

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

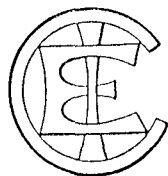
Publication 289

Première édition — First edition

1968

Bobines d'inductance

Reactors



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60289:1968

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 289

Première édition — First edition

1968

Bobines d'inductance

Reactors



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
SECTION UN - GÉNÉRALITÉS	
1. Domaine d'application	6
2. Définitions	6
SECTION DEUX - PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES	
3. Limites d'échauffement	8
4. Niveaux d'isolement	8
SECTION TROIS - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES SÉRIE	
5. Généralités	10
6. Définitions	10
7. Tenue au court-circuit	10
8. Niveaux d'isolement	10
9. Plaque signalétique	12
10. Essais	12
11. Tolérances.	16
SECTION QUATRE - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES SHUNT	
12. Généralités	18
13. Définitions	18
14. Niveaux d'isolement	18
15. Plaque signalétique	20
16. Comportement en service	20
17. Essais	20
18. Tolérances.	24
SECTION CINQ - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES MONOPHASÉES DE MISE A LA TERRE DU NEUTRE ET LES BOBINES D'EXTINCTION D'ARC	
19. Généralités	24
20. Définitions	24
21. Niveaux d'isolement	26
22. Echauffement	26
23. Réglage d'une bobine d'extinction d'arc	28
24. Plaque signalétique	28
25. Essais	28
26. Tolérances.	32
SECTION SIX - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES TRIPHASÉES DE MISE A LA TERRE ET LES TRANSFORMATEURS DE MISE A LA TERRE	
27. Généralités	32
28. Définitions	32
29. Tenue au courant de courte durée nominal et échauffement	34
30. Niveaux d'isolement	34
31. Plaque signalétique	34
32. Essais	36
33. Tolérances.	38

CONTENTS

	Pages
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
SECTION ONE - GENERAL	
1. Scope	7
2. Definitions	7
SECTION TWO - GENERAL REQUIREMENTS	
3. Limits of temperature rise	9
4. Insulation levels	9
SECTION THREE - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR SERIES REACTORS	
5. General	11
6. Definitions	11
7. Ability to withstand short-circuit	11
8. Insulation levels	11
9. Rating plate	13
10. Tests	13
11. Tolerances	17
SECTION FOUR - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR SHUNT REACTORS	
12. General	19
13. Definitions	19
14. Insulation levels	19
15. Rating plate	21
16. Service behaviour	21
17. Tests	21
18. Tolerances	25
SECTION FIVE - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR SINGLE-PHASE NEUTRAL-EARTHING REACTORS AND ARC-SUPPRESSION COILS	
19. General	25
20. Definitions	25
21. Insulation levels	27
22. Temperature rise	27
23. Adjustment of an arc-suppression coil	29
24. Rating plate	29
25. Tests	29
26. Tolerances	33
SECTION SIX - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR THREE-PHASE NEUTRAL ELECTROMAGNETIC COUPLERS AND EARTHING TRANSFORMERS	
27. General	33
28. Definitions	33
29. Ability to withstand rated short-time current and temperature rise	35
30. Insulation levels	35
31. Rating plate	35
32. Tests	37
33. Tolerances	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

BOBINES D'INDUCTANCE

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

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

Un projet fut discuté lors des réunions tenues à Aix-les-Bains en 1964 et à Bruxelles en 1965. A la suite de cette dernière réunion, un nouveau projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mai 1966.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud	Etats-Unis d'Amérique
Allemagne	Finlande
Australie	France
Autriche	Israël
Belgique	Italie
Canada	Japon
Chine (République populaire de)	Suède
Corée (République démocratique populaire de)	Suisse
Danemark	Turquie

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

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

A draft was discussed at the meetings held in Aix-les-Bains in 1964 and in Brussels in 1965. As a result of this latter meeting, a new draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Month's Rule in May 1966.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Israel
Austria	Italy
Belgium	Japan
Canada	Korea (Democratic People's Republic of)
China (People's Republic of)	South Africa
Denmark	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	United States of America

BOBINES D'INDUCTANCE

SECTION UN - GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

1.1 La présente recommandation est applicable aux types suivants d'inductances:

- les inductances série, telles que inductances de limitation de courant et inductances de répartition de charge;
- les inductances shunt;
- les inductances monophasées de mise à la terre du neutre et les bobines d'extinction d'arc;
- les inductances et transformateurs triphasés de mise à la terre du neutre.

1.2 La Publication 76 de la CEI: Transformateurs de puissance, est applicable aux inductances, sauf là où elle est modifiée par la présente recommandation.

2. Définitions

2.1 Inductance série

Inductance destinée à être placée en série dans un réseau, soit pour limiter le courant dans le cas de défaut dans le réseau, soit pour répartir la charge dans des circuits en parallèle.

2.2 Inductance shunt

Inductance destinée à être connectée en dérivation dans un réseau pour compenser le courant capacitif.

2.3 Inductance monophasée de mise à la terre du neutre

Inductance monophasée destinée à être connectée entre le neutre d'un transformateur et la terre pour limiter le courant de défaut entre ligne et terre.

2.4 Bobine d'extinction d'arc

Inductance monophasée de mise à la terre du neutre destinée à compenser le courant capacitif qui s'établit lors d'un défaut dans le réseau entre une phase et la terre.

2.5 Inductance et transformateur triphasés de mise à la terre

Inductance ou transformateur triphasé destiné à être connecté dans un réseau sans neutre de façon à constituer un neutre artificiel.

Les transformateurs de mise à la terre peuvent, en outre, alimenter un réseau local, par exemple les auxiliaires d'un poste.

REACTORS

SECTION ONE - GENERAL

1. Scope

1.1 This Recommendation applies to the following types of reactor:

- series reactors, such as current-limiting reactors and load-sharing reactors;
- shunt reactors;
- single-phase neutral-earthing reactors and arc-suppression coils;
- three-phase neutral electromagnetic couplers and earthing transformers.

1.2 IEC Publication 76, Power Transformers, applies to reactors, except where it is modified by this Recommendation.

2. Definitions

2.1 *Series reactor*

Reactor intended for series connection in a system, either for limiting the current under system fault conditions or for load-sharing in parallel circuits.

2.2 *Shunt reactor*

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

2.3 *Single-phase neutral earthing reactor*

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

2.4 *Arc-suppression coil*

Single-phase neutral earthing reactor intended for compensating the capacitive line-to-earth current due to a single-phase earth-fault.

2.5 *Three-phase neutral electromagnetic coupler and earthing transformer*

Three-phase reactor or transformer intended for connection in a system without neutral so as to provide for an artificial neutral.

Earthing transformers may in addition supply a local network such as the auxiliaries of a substation.

SECTION DEUX - PRESCRIPTIONS GÉNÉRALES

3. Limites d'échauffement

Sauf mention contraire, la section six de la Publication 76 de la CEI est applicable.

Pour les besoins de cette recommandation, les inductances dans le béton sont considérées comme isolées suivant la classe B pour autant que l'isolation des enroulements soit au moins de cette classe.

4. Niveaux d'isolement

Les niveaux d'isolement, pour les inductances, correspondent en général à ceux spécifiés pour les transformateurs (Publication 76 de la CEI). Sauf mention contraire, les tensions d'essai seront en accord avec les tableaux I et II ci-dessous.

