sa température ne doit pas dépasser les valeurs prescrites du paragraphe 2.1.4 de la Publication 76-5 de la CEI, concernant les enroulements de transformateurs placés dans des conditions de court-circuit.

48. Niveau d'isolement

Sauf spécification contraire, le niveau d'isolement de la bobine d'inductance d'extinction d'arc doit être égal à celui des neutres des transformateurs connectés au réseau. Pour l'extrémité de la bobine d'inductance d'extinction d'arc reliée à la terre, on peut spécifier un niveau d'isolement plus réduit (isolation non uniforme).

Pour les valeurs des niveaux d'isolement, voir la Publication 76-3 de la CEI.

49. Plaques signalétiques

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique en matériau résistant aux intempéries, fixée à un endroit visible et portant les indications appropriées, énumérées ci-après. Les inscriptions doivent être marquées de façon indélébile (par exemple par gravure chimique, gravure ou estampage).

Generally the rated voltage is specified equal to the line-to-neutral voltage of the system.

The reactor shall have a magnetic characteristic essentially linear up to rated voltage (see Figure 1a).

45.2 *Rated current*

The rated current and duration shall be specified to be not less than the highest values of current under line-to-earth fault conditions.

If successive faults may occur within a short period of time, the time intervals between applications, and the number of applications shall be specified by the purchaser. The specified duration of rated current shall be selected accordingly.

46. **Adjustment range**

The current corresponding to rated voltage at rated frequency may be varied in one of the following ways:

- a) by adding additional sections of winding in finite steps with an off-load or on-load tap-changer,
- b) by reducing the air gap of the magnetic circuit by mechanical means.

Note. — In the case of Item a) an adjustment range of not more than 2.5:1 is recommended.

47. **Winding temperature rise**

The temperature rise of the windings of arc-suppression reactors at rated current shall not exceed the following values when tested according to Sub-clause 50.7:

- 80 K for continuous rated current,
- 100 K for maximum 2 h specified duration of rated current,
- 120 K for maximum 30 min specified duration of rated current.

Note. — The values of temperature rise take into account the fact that system earth faults occur infrequently and have limited duration.

If short-time loading of a secondary winding for up to 10 min is specified, its temperature shall not exceed the values prescribed for transformer windings under short-circuit conditions in Sub-clause 2.1.4 of IEC Publication 76-5.

48. **Insulation level**

Unless otherwise specified, the insulation level of the arc-suppression reactor shall be equal to that of transformer neutrals in the system. For the terminal of the arc-suppression reactor connected to earth a lower insulation level may be specified (non-uniform insulation).

For values of insulation levels, see IEC Publication 76-3.

49. **Rating plates**

Each arc-suppression reactor shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping).

49.1 *Renseignements à fournir dans tous les cas*

- Type de bobine d'inductance.
- Installation extérieure/intérieure.
- Numéro de la présente norme.
- Nom du constructeur.
- Numéro dans la série du constructeur.
- Année de fabrication.
- Fréquence assignée.
- Tension assignée (tension à vide des enroulements auxiliaire et secondaire, s'il y a lieu).
- Courant assigné (de tous les enroulements) avec durée spécifiée.
- Niveaux d'isolement.
- Type de refroidissement.
- Masse totale.
- Masse d'huile isolante.

49.2 *Renseignements supplémentaires à fournir dans certains cas*

Tableau ou graphique indiquant la plage de réglage pour les bobines d'inductance d'extinction d'arc à inductance variable.

50. **Essais**

50.1 *Conditions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux*

Voir le paragraphe 8.1 de la Publication 76-1 de la CEI.

50.2 *Essais individuels*

- a) Mesure de la résistance des enroulements (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.2).
- b) Mesure des courants pour toute la plage de réglage dans le cas d'une bobine à inductance variable (paragraphe 50.5).
- c) Mesure du rapport de transformation entre enroulements principal et auxiliaire, principal et secondaire, le cas échéant (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.3).
- d) Essais diélectriques (paragraphe 50.8).
- e) Essais du mécanisme de passage des prises ou de variation d'entrefer, le cas échéant (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.8).

50.3 *Essais de type*

- f) Essais diélectriques (paragraphe 50.8).
- g) Essai d'échauffement (paragraphe 50.7).

50.4 *Essais spéciaux*

- h) Mesure des pertes.
- i) Mesure de la caractéristique tension-courant jusqu'à 1,1 fois la tension assignée.

50.5 *Mesure du courant*

La mesure doit être effectuée pour l'ensemble de la plage de réglage, de préférence à tension et fréquence assignées. Si cela s'avère impossible, la tension d'essai assignée doit être aussi élevée que possible.

50.6 *Mesure de la tension à vide*

Les mesures de la tension à vide des enroulements auxiliaire et secondaire doivent être effectuées sur la totalité de la plage de réglage, à la tension assignée appliquée à l'enroulement principal.

49.1 *Information to be given in all cases*

- Type of reactor.
- Outdoor/indoor application.
- Number of this standard.
- Manufacturer's name.
- Manufacturer's serial number.
- Year of manufacture.
- Rated frequency.
- Rated voltage (no-load voltages of auxiliary and secondary windings, if applicable).
- Rated current (of all windings) and specified duration.
- Insulation levels.
- Type of cooling.
- Total mass.
- Mass of insulating oil.

49.2 *Additional information to be given in certain cases*

For an arc-suppression reactor with variable inductance, a table or graph indicating the adjusting range.

50. Tests

50.1 *General requirements for routine, type and special tests*

See Sub-clause 8.1 of IEC Publication 76-1.

50.2 *Routine tests*

- a) Measurement of winding resistance (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.2).
- b) Measurement of current over the whole adjustment range, if the reactor has variable inductance (Sub-clause 50.5).
- c) Measurement of voltage ratio between main winding and auxiliary and secondary windings, where appropriate (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.3).
- d) Dielectric tests (Sub-clause 50.8).
- e) Operation tests of tap-changer or core air gap mechanism, where appropriate (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.8).

50.3 *Type tests*

- f) Dielectric tests (Sub-clause 50.8).
- g) Temperature-rise test (Sub-clause 50.7).

50.4 *Special tests*

- h) Loss measurement.
- i) Measurement of voltage-current characteristic up to 1.1 times rated voltage.

50.5 *Measurement of current*

The measurement shall be made over the whole range of adjustment, preferably at rated voltage and rated frequency. If this is impracticable, the test voltage chosen shall be as high as possible.

50.6 *Measurement of no-load voltage*

The measurement of no-load voltages of any of the auxiliary and secondary windings shall be made over the whole adjustment range, at rated voltage on the main winding.

50.7 *Essai d'échauffement*

La mesure doit être effectuée avec les bornes ouvertes des enroulements auxiliaire et secondaire, conformément à l'article 3 de la Publication 76-2 de la CEI.

Avant l'essai, la bobine doit être à une température pratiquement voisine de la température ambiante.

La température de l'enroulement à la fin de l'essai est déterminée par la méthode de la résistance.