TABLEAU I

Tension la plus élevée du réseau kV eff.	Tension d'essai de tenue au choc kV crête	Tension d'essai de tenue à fréquence industrielle kV eff.	
		Type 1	Type 2
3,6	45	16	21
7,2	60	22	27
12	75	28	35
17,5	95	38	45
24	125	50	55
36	170	70	75
52	250	95	—
72,5	325	140	—

TABLEAU II

Tension la plus élevée du réseau kV eff.	Tension d'essai de tenue au choc kV crête		Tension d'essai de tenue à fréquence industrielle kV eff.	
			Type 1	Type 2
	Isolement plein	Isolement réduit	Isolement plein	Isolement réduit
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1 050	900	460	395
300	—	1 050	—	460
420	—	1 425	—	630

SECTION TWO - GENERAL REQUIREMENTS

3. Limits of temperature rise

Unless otherwise specified, Section Six of IEC Publication 76 is applicable.

For the purpose of this Recommendation, cast-in-concrete reactors shall be considered as Class B insulated, providing the insulation of the windings is at least of this class of temperature.

4. Insulation levels

Insulation levels shall in general correspond to those specified for transformers (IEC Publication 76). Unless otherwise specified, test voltages shall be in accordance with Tables I and II below.

TABLE I

System highest voltage kV r.m.s.	Impulse test voltage kV peak	Power-frequency test voltage kV r.m.s.	
		Series 1	Series 2
3.6	45	16	21
7.2	60	22	27
12	75	28	35
17.5	95	38	45
24	125	50	55
36	170	70	75
52	250	95	—
72.5	325	140	—

TABLE II

System highest voltage kV r.m.s.	Impulse test voltage kV peak		Power-frequency test voltage kV r.m.s.	
			Series 1	Series 2
	Full insulation	Reduced insulation	Full insulation	Reduced insulation
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1 050	900	460	395
300	—	1 050	—	460
420	—	1 425	—	630

SECTION TROIS - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES SÉRIE

5. Généralités

Les inductances série peuvent être du type sec ou du type immergé dans l'huile. Elles peuvent comporter ou non un noyau magnétique ainsi que des écrans électromagnétiques ou en matériaux magnétiques.

La présente recommandation couvre principalement le cas des inductances monophasées et le cas des inductances triphasées pour réseaux non mis à la terre dans lesquels circulent des courants pratiquement symétriques lors de l'application d'un système symétrique de tensions de ligne.

Dans le cas de réseaux à neutre mis à la terre, on peut considérer des conditions de fonctionnement conduisant à des courants dissymétriques; dans ce cas, les inductances série doivent faire l'objet d'un accord spécial entre acheteur et constructeur.

Notes 1. — L'inductance mutuelle des enroulements de phase peut être telle que l'impédance par phase pour le courant homopolaire diffère de l'impédance pour les courants triphasés symétriques. De plus, dans les réseaux mis à la terre, un courant de défaut monophasé peut être plus élevé qu'un courant de défaut triphasé.

2. — Lorsqu'une inductance n'est pas complètement blindée du point de vue magnétique, la disposition des enroulements de phase et la proximité d'autres appareils ou de structures métalliques doivent être examinées de manière à réduire les effets possibles des flux de dispersion qui peuvent occasionner un échauffement exagéré des pièces métalliques adjacentes ou des efforts dangereux sur des pièces magnétiques voisines pendant le court-circuit.

3. — Pour la détermination du courant de courte durée nominal, il est recommandé de tenir compte non seulement de l'impédance de l'inductance mais également des impédances du circuit.

6. Définitions

6.1 *Courant permanent nominal*

Courant permanent pour lequel l'inductance est conçue.

6.2 *Courant de courte durée nominal*

Courant que l'inductance doit pouvoir supporter en cas de défaut pendant une durée spécifiée.

6.3 *Impédance nominale*

Impédance (en ohms par phase à la fréquence nominale) spécifiée pour l'inductance.

7. Tenue au court-circuit

La section huit de la Publication 76 de la CEI est applicable étant entendu que, en l'absence de spécification contraire, le courant de courte durée nominal qui peut s'établir dans une inductance ne doit pas dépasser 25 fois le courant permanent nominal pendant une durée n'excédant pas 3 s.

8. Niveaux d'isolement

Voir article 4.

SECTION THREE - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR SERIES REACTORS

5. General

Series reactors may be dry type or oil-immersed type. They may be constructed with or without magnetic core or electromagnetic shield or magnetic shield.

This Recommendation is intended to cover mainly the requirements for single-phase reactors and for three-phase reactors for unearthed systems where substantially symmetrical currents will flow through a reactor when a symmetrical system of line voltages is applied.

In the case of earthed neutral systems, consideration may have to be given to operating conditions resulting in unsymmetrical currents. Reactors for such conditions should be subject to special agreement between purchaser and manufacturer.

Notes 1. — The mutual inductance between phase windings may cause the impedance per phase with zero-sequence current to differ from that with three-phase symmetrical currents.

Further, in earthed systems the single-phase fault current may be higher than the three-phase fault current.

2. — If a series reactor is not fully shielded magnetically, the location of the phase windings and their location relative to other apparatus and to metallic structure should be considered with a view to minimizing possible effects of stray fields, such as undue heating of adjacent metallic parts or dangerous forces on adjacent magnetic parts during short-circuit.

3. — For the determination of the rated short-time current, it is recommended that account should be taken not only of the impedance of the reactor but also of the impedances of the circuit.

6. Definitions

6.1 *Continuous rated current*

The current which the reactor is designed to carry continuously.

6.2 *Rated short-time current*

The fault current which the reactor is designed to carry for a specified duration.

6.3 *Rated impedance*

The impedance (in ohms per phase at rated frequency) specified for the reactor.

7. Ability to withstand short-circuit

Unless otherwise specified, Section Eight of IEC Publication 76 is applicable on the understanding that the rated short-time current in the reactor shall not exceed 25 times the continuous rated current for a period not exceeding 3 s.

8. Insulation levels

See Clause 4.

9. Plaque signalétique

La plaque signalétique doit porter les indications suivantes :

- a) Inductance série - type.
- b) Numéro et année de la spécification.
- c) Nom du constructeur.
- d) Numéro de série attribué par le constructeur.
- e) Année de fabrication.
- f) Nombre de phases.
- g) Fréquence nominale.
- h) Courant permanent nominal.
- i) Impédance mesurée au courant permanent nominal.
- j) Courant de courte durée nominal et durée spécifiée.
- k) Mode de refroidissement.
- l) Classe de température pour les inductances du type sec, et échauffement s'il diffère des valeurs normales.
- m) Niveau d'isolement.
- n) Masse totale *.
- o) Masse de l'huile isolante *.
- p) Masse de décuvage *.

10. Essais

Note. — Les titres des paragraphes de cet article indiquent lesquels des essais sont des essais de type, des essais individuels et des essais spéciaux.

10.1 Conditions générales pour les essais de type, les essais individuels et les essais spéciaux

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 35.

10.2 Mesure de la résistance de l'enroulement (essai individuel)

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 36.

10.3 Mesure de l'impédance (essai individuel)

- a) L'impédance d'une inductance série monophasée est mesurée à la fréquence nominale en appliquant une tension telle que le courant nominal permanent s'établisse dans l'appareil.
- b) L'impédance d'une inductance série triphasée est mesurée à la fréquence nominale en appliquant aux enroulements de phases connectés en étoile un système de tensions symétriques dont la valeur est telle qu'il s'établisse dans les enroulements de phases des courants dont la moyenne correspond au courant nominal permanent.

L'impédance est alors prise égale à :

$$\frac{\text{Tension composée d'alimentation}}{\text{Courant permanent nominal} \times \sqrt{3}}$$

- c) L'impédance des inductances série qui n'ont ni noyau ni écran en matériaux magnétiques peut être mesurée avec une valeur inférieure du courant.

* Si la masse totale dépasse 5 tonnes.