50.8 *Essais diélectriques*

Les tensions assignées de tenue diélectrique sont vérifiées par les essais suivants:

Isolation uniforme

a) Essai par tension appliquée (Publication 76-3 de la CEI, article 10) (essai individuel).

b) Essai par tension induite (Publication 76-3 de la CEI, paragraphe 11.2) (essai individuel).

c) Essai au choc de foudre (Publication 76-3 de la CEI, paragraphe 12.3.2) (essai de type).

Isolation non uniforme

a) Essai par tension appliquée de la borne du neutre de l'enroulement principal (Publication 76-3 de la CEI, paragraphe 10) (essai individuel).

b) Essai par tension induite (Publication 76-3 de la CEI, paragraphe 11.3) (essai individuel).

c) Essai au choc de foudre (Publication 76-3 de la CEI, paragraphe 12.3.2) (essai de type).

Les bobines à inductance variable doivent être sur la position donnant le courant minimal pendant ces essais.

Si l'essai par tension induite n'est pas réalisable, il doit être remplacé par un essai au choc de foudre après accord entre acheteur et constructeur, à la commande. Dans ce cas, on peut tolérer une durée plus longue de la montée du front d'onde, jusqu'à 13 μ s. Dans le cas d'un enroulement avec prises, les essais doivent être effectués sur les positions maximale et minimale.

51. **Tolérances**

Le tableau I donne les tolérances à appliquer à certaines grandeurs assignées ainsi qu'à d'autres grandeurs quand elles font l'objet d'une garantie se référant à cette norme. Les tolérances pour les autres valeurs non mentionnées doivent être spécifiées à l'appel d'offre et à la commande.

TABLEAU I

Tolérances

Grandeurs	Tolérances
1) Courant assigné de l'enroulement principal à l'inductance minimale et à la tension assignée	$\pm 5\%$ de la valeur assignée
2) Courants pour les autres réglages	$\pm 10\%$ des valeurs spécifiées
3) Tension à vide des enroulements auxiliaire et secondaire pour le courant assigné dans l'enroulement principal	$\pm 10\%$ des valeurs spécifiées

50.7 *Temperature-rise test*

The test shall be made with the terminals of any auxiliary and secondary windings open, in accordance with Clause 3 of IEC Publication 76-2.

Before the test, the reactor shall be substantially close to ambient temperature.

The winding temperature at the end of the test is determined using the resistance method.

50.8 *Dielectric tests*

The rated withstand voltages are verified by the following dielectric tests:

Uniform insulation

- a) Separate-source power-frequency voltage test (IEC Publication 76-3, Clause 10 (routine test)).
- b) Induced overvoltage test (IEC Publication 76-3, Sub-clause 11.2, (routine test)).
- c) Lightning impulse test (IEC Publication 76-3, Sub-clause 12.3.2 (type test)).

Non-uniform insulation

- a) Separate-source power-frequency voltage test for the earth terminal of the main winding (IEC Publication 76-3, Clause 10 (routine test)).
- b) Induced overvoltage test, (IEC Publication 76-3, Sub-clause 11.3 (routine test)).
- c) Lightning impulse test (IEC Publication 76-3, Sub-clause 12.3.2 (type test)).

Arc-suppression reactors with variable inductance shall be set for minimum current during these tests.

If the induced overvoltage withstand test is impracticable, the test shall be replaced by a lightning impulse test, subject to agreement between purchaser and manufacturer at the time of the order. In this case, however, a longer duration of the impulse voltage front time is allowed, up to 13 μ s. If the reactor has a tapped winding, the lightning impulse test shall be made on both the maximum and minimum tappings.

51. Tolerances

Table I gives tolerances to be applied to certain rated quantities and to other quantities when they are subject to guarantees referring to this standard. Tolerances for other quantities not mentioned shall be specified in the enquiry and the order.

TABLE I
Tolerances

Quantities	Tolerances
1) Current of main winding at minimum inductance and rated voltage	$\pm 5\%$ of the rated value
2) Currents at other settings	$\pm 10\%$ of specified values
3) No-load voltage of auxiliary and secondary windings at rated current in the main winding	$\pm 10\%$ of specified values

SECTION HUIT — BOBINES D'INDUCTANCE DE LISSAGE

52. Généralités

52.1 *Domaine d'application*

Les bobines d'inductance de lissage sont destinées à opposer une impédance élevée à la circulation des courants harmoniques et à réduire les pointes de courant en cas de défauts dans les réseaux à courant continu. Deux domaines principaux d'application pour les bobines d'inductance de lissage sont définis ci-après:

- a) Le courant continu présente des composantes harmoniques superposées, d'amplitude importante. C'est le cas des réseaux à courant continu pour applications industrielles. Etant donné que les tensions des réseaux ne dépassent généralement pas 10 kV, les bobines d'inductance de lissage sont habituellement conçues pour installation intérieure.
- b) Le courant continu présente des composantes harmoniques superposées, de faible amplitude. C'est ce qui se produit dans les réseaux de transport d'énergie en courant continu à haute tension. Les tensions continues de ces réseaux sont généralement de 50 kV ou plus.

52.2 *Conception*

Les bobines d'inductance de lissage peuvent être du type sec ou du type immergé dans l'huile. Elles peuvent être réalisées avec ou sans circuit magnétique à entrefers, avec ou sans blindage magnétique.

Elles peuvent présenter une caractéristique magnétique linéaire ou non linéaire.

53. Définitions

53.1 *Courant continu assigné I_{dN}*

Valeur moyenne arithmétique du courant pour lequel l'appareil est conçu en régime permanent.

53.2 *Courants harmoniques I_h*

Valeurs efficaces des courants aux fréquences harmoniques respectives.

53.3 *Tension continue assignée U_{dN}*

Tension continue du réseau auquel la bobine d'inductance doit être connectée.

53.4 *Courant de courte durée assigné I_{sN}*

Valeur de crête du courant de courte durée que l'appareil doit pouvoir supporter.

53.5 *Inductance différentielle assignée L_{dN}*

Inductance différentielle assignée au courant continu assigné avec superposition d'un courant harmonique spécifié.

53.6 *Résistance en courant continu de l'enroulement R_d*

La résistance en courant continu de l'enroulement, rapportée à la température de référence (voir aussi Publication 76-1 de la CEI, tableau IV).

SECTION EIGHT – SMOOTHING REACTORS

52. General

52.1 Scope

Smoothing reactors are intended to provide a high impedance to the flow of harmonic currents and to reduce the current rise on failures in d.c. systems. Two main application fields for smoothing reactors are defined as follows:

- a) The d.c. has large superimposed harmonic components. This situation occurs in d.c. systems for industrial applications. Since the system voltages are generally not higher than 10 kV, the smoothing reactors are usually designed for indoor installation.
- b) The d.c. has small superimposed harmonic components. This situation occurs in HVDC transmission systems. The d.c. system voltages are generally 50 kV or higher.

52.2 Design

Smoothing reactors may be of dry-type or of oil-immersed type.

They may be designed with or without gapped iron core or magnetic shield.

They may have a linear or non-linear magnetic characteristic.

53. Definitions

53.1 Rated d.c. current I_{dN}

The arithmetic mean value of the current which the apparatus is designed to carry continuously.

53.2 Harmonic currents I_h

The r.m.s. values of the currents at their respective harmonic frequencies.

53.3 Rated d.c. voltage U_{dN}

The d.c. voltage of the system to which the reactor is to be connected.

53.4 Rated short-time current I_{sN}

The peak value of the short-time current which the apparatus is designed to withstand.

53.5 Rated incremental inductance L_{dN}

The incremental inductance at rated direct current with specified harmonic current superimposed.

53.6 Winding d.c. resistance R_d

The d.c. resistance of the winding related to the reference temperature (see also IEC Publication 76-1, Table IV).

54. Grandeurs assignées

Le courant continu assigné, l'inductance différentielle assignée et le spectre des courants harmoniques doivent être spécifiés par l'acheteur.

55. Niveau d'isolement

55.1 Niveau d'isolement de l'enroulement par rapport à la terre

Ce niveau doit correspondre au niveau d'isolement du système à courant continu associé.

Note. — Des conditions supplémentaires concernant les distances de cheminement pour l'isolation externe doivent faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

Pour les bobines de lissage, les niveaux d'isolement seront:

- la tension de tenue en courant continu,
- la tension de tenue au choc de foudre (s'il y a lieu),
- la tension de tenue au choc de manœuvre (s'il y a lieu).

Les tensions de tenue assignées doivent être spécifiées par l'acheteur.

55.2 Conditions d'isolement le long de l'enroulement

Les conditions d'isolement le long de l'enroulement doivent faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

56. Echauffement

Appliquer les limites d'échauffement données dans l'article 2 de la Publication 76-2 de la CEI.

57. Plaques signalétiques

Chaque bobine d'inductance doit être munie d'une plaque signalétique en matériau résistant aux intempéries, fixée à un endroit visible et portant les indications appropriées, énumérées ci-après. Les inscriptions doivent être marquées de façon indélébile (par exemple par gravure chimique, gravure ou estampage).

57.1 Renseignements à fournir dans tous les cas

- Type de bobine d'inductance de lissage.
- Installation extérieure/intérieure.
- Numéro de la présente norme.
- Nom du constructeur.
- Numéro dans la série du constructeur.
- Année de fabrication.
- Tension maximale du réseau continu.
- Niveau(x) d'isolement.
- Courant continu assigné.
- Courant de courte durée assigné.
- Inductance différentielle assignée.
- Type de refroidissement.
- Masse totale.
- Masse d'huile isolante.

54. Rating

The rated direct current, the rated incremental inductance, and the spectrum of the harmonic currents shall be specified by the purchaser.

55. Insulation level**55.1 *Insulation level of the winding to earth***

This level shall correspond to the insulation level of the associated d.c. system.

Note. — Additional requirements regarding creepage distance for external insulation shall be subject to agreement between manufacturer and purchaser.

For smoothing reactors the insulation levels are:

- d.c. withstand voltage,
- lightning impulse withstand voltage (if applicable),
- switching impulse withstand voltage (if applicable).

The rated withstand voltages shall be specified by the purchaser.

55.2 *Insulation requirements across the winding*

The insulation requirements across the winding are subject to agreement between manufacturer and purchaser.

56. Temperature rise

The temperature-rise limits given in Clause 2 of IEC Publication 76-2 apply.

57. Rating plates

Each reactor shall be provided with a rating plate of weatherproof material, fitted in a visible position, showing the appropriate items indicated below. The entries on the plate shall be indelibly marked (e.g. by etching, engraving or stamping).

57.1 *Information to be given in all cases*

- Type of smoothing reactor.
- Outdoor/indoor application.
- Number of this standard.
- Manufacturer's name.
- Manufacturer's serial number.
- Year of manufacture.
- Highest d.c. system voltage.
- Insulation level(s).
- Rated d.c. current.
- Rated short-time current.
- Rated incremental inductance.
- Type of cooling.
- Total mass.
- Mass of insulating oil.

57.2 *Renseignements complémentaires à fournir dans certains cas*

Classe thermique de l'isolation (pour les inductances de type sec uniquement).

Echauffement (en cas de valeur différente de la valeur normale).

Détails concernant le refroidissement par eau (pour les bobines d'inductance à refroidissement par eau).

Masse de transport (pour bobines d'inductance dont la masse totale est supérieure à 5 t).

Masse de décuivage (pour bobines d'inductance dont la masse totale est supérieure à 5 t).

Nature du liquide isolant, si ce n'est pas de l'huile minérale.

58. **Essais**

58.1 *Conditions générales pour les essais individuels, les essais de type et les essais spéciaux*

Voir le paragraphe 8.1 de la Publication 76-1 de la CEI.

58.2 *Essais individuels*

58.2.1 Bobines d'inductance couvertes par le point *a*) du paragraphe 52.1:

a) Mesure de la résistance de l'enroulement en courant continu (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.2).

b) Mesure de l'inductance différentielle (paragraphe 58.5).

c) Essai par tension appliquée avec tensions alternative et/ou continue, selon les applications (paragraphe 58.6.1).

58.2.2 Bobines d'inductance couvertes par le point *b*) du paragraphe 52.1:

a) Mesure de la résistance de l'enroulement en courant continu (Publication 76-1 de la CEI, paragraphe 8.2).

b) Mesure de l'inductance différentielle (paragraphe 58.5).

c) Essai en tension continue (paragraphe 58.6.2).

d) Essai au choc de foudre (paragraphe 58.7).

e) Essai au choc de manœuvre (paragraphe 58.8).

58.3 *Essai de type*

Essai d'échauffement (paragraphe 58.9).

58.4 *Essais spéciaux*

a) Essai de tenue au courant de courte durée (paragraphe 58.10).

b) Mesure du niveau de bruit (paragraphe 58.11).

c) Mesure de l'impédance en haute fréquence (paragraphe 58.12).

d) Mesure des pertes (paragraphe 58.9).

58.5 *Mesure de l'inductance différentielle*

Pour les bobines d'inductance de lissage qui n'ont ni circuit magnétique ni blindage magnétique, l'inductance peut être mesurée à n'importe quelle valeur du courant et de la fréquence.

Pour les bobines d'inductance de lissage avec un circuit ou blindage magnétique, la mesure d'inductance doit être faite de préférence au courant harmonique spécifié, superposé au courant continu assigné (valeur de l'inductance différentielle assignée) et à courant continu nul (valeur de l'inductance à vide). Le circuit de mesure décrit à la figure 4 peut être utilisé.

Si l'on dispose de deux bobines de lissage identiques, il est recommandé d'avoir recours à un couplage de mesure à pont comme celui décrit à la figure 5.

57.2 *Additional information to be given in certain cases*

Thermal class of insulation (for dry-type reactors only).
Temperature rise (if not a normal value).
Details regarding water-cooling (for water-cooled reactors).

Transportation mass (for reactors exceeding 5 t total mass).
Untanking mass (for reactors exceeding 5 t total mass).
Type of insulating liquid, if not mineral oil.

58. Tests

58.1 *General requirements for routine, type and special tests*

See Sub-clause 8.1 of IEC Publication 76-1.