9. Rating plate

The rating plate shall show the following information:

- a) Series reactor - Type.
- b) Number and year of the specification.
- c) Manufacturer's name.
- d) Manufacturer's serial number.
- e) Year of manufacture.
- f) Number of phases.
- g) Rated frequency.
- h) Continuous rated current.
- i) Measured impedance at continuous rated current.
- j) Rated short-time current and specified duration.
- k) Type of cooling.
- l) Class of temperature for dry-type reactors and temperature rise if it is not a normal value.
- m) Insulation level.
- n) Total mass *.
- o) Mass of insulating oil *.
- p) Untanking mass *.

10. Tests

Note. — In this clause, the titles of the sub-clauses indicate which tests are type tests, routine tests and special tests.

10.1 General requirements for type, routine and special tests

As in IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 35.

10.2 Measurement of winding resistance (routine test)

As in IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 36.

10.3 Measurement of impedance (routine test)

- a) The impedance of a single-phase series reactor shall be measured at rated frequency by applying a voltage which results in the circulation of the continuous rated current.
- b) The impedance of a three-phase series reactor shall be measured at rated frequency by applying to the star-connected phase windings a system of symmetrical voltages which results in the circulation of currents, the average of which corresponds to the continuous rated current.

The impedance shall then be taken as:

$$\frac{\text{Phase-to-phase applied voltage}}{\text{Continuous rated current} \times \sqrt{3}}$$

- c) The impedance of series reactors which have neither magnetic core nor shield of magnetic material may be measured at a lower value of current.

* If total mass greater than 5 tonnes.

10.4 *Mesure des pertes (essai individuel)*

Il y a lieu de prendre des précautions spéciales pour la mesure des pertes étant donné que ces appareils présentent un facteur de puissance très faible. Une méthode de mesure appropriée (wattmètre, pont, etc.) doit être adoptée par le constructeur.

Pour les inductances sans noyau ni écran (magnétique ou électromagnétique), la méthode de mesure est celle de la Publication 76 de la CEI, section douze, article 39.

Dans le cas d'autres inductances, les pertes des différentes parties ne peuvent pas être mesurées séparément. Il est donc préférable de mesurer les pertes avec une température moyenne de l'enroulement pratiquement égale à la température de référence. Si cela est irréalisable, les pertes additionnelles des inductances avec noyau ou écran magnétique sont estimées être indépendantes de la température. Si ces inductances ont plus de 30 % de pertes additionnelles, les mesures doivent être effectuées, si possible, au courant nominal permanent.

Note. — Lorsque, d'après les résultats d'essais de type sur une inductance similaire, on connaît les pertes à la température de référence et à l'état froid, les pertes mesurées à l'essai individuel sur une inductance peuvent être ramenées à la température de référence comme suit :

On multiplie les pertes mesurées à l'état froid par le rapport des pertes mesurées à la température de référence à celles mesurées à froid pour l'inductance passée aux essais de type, et aussi par le rapport de 235 plus la température à froid pendant l'essai de type à 235 plus la température à froid pendant l'essai individuel. Dans le cas d'inductances triphasées, les courants doivent être tels que la moyenne quadratique des valeurs efficaces corresponde au courant nominal permanent.

10.5 *Essai d'échauffement (essai de type)*

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 41.

L'essai sera réalisé au courant nominal, ou le plus près possible de celui-ci.

10.6 *Essai de tension entre spires (essai individuel)*

Lorsqu'un essai entre spires est réalisable, il est effectué à fréquence accrue. Sa durée en secondes est égale à 120 fois la fréquence nominale divisée par la fréquence d'essai. L'essai est fait à une tension correspondant à deux fois la tension en régime établi qui apparaît aux bornes de l'inductance parcourue par le courant de courte durée nominal.

Lorsque l'essai entre spires ci-dessus est irréalisable, il est remplacé par un essai de tenue aux ondes de choc entre spires, effectué conformément au paragraphe 10.8.

10.7 *Essai par tension appliquée (essai individuel)*

La tension d'essai est appliquée pendant 1 min entre les parties suivantes :

- 1) les enroulements et la masse;
- 2) les enroulements de phases différentes.

Ces tensions d'essais sont choisies conformément aux tableaux I et II de l'article 4 pour les niveaux d'isolement spécifiés des inductances. Les valeurs du type 1 seront choisies dans le cas d'inductances de limitation de courant immergées dans l'huile et les valeurs du type 2 dans le cas d'inductances du type sec.

10.8 *Essai de tenue aux ondes de choc (essai de type et essai individuel)*

Les essais aux ondes de choc sont des essais de type pour les inductances destinées à être installées en situation exposée.

Ces essais sont destinés à déterminer la tenue de l'enroulement lors de l'application d'ondes à front raide entre les spires de l'enroulement et entre enroulement et terre.

Les tensions d'essais sont choisies conformément aux tableaux I et II de l'article 4 pour les niveaux d'isolement spécifiés des inductances.

10.4 *Measurement of loss (routine test)*

The measurement of loss requires special care due to the very low loss angle. An appropriate method (wattmeter, bridge or other) shall be adopted by the manufacturer.

For reactors without core or shield (magnetic or electromagnetic), the test method is as in IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 39.

In the case of other reactors, the losses in their different parts cannot be separated by measurement. It is thus preferable to measure the loss with the average temperature of the windings practically equal to the reference temperature. If this is impracticable, the additional loss of reactors with magnetic core or shield shall be deemed independent of temperature. If these reactors have more than 30% additional loss, measurement should be performed, if possible, at continuous rated current.

Note. — If from the results of type tests on a similar reactor, the losses at reference temperature and in the cold state are both known, the loss on the reactor under routine test may be corrected to reference temperature as follows:

Multiply the cold state loss by the ratio of the loss at reference temperature to the cold state loss for the type tested reactor and also by the ratio of 235 plus the cold state temperature (Celsius degrees) during type test to 235 plus the cold state temperature (Celsius degrees) during routine test.

On three-phase reactors, the measurement shall be made at currents, the quadratic mean value of which corresponds to continuous rated current.

10.5 *Test of temperature rise (type test)*

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 41.

The test shall be performed at rated current, or as near as possible thereto.

10.6 *Inter-turn overvoltage withstand test (routine test)*

When a test between turns is practicable, it shall be performed at an increased frequency. The duration in seconds shall be 120 times rated frequency divided by test frequency. The test shall be made at a voltage corresponding to twice the steady state voltage appearing across the reactor at rated short time current.

If the above inter-turn test cannot be performed, it shall be replaced by an impulse voltage test between turns carried out in accordance with Sub-Clause 10.8.

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

The test shall be applied for 1 min between the following parts:

- 1) the winding and earth;
- 2) the windings of different phases.

The test voltages shall be taken from Tables I and II, Clause 4, for the specified insulation level of the reactors. Series 1 values shall be chosen for oil-immersed current limiting reactors and Series 2 values for dry-type reactors.

10.8 *Impulse-voltage withstand test (type and routine tests)*

The impulse-voltage tests are type tests for reactors designed for exposed situations.

This test is devised to check the ability of the reactor to withstand steep-wave impulse-voltages between turns of the winding and between the winding and earth.

The test voltages shall be taken from Tables I and II, Clause 4 for the specified insulation level of the reactor.

Pour l'essai entre enroulement et terre, les deux extrémités de l'enroulement de phase en essai sont réunies. Les extrémités des autres enroulements de phases sont mises à la terre. La tension d'essai est appliquée entre les extrémités de l'enroulement en essai et la terre.

Pour l'essai entre spires, la tension d'essai est appliquée à chaque extrémité de l'enroulement de phase, à tour de rôle, tandis que l'autre extrémité est mise à la terre au travers d'une résistance dont la valeur est choisie en fonction des conditions de service, mais ne doit pas dépasser 500 Ω . Les extrémités des autres enroulements de phase sont mises à la terre durant cet essai.