58.2 *Routine tests*

58.2.1 Reactors covered by Item *a*) of Sub-clause 52.1:

- a*) Measurement of winding d.c. resistance (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.2).
- b*) Measurement of incremental inductance (Sub-clause 58.5).
- c*) Separate-source voltage withstand test with a.c. and/or d.c. voltages, as applicable (Sub-clause 58.6.1).

58.2.2 Reactors covered by Item *b*) of Sub-clause 52.1:

- a*) Measurement of winding d.c. resistance (IEC Publication 76-1, Sub-clause 8.2).
- b*) Measurement of incremental inductance (Sub-clause 58.5).
- c*) D.C. voltage withstand test (Sub-clause 58.6.2).
- d*) Lightning impulse test (Sub-clause 58.7).
- e*) Switching impulse test (Sub-clause 58.8).

58.3 *Type test*

Temperature-rise test (Sub-clause 58.9).

58.4 *Special tests*

- a*) Short-time current withstand test (Sub-clause 58.10).
- b*) Measurement of acoustic sound level (Sub-clause 58.11).
- c*) Measurement of high-frequency impedance (Sub-clause 58.12).
- d*) Loss measurement (Sub-clause 58.9).

58.5 *Measurement of incremental inductance*

For smoothing reactors which have neither magnetic core nor magnetic shield inductance may be measured at any value of current and frequency.

For smoothing reactors with magnetic core or shield inductance shall preferably be measured at specified harmonic current superimposed on rated d.c. current (rated incremental inductance value) and at zero d.c. current (no-load inductance value). A measuring circuit as shown in Figure 4 can be used.

If two identical smoothing reactors are available, a bridge measurement connection as shown in Figure 5 is recommended.

Pour l'essai individuel, la mesure de l'inductance différentielle peut être effectuée en courant alternatif seul.

D'autres méthodes peuvent être utilisées après accord entre acheteur et constructeur.

Note. — Pour les bobines d'inductance de forte puissance couvertes par le point *b*) du paragraphe 52.1 avec circuit magnétique ou blindage magnétique, la mesure de l'inductance différentielle avec des courants continus et des courants alternatifs superposés n'est pas réalisable. On peut aussi spécifier que la caractéristique magnétique entière sera déterminée suivant une méthode agréée.

58.6 Essais par tension appliquée

58.6.1 Bobine d'inductance de lissage couverte par le point *a*) du paragraphe 52.1

L'essai doit être effectué, en général, conformément à l'article 10 de la Publication 76-3 de la CEI ou au paragraphe 492.1.4 de la Publication 146 de la CEI, si applicable.

58.6.2 Bobine d'inductance de lissage couverte par le point *b*) du paragraphe 52.1

Les essais suivants en tension continue appliquée (source séparée) doivent être effectués sur les bobines d'inductance de lissage qui sont placées côté haute tension continue.

Ces essais ne s'appliquent pas aux bobines d'inductance de lissage au potentiel de la terre (côté neutre). Les conditions d'essai pour de telles bobines d'inductance doivent faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

a) Bobines d'inductance de type immergé dans l'huile

i) Essai en tension continue:

Amplitude de la tension d'essai (polarité positive)	1,5 U_d
U_d = tension continue de service la plus élevée en régime permanent	
Durée de l'essai	60 min
Intervalle pour mesure de décharges partielles (DP)	les dix dernières minutes
Nombre maximal admissible d'impulsions de DP	10 impulsions dépassant 2 000 pC

ii) Essai d'inversion de polarité:

Amplitude de la tension d'essai	$k \times U_d$
Séquence d'inversion et polarité	2 h (négative) 2 min temps d'inversion 30 min (positive)

Notes 1. — L'inversion de polarité de la source à courant continu ne peut souvent pas être réalisée en usine en 2 min. Dans le cas où le temps d'inversion de polarité est supérieur à 2 min, le choix de la solution de remplacement indiquée au point *iii*), ci-dessous, doit faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

2. — Le facteur k représente une marge de sécurité et est égal à 1.1 sauf spécification contraire.

iii) Essai en tension continue de courte durée:

(Cet essai est une solution de remplacement à l'essai d'inversion de polarité.)

Amplitude de la tension d'essai (polarité négative)	2 U_d
Durée de l'essai	2 min

b) Bobines d'inductance de type sec, sans noyau magnétique

Les bobines d'inductance de type sec, sans noyau magnétique, sont habituellement montées sur des isolateurs. Elles ne subiront que l'essai mentionné au point *iii*) ci-dessus.

For routine test measurement of incremental inductance, the use of one a.c. current is permitted.

Other methods can be used subject to agreement between purchaser and manufacturer.

Note. — For large reactors covered by Item *b*) of Sub-clause 52.1 with magnetic core or shield, measurement of incremental inductance with d.c. and superimposed a.c. currents is not practicable. It may also be specified that the whole magnetic characteristic up to rated d.c. current shall be determined according to an agreed method.

58.6 *Separate-source voltage withstand test*

58.6.1 *Smoothing reactors covered by Item a) of Sub-clause 52.1*

The test shall be carried out in general accordance with IEC Publication 76-3, Clause 10, or IEC Publication 146, Sub-clause 492.1.4, as applicable.

58.6.2 *Smoothing reactors covered by Item b) of Sub-clause 52.1*

The following d.c. tests (separate source) shall be carried out on smoothing reactors which are located on the d.c. high voltage side.

These tests are not applicable for smoothing reactors at earth potential (neutral side). The test conditions for such reactors have to be agreed upon between purchaser and manufacturer.

a) Oil-immersed reactors

i) D.C. voltage withstand test:

Test voltage amplitude (positive polarity)	$1.5 U_d$
U_d = highest continuous d.c. operating voltage	
Test duration	60 min
Interval for partial discharge (PD) measurement	the last 10 min
Maximum allowable number of PD pulses	10 pulses exceeding 2 000 pC

ii) Polarity reversal test:

Test voltage amplitude	$k \times U_d$
Reversal sequence and polarity	2 h (negative) — 2 min reversal time 30 min (positive)

Notes 1. — The polarity reversal time of 2 min for the d.c. test source can often not be achieved in the test plant. In such cases a polarity reversal time of longer than 2 min, or the choice of the alternative covered in Item iii) below, is subject to agreement between purchaser and manufacturer.

2. — The factor k represents a safety margin and is 1.1 unless otherwise specified.

iii) Short time d.c. voltage test:

(This test is an alternative to the polarity reversal test.)

Test voltage amplitude (negative polarity)	$2 U_d$
Test duration	2 min

b) Dry-type air core reactors

Dry-type air core reactors are usually mounted on support insulators. They are tested analogously to Item iii) only.

Essai en tension continue:	
Amplitude de la tension d'essai (entre enroulement et terre, polarité positive)	$2 U_d$
Durée de l'essai	2 min

Note. — L'exécution de cet essai, uniquement comme essai de type, doit faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

58.7 Essai au choc de foudre

Cet essai doit être effectué, en général, conformément aux articles 12 et 13 de la Publication 76-3 de la CEI, ou à l'article 19 de la Publication 726 de la CEI et à la Publication 722 de la CEI. L'essai doit être effectué successivement sur chacune des bornes, l'autre étant mise à la terre.

Note. — En cas de différences entre les conditions d'isolement le long des enroulements et les conditions d'isolement par rapport à la terre, la procédure utilisée pour l'essai au choc de foudre doit faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

58.8 Essai au choc de manœuvre

Cet essai doit être effectué, en général, conformément à l'article 14 de la Publication 76-3 de la CEI et à la Publication 722 de la CEI, avec les exceptions suivantes:

L'essai doit être réalisé entre les deux bornes connectées ensemble et la terre. L'onde de tension doit être de polarité négative.

Note. — S'il s'agit de bobines d'inductance de type sec, les essais doivent être effectués avec des ondes de polarités positive et négative.

Si ces bobines d'inductance sont du type extérieur, les essais sous pluie doivent faire l'objet d'un accord entre acheteur et constructeur.

58.9 Essai d'échauffement et mesure des pertes

L'essai doit être effectué, en général, conformément à la Publication 76-2 de la CEI.

Le courant continu d'essai I_T circulant dans l'inductance doit être déterminé à partir de la relation suivante:

$$I_T = \sqrt{\frac{R \cdot I_{dN}^2 + \Sigma P_H}{R}}$$

où:

I_T = courant continu d'essai

R = résistance de l'enroulement en courant continu

I_{dN} = courant continu assigné

ΣP_H = somme des pertes harmoniques calculées

Les pertes seront déterminées en faisant le produit de la résistance en courant continu par le carré du courant continu d'essai dans l'enroulement.

58.9.1 Bobines d'inductance de type sec

L'essai doit être effectué avec un courant I_t d'une valeur aussi voisine que possible de I_T (c'est-à-dire égale à cette valeur ou à au moins 90% de celle-ci) et se poursuivra jusqu'à ce que l'augmentation de l'échauffement $\Delta\theta_t$ de l'enroulement, mesuré par la méthode de variation de résistance, ne soit pas supérieure à 2 K par heure.

D.C. voltage withstand test:

Test voltage amplitude (winding to earth,
positive polarity)

 $2 U_d$

Test duration

 2 min

Note. — The performance of this test as a type test only is subject to agreement between purchaser and manufacturer.

58.7 Lightning impulse test

This test shall be carried out in general accordance with Clauses 12 and 13 of IEC Publication 76-3, or Clause 19 of IEC Publication 726 and IEC Publication 722. The test shall be carried out on each terminal in succession with the opposite terminal earthed.

Note. — If insulation requirements across the winding differ from those to earth, the impulse test procedure should be subject to agreement between purchaser and manufacturer.

58.8 Switching impulse test

This test shall be carried out generally in accordance with Clause 14 of IEC Publication 76-3 and IEC Publication 722, with the following exceptions:

The test shall be performed between the two terminals connected together and earth. The voltage impulse shall be of negative polarity.

Note. — If dry-type reactors are used, tests should be of positive and negative polarity.

If such reactors are for outdoor application, wet tests are subject to agreement between purchaser and manufacturer.

58.9 Temperature-rise test and loss measurement

The test shall be carried out in general accordance with IEC Publication 76-2.

The test current I_T flowing in the reactor shall be determined from the following relation:

$$I_T = \sqrt{\frac{R \cdot I_{dN}^2 + \Sigma P_H}{R}}$$

where:

I_T = d.c. test current

R = winding d.c. resistance

I_{dN} = rated d.c. current

ΣP_H = sum of calculated harmonic loss

The loss shall be determined as the product of the d.c. resistance and the square of the d.c. test current in the winding.

58.9.1 Dry-type reactors

The test shall be carried out at a value of current I_t as near as possible to I_T (i.e. equal to or at least 90% of this value) and continued until the temperature-rise increment $\Delta\theta_t$ of the winding measured by the resistance method does not exceed 2 K in one hour.

L'échauffement de l'enroulement $\Delta\theta_T$ au-dessus de la température de l'air de refroidissement pour le courant d'essai I_T est calculé par la formule:

$$\Delta\theta_T = \Delta\theta_t \left[\frac{I_T}{I_t} \right]^q$$

La valeur de q est égale à:

1,6 pour les bobines à refroidissement AN

1,8 pour les bobines à refroidissement AF

La température θ_t de l'enroulement doit être calculée à partir de la mesure par variation de résistance conformément au paragraphe 3.3 de la Publication 76-2 de la CEI.

58.9.2 *Bobines d'inductance de type immergé dans l'huile*

L'échauffement de l'huile à la partie supérieure et l'échauffement de l'enroulement doivent être déterminés conformément à l'article 3 de la Publication 76-2 de la CEI.

58.10 *Essai de tenue au courant de courte durée*

Cet essai doit être effectué, en général, conformément au paragraphe 2.2 de la Publication 76-5 de la CEI.

58.11 *Mesure du niveau de bruit*

Cet essai doit être effectué, en général, conformément à la Publication 551 de la CEI.

58.12 *Mesure de l'impédance en haute fréquence*

La plage de fréquence doit être:

- a) de 50 Hz à 2 500 Hz entre bornes ou
de 60 Hz à 3 000 Hz entre bornes,
- b) de 30 kHz à 1 MHz entre bornes
entre borne et terre.

59. Tolérances

Tolérances sur l'inductance différentielle assignée pour les bobines d'inductance couvertes par le point a) du paragraphe 52.1:

$$+20\%$$

Tolérances sur l'inductance différentielle assignée pour les bobines d'inductance couvertes par le point b) du paragraphe 52.1:

$$\pm 7\%$$

The temperature rise of the winding $\Delta\theta_T$ above the temperature of the cooling air for test current I_T is calculated from the formula:

$$\Delta\theta_T = \Delta\theta_t \left[\frac{I_T}{I_t} \right]^q$$

The value of q shall be taken as:

for AN cooled reactors: 1.6
for AF cooled reactors: 1.8

The temperature θ_t of the winding shall be calculated from its measured resistance in accordance with Sub-clause 3.3 of IEC Publication 76-2.

58.9.2 *Oil-immersed type reactors*

The top-oil temperature rise and winding temperature rise shall be determined in accordance with Clause 3 of IEC Publication 76-2.

58.10 *Short-time current withstand test*

This test shall be carried out generally in accordance with Sub-clause 2.2 of IEC Publication 76-5.

58.11 *Measurement of acoustic sound level*

This test shall be carried out in accordance with IEC Publication 551.

58.12 *Measurement of high-frequency impedance*

The measuring frequency range shall be:

- a) 50 Hz to 2 500 Hz terminal-terminal, or
60 Hz to 3 000 Hz terminal-terminal,
- b) 30 kHz to 1 MHz terminal-terminal
terminal-earth.