Les essais aux ondes de choc entre spires ci-dessus sont des essais individuels lorsque l'essai de tension entre spires, paragraphe 10.6, n'est pas réalisable.

Si des parafoudres sont connectés en parallèle avec une inductance série, la tension de choc d'essai entre spires peut être réduite après accord entre les parties. Son niveau doit au moins atteindre 1,3 fois le niveau de protection des parafoudres. Durant l'essai, les parafoudres sont enlevés.

10.9 Essai de tenue au courant de court-circuit (essai spécial)

L'essai de tenue au court-circuit est effectué pour prouver la tenue mécanique de l'inductance au courant de courte durée nominal et, dans le cas d'inductances avec noyau ou écran magnétique, pour mesurer l'impédance correspondant au courant de courte durée nominal. Il consiste en deux applications du courant de courte durée nominal, chacune d'une durée de dix périodes, la première ayant une valeur de crête de $1,8 \times \sqrt{2}$ fois la valeur efficace (dans certaines conditions de service, on peut admettre des facteurs d'asymétrie inférieurs à $1,8 \times \sqrt{2}$).

Les inductances triphasées sont soumises à deux essais triphasés: l'un avec asymétrie maximale dans la phase centrale, l'autre avec asymétrie maximale dans une phase extérieure.

L'aptitude de l'inductance à supporter l'essai est déterminée par une nouvelle mesure de l'impédance, par examen visuel et par la répétition des essais diélectriques individuels à 75 % de la valeur initiale.

Le comportement thermique au courant de courte durée nominal est déterminé à l'aide de la formule de la Publication 76 de la CIE, section huit, article 26.

Si l'on rencontre certaines difficultés à mesurer l'impédance pour le courant de courte durée nominal, les parties peuvent se mettre d'accord sur un essai avec un courant symétrique. Afin d'obtenir un résultat précis, il est nécessaire de maintenir la tension et le courant constants pendant plusieurs cycles et il peut être nécessaire, dans ce but, d'effectuer l'essai à courant réduit. Le courant pour cet essai doit être supérieur au courant nécessaire à la saturation de l'écran.

11. Tolérances

11.1 Tolérances sur l'impédance au courant permanent nominal

- a) Pour les inductances de limitation de courant: $\pm \frac{20}{0} \%$ de l'impédance nominale.
- b) Pour l'inductance de répartition de charge: $\pm 7,5 \%$ de l'impédance nominale.

11.2 Tolérances sur l'impédance mesurée au courant de courte durée nominal

- a) Pour les inductances de limitation de courant, l'impédance mesurée pour le courant de courte durée nominal doit être au moins égale à l'impédance nominale.
Cette condition est censée être remplie pour les inductances de type sec sans noyau ou écran magnétique dont l'impédance au courant permanent nominal est dans la limite des tolérances ci-dessus. Dans les autres cas, et notamment pour les inductances avec écran magnétique, des différences peuvent exister entre les valeurs de ces impédances.
- b) Pour les inductances de répartition de charge, il n'y a pas de garantie pour l'impédance mesurée au courant de courte durée.

For the test between winding and earth, both ends of the phase winding under test are connected together. The ends of the other phase windings are earthed. The test voltage is applied between the ends of the winding under test and earth.

For the test between turns, the test voltage is applied to each end of the phase winding in turn, whereas the other end is earthed through a resistor, the value of which is chosen to suit the service conditions but must not exceed 500 Ω . The ends of the other phase windings are earthed during the test.

The above impulse voltage tests between turns are routine tests when the inter-turn overvoltage test of Sub-clause 10.6 is not practicable.

If surge diverters are connected in parallel with a series reactor, the impulse test voltage between turns may be reduced subject to agreement. Its level must be at least 1.3 times the protective level of the surge diverters. The surge diverters are removed during the test.

10.9 Short-circuit current withstand test (special test)

The short-circuit withstand test is designed to prove mechanical capability at rated short-time current, and in the case of reactors with magnetic core or shield to measure the impedance corresponding to the rated short-time current. It shall consist of two applications of rated short-time current each of a duration of ten cycles, the first peak having a crest value of $1.8 \times \sqrt{2}$ times the r.m.s. value. (Certain service conditions may result in asymmetry factors less than $1.8 \times \sqrt{2}$).

Three-phase reactors shall be submitted to two three-phase tests: one with maximum asymmetry of the short-circuit current in the central phase, the other with maximum asymmetry in an outside phase.

The ability of the reactor to withstand the test shall be determined by remeasuring the impedance, by visual inspection and by repetition of the routine dielectric tests at 75 % of the initial value.

The thermal behaviour under rated short-time current shall be ascertained according to the formula in IEC Publication 76, Section Eight, Clause 26.

If difficulty is encountered in measuring the impedance at rated short-time current, a test with symmetrical current may be agreed upon. To obtain an accurate result it is necessary to keep the voltage and current constant for several cycles, and to do this it may be necessary to test at a reduced current. The current for this test shall exceed the current required to saturate the core or shield.

11. Tolerances

11.1 Tolerances on the impedance at continuous rated current

- a) For current-limiting reactors: $\pm \frac{20}{0} \%$ of rated impedance.
- b) For load-sharing reactors: $\pm 7.5 \%$ of rated impedance.

11.2 Tolerances on impedance measured at rated short-time current

- a) The impedance of current-limiting reactors measured at rated short-time current shall be at least equal to the rated impedance.
This condition is deemed to be fulfilled for dry-type reactors without magnetic core or shield when their impedance at continuous rated current lies within the above-specified tolerances. In other cases, for instance for reactors with magnetic shielding, differences may be found between the values of the impedances.
- b) For load-sharing reactors, no guarantee is given on the impedance measured at rated short-time current.

11.3 Tolérance sur les courants dans les inductances triphasées

Les courants mesurés sur chaque enroulement de phase dans les conditions définies au paragraphe 10.3 b) ne doivent pas s'écarter de plus de 3 % de la valeur moyenne.

11.4 Tolérance sur les pertes

$\begin{matrix} + & 15 \% \\ - & 0 \% \end{matrix}$ de la valeur spécifiée.

SECTION QUATRE - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES SHUNT

12. Généralités

Les inductances shunt peuvent être du type sec ou du type immergé dans l'huile. Elles peuvent comporter ou non un noyau magnétique ainsi que des écrans électromagnétiques ou en matériaux magnétiques.

13. Définitions

13.1 Tension nominale

Tension la plus élevée à la fréquence nominale, que l'appareil est capable de supporter en service continu et pour laquelle il est construit.

Note. — La tension nominale d'une inductance shunt doit être spécifiée par l'acheteur. Elle peut être inférieure à la tension maximale du réseau en fonction des conditions d'exploitation.

13.2 Puissance nominale

Puissance apparente spécifiée pour le fonctionnement sous la tension nominale.

13.3 Courant nominal

Courant pour lequel l'appareil est conçu et qui s'obtient à partir de la puissance nominale, de la tension nominale et d'un facteur dépendant du nombre de phases.

13.4 Impédance homopolaire

Pour les inductances shunt polyphasées connectées en étoile, impédance en ohms par phase à la fréquence nominale, correspondant à l'application, entre les bornes de ligne connectées entre elles et le neutre, de la tension nominale phase-neutre.

14. Niveaux d'isolement

Pour l'isolement côté ligne, voir article 4. Le côté neutre d'une inductance connectée en étoile peut avoir un isolement gradué.

11.3 *Tolerance on the currents in three-phase reactors*

The current measured in each phase winding, under the conditions defined in Sub-clause 10.3 *b*), shall not deviate by more than 3 % from the average value.

11.4 *Tolerance on loss*

$\begin{matrix} + & 15 \% \\ - & 0 \% \end{matrix}$ of the declared value.