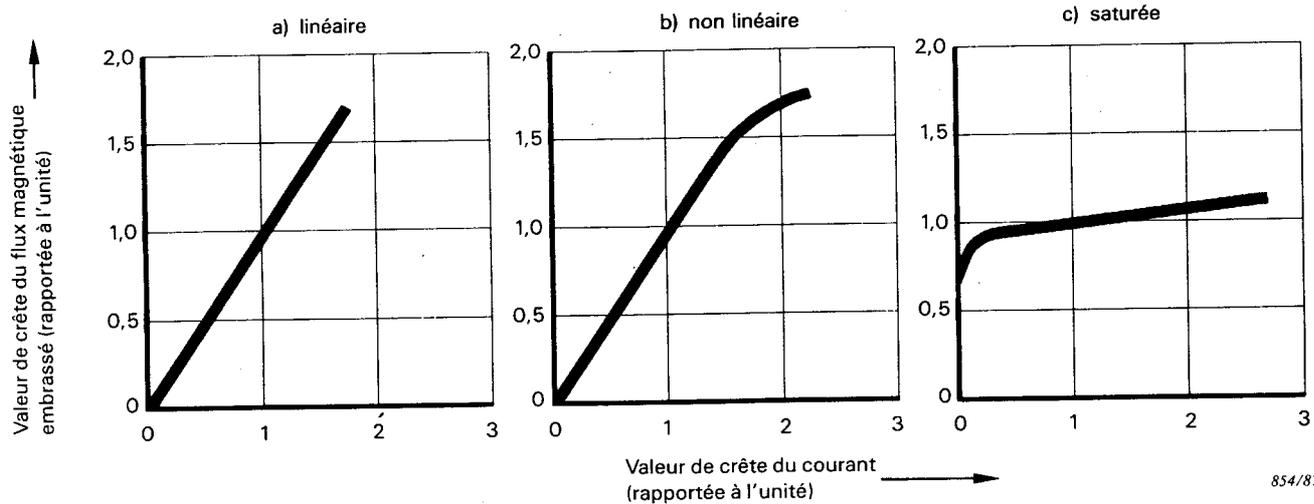
59. Tolerances

Tolerances on the rated incremental inductance for reactors covered by Item *a)* of Sub-clause 52.1:

$$+20\%$$

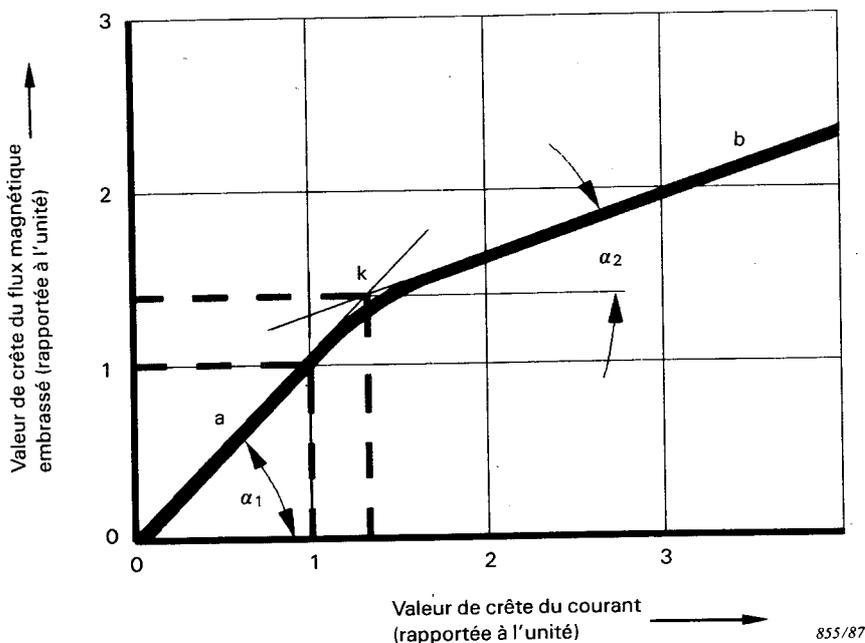
Tolerances on the rated incremental inductance for reactors covered by Item *b)* of Sub-clause 52.1:

$$\pm 7\%$$



854/87

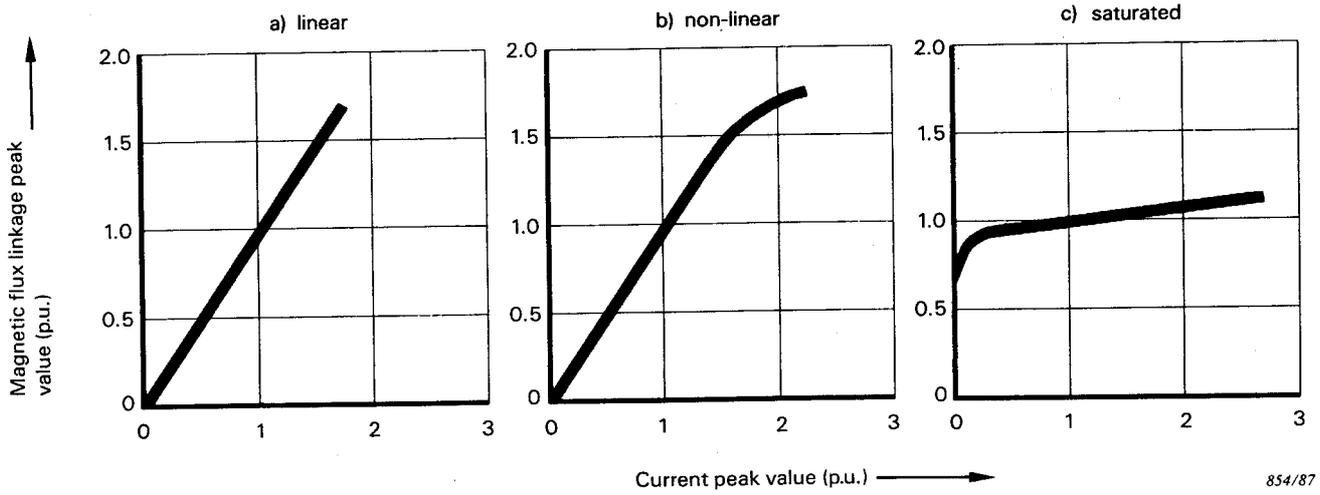
FIG. 1. — Types de caractéristique magnétique pour bobines d'inductance shunt (exemples).



855/87

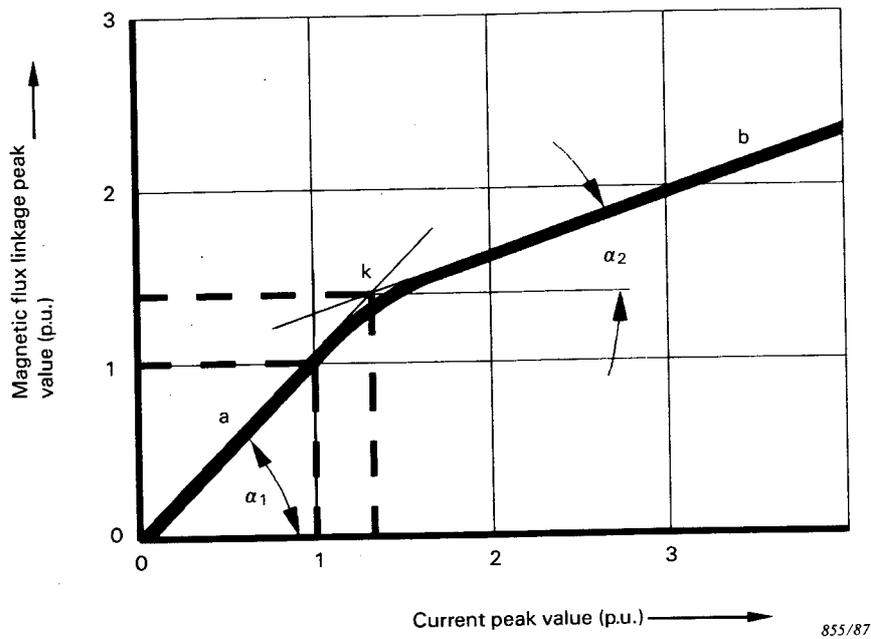
- α_1 = angle de pente de la caractéristique dans la partie non saturée
- α_2 = angle de pente de la caractéristique dans la partie saturée
- k = coude de saturation, point d'intersection des deux droites a et b.