SECTION FOUR - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR SHUNT REACTORS

12. **General**

Shunt reactors may be of the dry-type or oil-immersed type. They may be constructed with or without magnetic core or electromagnetic shield or magnetic shield.

13. **Definitions**

13.1 *Rated voltage*

The highest voltage at rated frequency which the apparatus is capable of withstanding continuously and for which it is designed.

Note. — The rated voltage of a shunt reactor has to be specified by the purchaser. It may be less than the maximum system voltage depending on the operating conditions.

13.2 *Rated power*

The apparent power specified for service at rated voltage.

13.3 *Rated current*

The current for which the apparatus is designed as derived from the rated voltage, the rated power and a factor depending on the number of phases.

13.4 *Zero-sequence impedance*

For star-connected polyphase shunt reactors, the impedance (in ohms per phase at rated frequency) corresponding to rated phase-to-neutral voltage applied between the line terminals connected together and the neutral.

14. **Insulation levels**

For the line terminals, see Clause 4. The neutral terminal of a star connected reactor may have reduced insulation.

15. Plaque signalétique

La plaque signalétique doit porter les indications suivantes:

- a) Inductance shunt - type...
- b) Numéro et année de la spécification.
- c) Nom du constructeur.
- d) Numéro de série attribué par le constructeur.
- e) Année de fabrication.
- f) Nombre de phases.
- g) Puissance nominale.
- h) Fréquence nominale.
- i) Tension nominale.
- j) Eventuellement, étendue du réglage.
- k) Mode de connexion.
- l) Impédance par phase mesurée à la tension nominale.
- m) Eventuellement, impédance homopolaire.
- n) Mode de refroidissement.
- o) Classe de température pour les inductances du type sec, et échauffement s'il diffère des valeurs normales.
- p) Niveau d'isolement, séparément pour l'extrémité de l'enroulement mise à la terre, le cas échéant.
- q) Masse totale *.
- r) Masse de l'huile isolante *.
- s) Masse de décuvage *.

16. Comportement en service

Les inductances shunt doivent être conçues et construites de façon à ne pas subir de dommage sous l'effet des vibrations ou des contraintes susceptibles de se produire en service.

17. Essais

Note. — Les titres des paragraphes de cet article indiquent lesquels des essais sont des essais de type, des essais individuels et des essais spéciaux.

17.1 Conditions générales pour les essais de type, les essais individuels et les essais spéciaux

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 35.

17.2 Mesure de la résistance de l'enroulement (essai individuel)

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 36.

17.3 Mesure des pertes et du courant (essai individuel)

Le courant et les pertes sont mesurés de préférence à la tension et à la fréquence nominales. Si cela s'avère difficile à réaliser, la valeur à choisir devra faire l'objet d'un accord pour autant que l'on prenne, pour la tension d'essai, une valeur aussi élevée que possible et que les essais soient effectués à des tensions différentes, pour faciliter l'extrapolation.

* Si la masse totale dépasse 5 tonnes.

15. Rating plate

The rating plate shall show the following information:

- a) Shunt reactor - Type...
- b) Number and year of the specification.
- c) Manufacturer's name.
- d) Manufacturer's serial number.
- e) Year of manufacture.
- f) Number of phases.
- g) Rated power.
- h) Rated frequency.
- i) Rated voltage.
- j) Regulating range, if any.
- k) Connection.
- l) Measured impedance per phase at rated voltage.
- m) Zero-sequence impedance, if required.
- n) Type of cooling.
- o) Class of temperature for dry-type reactors, and temperature rise if non-standard.
- p) Insulation level, separately for the earth end of the winding where appropriate.
- q) Total mass *.
- r) Mass of insulating oil *.
- s) Untanking mass *.

16. Service behaviour

The design and construction of shunt reactors shall be such as to avoid detrimental effects due to vibration.

17. Tests

Note. — In this clause, the titles of the sub-clauses indicate which tests are type tests, routine tests and special tests.

17.1 General requirements for type, routine and special tests

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 35.

17.2 Measurement of winding resistance (routine test)

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 36.

17.3 Measurement of loss and current (routine test)

The loss and the current should preferably be measured at rated voltage and frequency. Should this be impracticable, the value to be chosen is subject to agreement on the understanding that the test voltage be chosen as high as possible and that tests at different voltages be made for the purpose of extrapolation.

* If total mass greater than 5 tonnes.

L'impédance par phase est déduite de la mesure du courant ci-dessus.

La méthode pour la détermination des pertes doit également faire l'objet d'un accord; on doit fournir des données suffisantes en ce qui concerne la précision et la fiabilité de la méthode proposée.

Le facteur de puissance d'une inductance shunt étant d'ordinaire très bas, les mesures des pertes à l'aide d'un wattmètre sont susceptibles de comporter des erreurs importantes et il peut, par conséquent, être préférable d'utiliser une méthode de mesure au moyen d'un pont ou, moyennant les précautions nécessaires, une méthode calorimétrique.

Comme les pertes dans les diverses parties de l'inductance ne peuvent être mesurées séparément, il est 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 additionnelles peuvent être considérées comme indépendantes de la température.

Notes 1. — Lorsque, d'après les résultats d'essais de type sur une inductance similaire, on connaît les pertes à la température de référence et à l'état froid, les pertes mesurées à l'essai individuel sur une inductance peuvent être ramenées à la température de référence comme suit:

On multiplie les pertes mesurées à l'état froid par le rapport des pertes mesurées à la température de référence à celles mesurées à froid pour l'inductance passée aux essais de type, et aussi par le rapport de 235 plus la température à froid pendant l'essai de type à 235 plus la température à froid pendant l'essai individuel.

2. — Si la station d'essai ne permet pas d'effectuer des essais satisfaisants, ceux-ci peuvent être effectués sur l'appareil installé, sous réserve d'accord entre l'acheteur et le constructeur.

17.4 Essai d'échauffement (essai de type)

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 41.

L'essai d'échauffement est effectué à la tension et à la fréquence nominales.

Note. — Voir paragraphe 17.3, note 2.

17.5 Essai de tension entre spires (essai individuel)

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 43.

Il est reconnu que cet essai n'est généralement pas réalisable pour les inductances de grande puissance, même à fréquence accrue, étant donné que les puissances nécessaires dépassent souvent la puissance disponible dans la station d'essais. Lorsque l'essai n'est pas réalisable, il est remplacé par un essai de tenue aux ondes de choc.

17.6 Essai par tension appliquée (essai individuel)

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 44.

Les tensions d'essais sont choisies conformément aux tableaux I et II de l'article 4 pour les niveaux d'isolement spécifiés des inductances. Les valeurs du type 1 seront choisies dans le cas d'inductances immergées dans l'huile et les valeurs du type 2 dans le cas d'inductances du type sec.

17.7 Essai de tenue aux ondes de choc (essai de type et essai individuel)

L'essai aux ondes de choc est un essai de type pour les inductances qui sont destinées à être utilisées en situation exposée. C'est un essai individuel lorsque l'essai de tension entre spires n'est pas réalisable.

Les tensions d'essais sont choisies conformément aux tableaux I et II de l'article 4 pour les niveaux d'isolement spécifiés des inductances.

Pour la procédure d'essai voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 45, procédure qui est généralement applicable.

The impedance per phase is deduced from the above measured current.

The method for determination of loss is also subject to agreement; 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 measurements using watt-meter methods may be subject to considerable errors; hence a bridge method or a calorimetric method with proper precautions may be used to advantage.

The loss in the various parts of the reactor 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 shall be deemed independent of temperature.

Notes 1. — If from the results of type tests on a similar reactor, the losses at reference temperature and in the cold state are both known, the loss on the reactor under routine test may be corrected to reference temperature as follows:

Multiply the cold state loss by the ratio of the loss at reference temperature to the cold state loss for the type tested reactor and also by the ratio of 235 plus the cold state temperature (Celsius degrees) during type test to 235 plus the cold state temperature (Celsius degrees) during routine test.

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

17.4 *Test of temperature rise (type test)*

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 41.

This test is performed at rated voltage and frequency.

Note. — See Sub-clause 17.3, Note 2.

17.5 *Inter-turn overvoltage withstand test (routine test)*

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 43.

It is recognized that such a test is not generally practicable for large reactors, even with increased frequency, as the power requirements exceed those generally available at the testing station. When impracticable, this test shall be replaced by an impulse-voltage test.

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

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 44.

The test voltages shall be taken from Tables I and II, Clause 4 for the specified insulation level of the reactors. Series 1 values shall be chosen for oil-immersed reactors and Series 2 values for dry-type reactors.

17.7 *Impulse-voltage withstand test (type and routine tests)*

The impulse-voltage test is a type test for reactors designed for exposed situations. It is a routine test when the inter-turn overvoltage test is not practicable.

The test voltages shall be taken from Tables I and II, Clause 4, for the specified insulation levels of the reactors.

Test requirements as in IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 45, are generally applicable.

18. Tolérances

Dans le cas d'inductances shunt avec prises, les tolérances ne s'appliquent qu'à la prise principale, à moins qu'il en soit spécifié autrement.

18.1 Tolérances sur le courant sous la tension nominale

$\pm 5\%$ du courant nominal.

Dans le cas d'inductances shunt triphasées ou de bancs de trois unités monophasées, les courants dans les trois phases, lorsque celles-ci sont reliées à un réseau avec tensions symétriques, ne doivent pas s'écarter de plus de 2% de la valeur moyenne, mais toujours dans les limites de la tolérance de $\pm 5\%$ ci-dessus.

18.2 Tolérances sur les pertes

Les pertes spécifiées à la tension nominale sont corrigées en prenant comme facteur de correction le carré du rapport entre le courant mesuré (à la tension nominale) et le courant nominal.

Les pertes mesurées sont ensuite comparées aux pertes spécifiées corrigées et ne doivent pas les dépasser de plus de 15%.

18.3 Teneur en harmonique admissible du courant de l'inductance

Dans le cas des inductances shunt destinées à être mises à la terre directement, la valeur de crête pour l'harmonique 3 du courant ne doit pas dépasser 3% de la valeur de crête de l'onde fondamentale lorsque l'inductance est alimentée à la tension nominale par une onde sinusoïdale.

SECTION CINQ - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES MONOPHASÉES DE MISE À LA TERRE DU NEUTRE ET LES BOBINES D'EXTINCTION D'ARC

19. Généralités

Les inductances monophasées sont souvent utilisées, soit seules, soit en combinaison avec des résistances, pour relier à la terre le point neutre d'un transformateur.

Les inductances de valeur relativement faible sont utilisées pour limiter le courant de défaut à la terre; celles de valeur assez élevée sont utilisées comme bobines d'extinction d'arc chargées de compenser le courant capacitif qui s'établit lors d'un défaut dans le réseau entre ligne et terre.

Une bobine d'extinction d'arc peut être prévue avec un enroulement secondaire permettant de raccorder une résistance ou avec un enroulement auxiliaire pour des besoins de mesure.

20. Définitions

20.1 Tension nominale

La tension nominale est la tension la plus élevée à la fréquence nominale pour laquelle l'inductance est conçue.

Pour les inductances de haute impédance, notamment les bobines d'extinction d'arc, la tension nominale est généralement prise égale à la tension simple du réseau, à moins que les conditions d'exploitation de celui-ci ne justifient le choix d'une autre valeur.

18. Tolerances

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

18.1 Tolerances on the current at rated voltage

$\pm 5\%$ of rated current.

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

18.2 Tolerances on loss

The declared loss at rated voltage shall be corrected by multiplication with the square of the ratio between measured current (at rated voltage) and rated current.

The measured loss shall be compared with the corrected, declared loss and shall not exceed it by more than 15%.

18.3 Allowable harmonic content of reactor current

For shunt reactors intended to be directly earthed, the maximum allowable crest value of the third harmonic component of the reactor current shall be 3% of the crest value of the fundamental when the reactor is energized at rated voltage with a sinusoidal wave form.

SECTION FIVE - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR SINGLE-PHASE NEUTRAL-EARTHING REACTORS AND ARC-SUPPRESSION COILS

19. General

Single-phase reactors are often used, alone or in conjunction with resistors, to connect the neutral point of a transformer to earth.

Reactors of relatively low impedance are used to limit earth-fault current. High impedance reactors are used as arc-suppression coils to compensate for the capacitive current appearing in the case of line-to-earth faults in the network.

An arc-suppression coil may be provided with a secondary winding for connection of a resistor or with an auxiliary winding for measuring purposes.

20. Definitions

20.1 Rated voltage

The rated voltage is the highest voltage at rated frequency for which a reactor is designed.

For high impedance reactors, e.g. arc-suppression coils, the rated voltage is usually taken as the line-to-neutral voltage of the network unless operating conditions justify the selection of a different value.

Pour les inductances de mise à la terre du neutre de basse impédance, la tension nominale doit être spécifiée par le client, compte-tenu de la tension la plus élevée existant aux bornes dans des conditions de défaut dans le réseau.

20.2 *Courant nominal d'une bobine d'extinction d'arc*

Valeur du courant que l'appareil doit pouvoir supporter quand il est alimenté sous tension nominale et à la fréquence nominale et qu'il est connecté sur la prise correspondant au courant maximal (prise principale ou le cas échéant, entrefer réglé à sa valeur maximale).

20.3 *Courant de courte durée nominal d'une inductance monophasée de mise à la terre*

Courant que l'appareil doit pouvoir supporter en cas de défaut pendant une durée spécifiée. Plusieurs courants de courte durée nominaux peuvent être spécifiés selon leur durée.

20.4 *Durée nominale de fonctionnement*

Durée pendant laquelle l'appareil doit pouvoir supporter le courant nominal ou le courant de courte durée nominal.

La durée nominale de fonctionnement d'une inductance de mise à la terre du neutre de basse impédance doit être spécifiée par le client. Si elle n'est pas spécifiée, elle sera supposée être de 3 s.

Si la durée nominale de fonctionnement d'une bobine d'extinction d'arc est inférieure ou égale à 2 h, l'inductance est dite pour service de courte durée. Si elle est plus longue, l'inductance est dite pour service continu.

La durée nominale de fonctionnement des inductances pour service de courte durée doit être spécifiée.

20.5 *Impédance nominale*

Impédance égale au quotient de la tension nominale par le courant nominal ou le courant de courte durée nominal.

20.6 *Puissance nominale d'une bobine d'extinction d'arc*

Puissance apparente obtenue en multipliant la tension nominale par le courant nominal.

21. **Niveaux d'isolement**

Le niveau d'isolement d'une inductance monophasée de mise à la terre du neutre ou d'une bobine d'extinction d'arc doit correspondre à la tension maximale susceptible d'apparaître au point neutre du réseau ou du transformateur associé; il doit être spécifié.

Pour le niveau d'isolement de l'extrémité terre de l'inductance, une valeur réduite peut éventuellement être choisie (enroulement à isolement gradué).

Les valeurs des niveaux d'isolement doivent être choisies dans les tableaux I et II de l'article 4.

22. **Echauffement**

Etant donné le fonctionnement intermittent, l'échauffement de l'huile à la partie supérieure et l'échauffement moyen des enroulements peuvent être majorés par rapport aux échauffements des enroulements qui sont spécifiés dans la Publication 76 de la CEI, section six. On admet des échauffements de:

- 10 deg C supérieurs pour les inductances pour service continu;
- 20 deg C supérieurs pour les inductances pour service de courte durée (durée de 10 s à 2 h).

For low impedance neutral earthing reactors, the rated voltage shall be specified by the purchaser taking into account the highest voltage which can exist across its terminals under fault conditions in the network.

20.2 *Rated current of an arc-suppression coil*

The value of current which the apparatus is designed to carry when rated voltage is applied at rated frequency with the reactor arranged for maximum current (principal tapping or maximum air gap as appropriate).

20.3 *Rated short-time current of a single-phase neutral-earthing reactor*

The fault current which the apparatus is designed to carry for a specified duration. Depending on their duration, several rated short-time currents may be specified.

20.4 *Rated loading time*

The duration for which the apparatus is designed to carry the rated current or the rated short-time current.

The rated loading time of a neutral-earthing reactor of low impedance shall be specified by the purchaser. If not specified, it is assumed to be 3 s.

If the rated loading time of an arc-suppression coil is up to 2 h, the coil is a short-time duty type. If it is longer, the coil shall be designed for continuous duty.

The rated loading time of short-time duty coils shall be specified.

20.5 *Rated impedance*

The impedance of the reactor is equal to the ratio between rated voltage and rated current or rated short-time current.

20.6 *Rated power of an arc-suppression coil*

The rated power is the apparent power obtained when rated voltage is multiplied by rated current.

21. **Insulation levels**

The insulation level of a single-phase neutral-earthing reactor or an arc-suppression coil shall correspond to the maximum voltage which may appear at the neutral of the associated system or transformer; it shall be specified.

For the earth end of the coil, selection of a reduced insulation level may be appropriate (graded insulation coil).

The values of insulation levels shall be selected from Tables I and II of Clause 4.

22. **Temperature rise**

Taking into account the intermittent operation, the temperature rise of the top oil and the average temperature rises of the windings are allowed to be:

- 10 deg C higher for continuous-duty coils;
- 20 deg C higher for short-time duty coils (duration 10 s to 2 h),
than those specified in Section Six of IEC Publication 76.

Pour les inductances monophasées de mise à la terre du neutre de basse impédance, pour lesquelles une durée nominale de fonctionnement inférieure à 10 s a été spécifiée, une température d'enroulement conforme à la Publication 76 de la CEI, tableau XII est admise. De plus, on suppose une température initiale de $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

23. Réglage d'une bobine d'extinction d'arc

Le courant à la tension et la fréquence nominales qui s'établit dans une bobine d'extinction d'arc peut être réduit par une des méthodes suivantes:

- 1) en ajoutant des portions d'enroulement au moyen d'un changeur de prise hors tension ou en charge;
- 2) en réduisant l'entrefer du circuit magnétique au moyen d'un mécanisme réglable pouvant fonctionner à tout moment, même en charge.

24. Plaque signalétique

La plaque signalétique doit porter les indications suivantes:

- a) Bobine d'extinction d'arc - type ...
ou
Inductance monophasée de mise à la terre du neutre - type...
- b) Numéro et année de la spécification.
- c) Nom du constructeur.
- d) Numéro de série attribué par le constructeur.
- e) Année de fabrication.
- f) Puissance nominale.
- g) Fréquence nominale.
- h) Tension nominale.
- i) Courant nominal (pour les bobines d'extinction d'arc seulement).
- j) Impédance mesurée pour le minimum et le maximum de la gamme de réglage, le cas échéant.
- k) Courant nominal de courte durée (pour les inductances monophasées de mise à la terre du neutre seulement).
- l) Durée de fonctionnement nominale.
- m) Mode de refroidissement.
- n) Classe de température pour les appareils du type sec, et échauffement s'il diffère des valeurs normales.
- o) Niveau d'isolement, séparément pour l'extrémité de l'enroulement mise à la terre, le cas échéant.
- p) Masse totale *.
- q) Masse de l'huile isolante *.
- r) Masse de décuvage *.

25. Essais

Note. — Les titres des paragraphes de cet article indiquent lesquels des essais sont des essais de type, des essais individuels et des essais spéciaux.

25.1 Conditions générales pour les essais de type, les essais individuels et les essais spéciaux

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 35.

* Si la masse totale dépasse 5 tonnes.

For single-phase neutral-earthing reactors of low impedance, for which a rated loading time less than 10 s has been specified, the winding temperature limit may be as Table XII of IEC Publication 76, assuming an initial temperature of +40 °C.

23. Adjustment of an arc-suppression coil

The current corresponding to rated voltage at rated frequency applied to an arc-suppression coil may be reduced in one of the following ways:

- 1) by switching additional sections of winding in finite steps with an off-circuit or on-load tap changer;
- 2) by reducing the air gap of the magnetic circuit with an adjustable mechanism, the mechanism being capable of operation at any time, also on load.

24. Rating plate

The rating plate shall show the following information:

- a) Arc-suppression coil - Type ...
or
Single-phase neutral-earthing reactor - Type ...
- b) Number and year of the specification.
- c) Manufacturer's name.
- d) Manufacturer's serial number.
- e) Year of manufacture.
- f) Rated power (for arc-suppression coils only).
- g) Rated frequency.
- h) Rated voltage.
- i) Rated current (for arc-suppression coils only).
- j) Measured impedance for maximum and minimum setting, if applicable.
- k) Rated short-time current (for single-phase neutral-earthing reactors only).
- l) Rated loading time.
- m) Type of cooling.
- n) Class of temperature for dry type apparatus, and temperature rise if non-standard.
- o) Insulation level, separately for the earth end of the winding where appropriate.
- p) Total mass *.
- q) Mass of insulating oil *.
- r) Untanking mass *.

25. Tests

Note. — In this clause, the titles of the sub-clauses indicate which tests are type tests, routine tests and special tests.

25.1 General requirements for type, routine and special tests

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 35.

* If total mass greater than 5 tonnes.

25.2 *Mesure de la résistance des enroulements (essai individuel)*

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 36.

25.3 *Mesure de l'impédance et du courant (essai individuel)*

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 40.

Pour les bobines d'extinction d'arc, les mesures doivent être effectuées pour l'ensemble de la plage de réglage, à tension et fréquence nominales. Si cela s'avère difficile à réaliser, la tension d'essai à choisir devra faire l'objet d'un accord pour autant que l'on prenne une valeur aussi élevée que possible et que les essais soient effectués à des tensions différentes, pour faciliter l'extrapolation.

Pour les inductances de mise à la terre du neutre de basse impédance, on effectuera les mesures en tenant compte de la recommandation figurant au paragraphe 10.9.

25.4 *Essai d'échauffement (essai de type)*

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 41, pour les paragraphes appropriés.

L'essai d'échauffement est effectué à la tension et la fréquence nominale.

Pour les inductances monophasées de mise à la terre du neutre de basse impédance, pour lesquelles une durée nominale de fonctionnement inférieure à 10 s a été spécifiée, il n'est pas nécessaire d'effectuer un essai d'échauffement. Au lieu d'effectuer cet essai, on calcule la température finale de la même façon que pour les transformateurs de puissance dans des conditions de court-circuit. Pour la méthode de calcul, voir la Publication 76 de la CEI, section huit, article 26. Pour les calculs, on suppose une température initiale de $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

25.5 *Essai de tension entre spires (essai individuel)*

Les bobines d'extinction d'arc à plein isolement sont essayées à une tension égale à deux fois la tension nominale.

Les bobines d'extinction d'arc à isolement gradué sont essayées avec la borne côté isolement gradué mise à la terre et l'autre borne portée à la tension d'essai appropriée.

Les bobines d'extinction d'arc avec prises ou entrefer variable sont réglées de façon à obtenir le courant minimal.

Les inductances monophasées de mise à la terre du neutre de basse impédance sont essayées comme les inductances série (paragraphe 10.6).

Pour les modalités d'essais, voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 43.

Lorsque l'essai entre spires n'est pas réalisable, cet essai doit être remplacé par un essai de tenue aux ondes de choc avec une durée augmentée du front de l'onde de choc.

25.6 *Essai par tension appliquée (essai individuel)*

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 44.

Les tensions d'essais sont choisies conformément aux tableaux I et II de l'article 4 pour les niveaux d'isolement spécifiés des appareils. Les valeurs du type 1 seront choisies dans le cas d'appareils immergés dans l'huile et les valeurs du type 2 dans le cas d'appareils du type sec.

25.7 *Essai de tenue aux ondes de choc (essai de type)*

Voir Publication 76 de la CEI, section douze, article 45.

Les tensions d'essais sont choisies conformément aux tableaux I et II de l'article 4 pour les niveaux d'isolement spécifiés des appareils. Sauf spécification contraire, la durée du front de l'onde de choc sera de $10\text{ }\mu\text{s}$.

25.2 *Measurement of winding resistance (routine test)*

See IEC Publication 76, Section Twelve Clause 36.

25.3 *Measurement of current (routine test) and impedance*

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 40.

Measurements on arc-suppression coils shall be made over the whole range of adjustment, preferably at rated voltage and frequency. Should this be impracticable, the measurement method is subject to agreement on the understanding that the test voltage be chosen as high as possible and that tests at different voltages be made for the purpose of extrapolation.

For neutral-earthing reactors of low impedance, the measurement shall be made taking into account the recommendations of Sub-clause 10.9.

25.4 *Test of temperature rise (type test)*

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 41, as appropriate.

This test is performed at rated voltage and frequency.

For single-phase neutral-earthing reactors of low impedance, for which a rated loading time less than 10 s has been specified, a temperature-rise test is not required. Instead, the final temperature is calculated in the same way as that for transformers under short-circuit conditions. For the method of calculation, see IEC Publication 76, Section Eight, Clause 26. An initial temperature of +40 °C is assumed for calculations.

25.5 *Inter-turn overvoltage withstand test (routine test)*

Arc-suppression coils with full insulation shall be tested with a voltage across the winding equal to twice rated voltage.

Arc-suppression coils with graded insulation shall be tested with the reduced insulation terminal earthed and the other terminal raised to the appropriate test voltage.

Arc-suppression coils with tapings or variable air gap shall be set for minimum current.

Low impedance single-phase neutral-earthing reactors shall be tested as series reactors (Sub-clause 10.6).

For method of test, see IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 43.

When the test between turns is impracticable, the test shall be replaced by an impulse-voltage test with an increased duration of the front of the impulse wave.

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

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 44.

The test voltages shall be taken from Tables I and II, Clause 4, for the specified insulation levels of the apparatus. Series 1 values shall be chosen for oil-immersed apparatus and Series 2 values for dry-type apparatus.

25.7 *Impulse-voltage withstand test (type test)*

See IEC Publication 76, Section Twelve, Clause 45.

The test voltages shall be taken from Tables I and II, Clause 4, for the specified insulation levels of the apparatus. Unless otherwise specified, the front duration of the impulse wave shall be 10 μ s.

Dans le cas d'enroulements avec prises, l'essai est exécuté sur les deux prises extrêmes.

Si l'extrémité de l'enroulement de la partie avec prises est sortie au travers d'un isolateur de passage pour être protégée au moyen d'un parafoudre, cette borne peut être mise à la terre au travers d'une résistance de $500\ \Omega$.

26. Tolérances

26.1 Tolérances sur le courant à la tension nominale pour les bobines d'extinction d'arc

Sur le courant maximal: $\pm 5\%$ de la valeur nominale.

Sur les autres courants: $\pm 10\%$ des valeurs déclarées.

26.2 Tolérances sur l'impédance des inductances monophasées de mise à la terre du neutre

+20% de l'impédance nominale sur toute la plage de courant.

— 0% de l'impédance nominale sur toute la plage de courant.

Note. — Sauf spécification contraire, les pertes ne font pas l'objet d'une garantie.

SECTION SIX - PRESCRIPTIONS PARTICULIÈRES POUR LES INDUCTANCES TRIPHASÉES DE MISE A LA TERRE ET LES TRANSFORMATEURS DE MISE A LA TERRE

27. Généralités

Les inductances triphasées de mise à la terre sont généralement du type à bain d'huile. Elles sont normalement connectées soit en zigzag, soit en étoile-triangle; l'enroulement connecté en triangle peut être du type ouvert pour permettre l'insertion d'une résistance ou d'une inductance pour l'ajustement de l'impédance homopolaire de l'inductance de mise à la terre.

Les transformateurs de mise à la terre peuvent avoir un enroulement (secondaire) à basse tension pour l'alimentation de secours d'une sous-station. Un tel enroulement est capable d'une puissance nominale et doit être conforme à la Publication 76 de la CEI.

Les inductances triphasées de mise à la terre et les transformateurs de mise à la terre sont utilisés pour créer un neutre artificiel permettant:

- a) la mise à la terre d'un réseau qui ne le serait pas;
- b) le raccordement de charges monophasées entre ligne et neutre;
- c) le raccordement d'une bobine d'extinction d'arc;
- d) le passage, en cas de défaut entre ligne et terre, d'un courant de valeur limitée par l'impédance de la bobine complétée éventuellement par celle d'une résistance additionnelle et permettant l'établissement d'une protection sélective.

28. Définitions

28.1 Tension nominale

Tension pour laquelle l'appareil est conçu.

A moins que les conditions d'exploitation ne justifient le choix d'une valeur plus élevée, la tension nominale d'un transformateur de mise à la terre est censée être la tension entre lignes du réseau associé.

In the case of windings with tapings, the test shall be made on both extreme tapings.

If the winding end on the tapped part is brought out through a bushing for protection by a surge diverter, this terminal may be earthed through a 500 Ω resistor.

26. Tolerances

26.1 Tolerances on current at rated voltage for arc-suppression coils

On the maximum current: $\pm 5\%$ of the rated value.

On the other currents: $\pm 10\%$ of the declared values.

26.2 Tolerances on the impedance of single-phase neutral-earthing reactors

+ 20% of rated impedance throughout the current range.

— 0% of rated impedance throughout the current range.

Note. — Unless otherwise specified, a loss figure is not guaranteed.

SECTION SIX - PARTICULAR REQUIREMENTS FOR THREE-PHASE NEUTRAL ELECTRO-MAGNETIC COUPLERS AND EARTHING TRANSFORMERS

27. General

Three-phase neutral electromagnetic couplers are generally of the oil-immersed type. They are usually connected either in zigzag or in star-delta; the delta connected winding may be of the open type to permit the insertion of a resistor or reactor to adjust the zero-sequence impedance.

Earthing transformers may have a (secondary) low-voltage winding to provide an auxiliary supply to a substation. Such a secondary has a rated power and shall conform to IEC Publication 76.

Three-phase couplers and earthing transformers provide an artificial neutral and are used for the following purposes:

- a) to earth an otherwise unearthed system;
- b) to connect single-phase loads between lines and neutral;
- c) to connect an arc-suppression coil;
- d) to limit the current during a line-to-earth fault due to the impedance of the coils and the possible additional resistors, permitting selective protection.

28. Definitions

28.1 Rated voltage

The voltage for which the apparatus is designed.

Unless operating conditions justify the selection of a higher value, the rated voltage of an earthing transformer is deemed to be the line-to-line voltage of the associated system.