FIG. 2. — Paramètres de la caractéristique magnétique non linéaire (exemple).



854/87

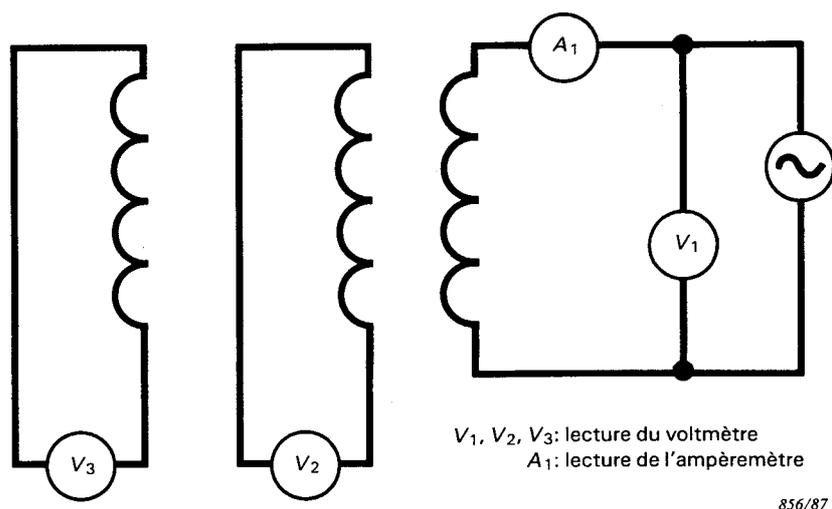
FIG. 1. — Types of magnetic characteristic for shunt reactors (examples).



855/87

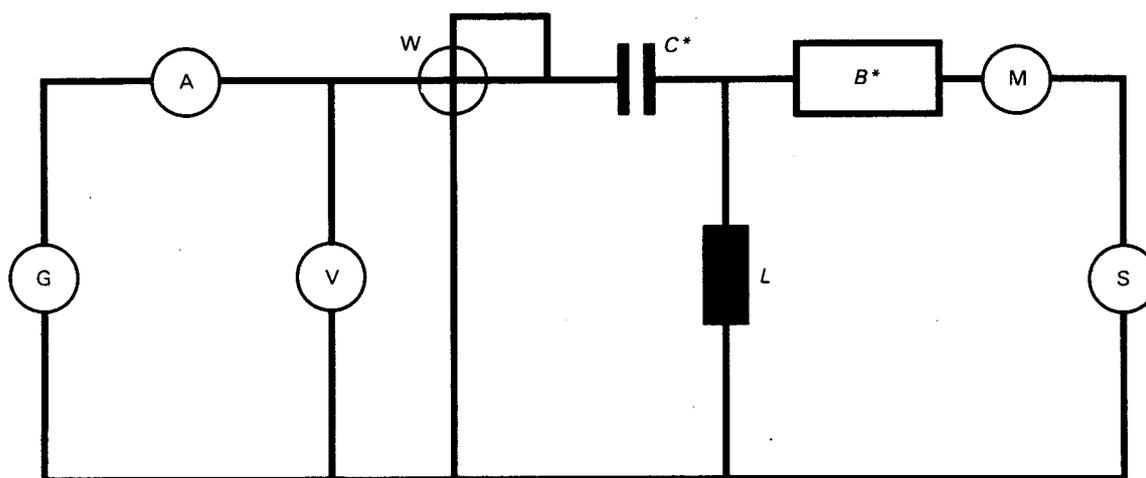
- α_1 = slope angle of the characteristic in the non-saturated part
- α_2 = slope angle of the characteristic in the saturated part
- k = saturation knee point, intersection of the two straight lines a and b

FIG. 2. — Parameters for non-linear magnetic characteristic (example).



Réactance mutuelle = $\frac{V_2}{A_1}$ ou $\frac{V_3}{A_1}$ respectivement

FIG. 3. — Mesure de la réactance mutuelle pour les bobines d'inductance triphasées ou bancs de trois bobines monophasées.

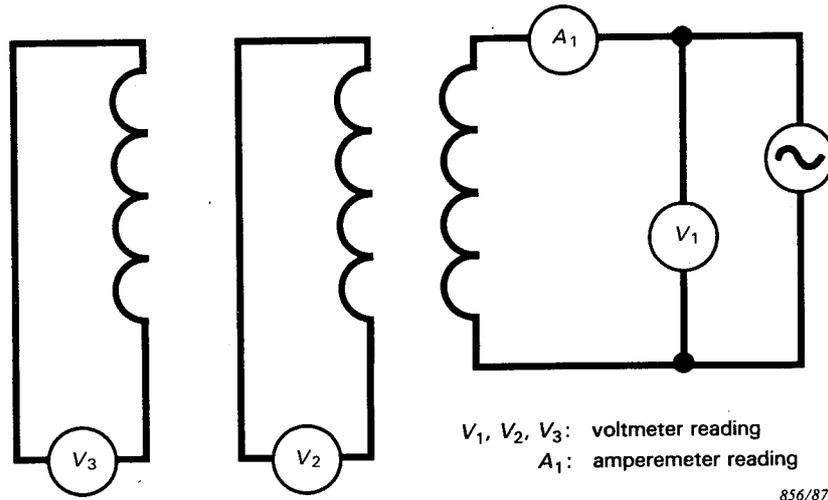


857/87

* A la fréquence harmonique, la réactance sera basse pour C et haute pour B en comparaison avec celle de la bobine de lissage essayée.

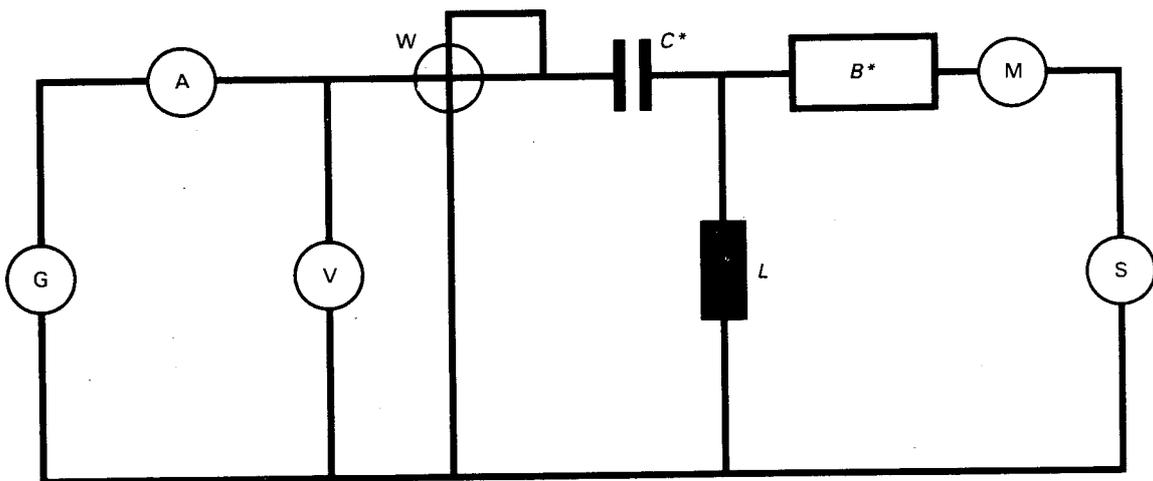
- A = ampèremètre pour mesure du courant harmonique
- B = filtre de blocage pour éviter les fuites en courant alternatif
- C = condensateur de blocage pour éviter les fuites en courant continu
- G = source de courant alternatif à la fréquence harmonique
- L = bobine d'inductance de lissage
- M = dispositif de mesure du courant continu
- R = résistance auxiliaire pour mesure de la tension harmonique
- S = source de courant continu
- V = voltmètre pour mesure de la tension harmonique
- W = wattmètre pour mesure des pertes harmoniques

FIG. 4. — Circuit de mesure pour la détermination de l'inductance et des pertes à la fréquence harmonique des bobines d'inductance de lissage avec circuit magnétique ou blindage magnétique.



Mutual reactance = $\frac{V_2}{A_1}$ or $\frac{V_3}{A_1}$ respectively.

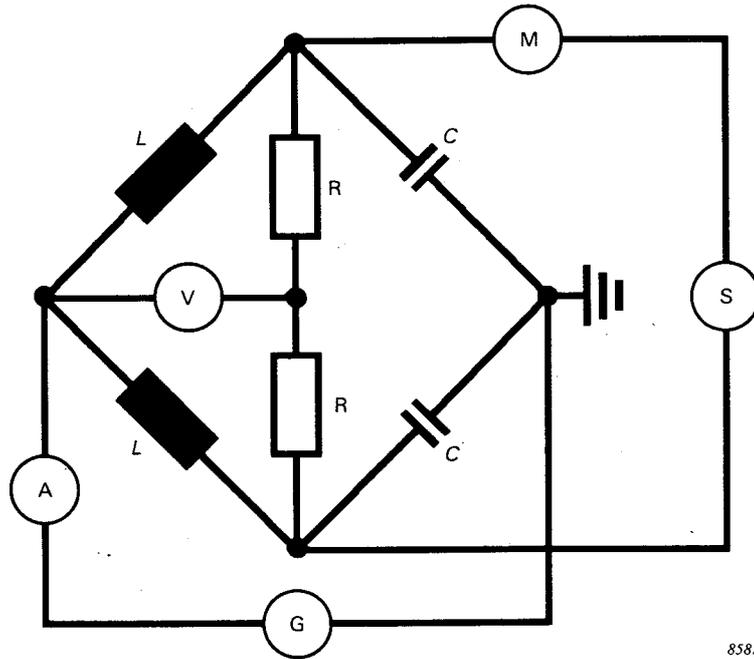
FIG. 3. — Measurement of mutual reactance for three-phase reactors or banks of three single-phase reactors.



* At harmonic frequency the reactance shall be low for C and high for B compared with that of the smoothing reactor under test.

- A = amperemeter for measurement of harmonic current
- B = blocking filter to avoid a.c. current leakage
- C = blocking capacitor to avoid d.c. current leakage
- G = a.c. supply at harmonic frequency
- L = smoothing reactor
- M = measuring device for d.c. current
- R = auxiliary resistor for measurement of harmonic voltage
- S = d.c. supply
- V = voltmeter for measurement of harmonic voltage
- W = wattmeter for measurement of harmonic loss

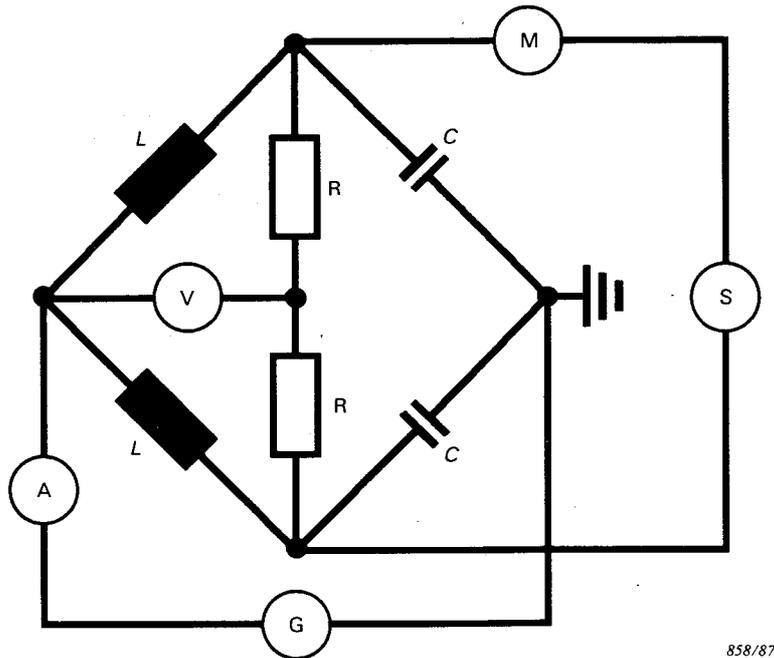
FIG. 4. — Measuring circuit for determining inductance and loss at harmonic frequency for smoothing reactors having iron cores or shields.



858/87

- A = ampèremètre pour mesure du courant harmonique
- B = filtre de blocage pour éviter les fuites en courant alternatif
- C = condensateur de blocage pour éviter les fuites en courant continu
- G = source de courant alternatif à la fréquence harmonique
- L = bobine d'inductance de lissage
- M = dispositif de mesure du courant continu
- R = résistance auxiliaire pour mesure de la tension harmonique
- S = source de courant continu
- V = voltmètre pour mesure de la tension harmonique
- W = wattmètre pour mesure des pertes harmoniques

FIG. 5. — Circuit de mesure pour la détermination d'inductance différentielle de deux grandes bobines d'inductance de lissage.



858/87

- A = amperemeter for measurement of harmonic current
- B = blocking filter to avoid a.c. current leakage
- C = blocking capacitor to avoid d.c. current leakage
- G = a.c. supply at harmonic frequency
- L = smoothing reactor
- M = measuring device for d.c. current
- R = auxiliary resistor for measurement of harmonic voltage
- S = d.c. supply
- V = voltmeter for measurement of harmonic voltage
- W = wattmeter for measurement of harmonic loss

FIG. 5. — Measuring circuit for determining incremental inductance of two identical large smoothing reactors.

ICS 29.180

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND