



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Power transformers –
Part 18: Measurement of frequency response**

**Transformateurs de puissance –
Partie 18: Mesure de la réponse en fréquence**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 29.180

ISBN 978-2-83220-222-7

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Terms and definitions	7
3 Purpose of frequency response measurements	8
4 Measurement method	9
4.1 General.....	9
4.2 Condition of the test object during measurement	10
4.3 Measurement connection and checks	11
4.3.1 Measurement connection and earthing	11
4.3.2 Zero-check measurement	11
4.3.3 Repeatability check	11
4.3.4 Instrument performance check.....	11
4.4 Measurement configuration	12
4.4.1 General	12
4.4.2 Principles for choosing the measurement configuration	12
4.4.3 Star- and auto-connected windings with a neutral terminal	13
4.4.4 Delta windings and other windings without an accessible neutral	13
4.4.5 Zig-zag connected windings.....	14
4.4.6 Two-winding three-phase transformers	14
4.4.7 Three-phase auto-transformers	14
4.4.8 Phase shifting transformers	14
4.4.9 Reactors.....	14
4.4.10 Method for specifying additional measurements.....	14
4.5 Frequency range and measurement points for the measurement	15
5 Measuring equipment	15
5.1 Measuring instrument	15
5.1.1 Dynamic range	15
5.1.2 Amplitude measurement accuracy	16
5.1.3 Phase measurement accuracy	16
5.1.4 Frequency range	16
5.1.5 Frequency accuracy	16
5.1.6 Measurement resolution bandwidth.....	16
5.1.7 Operating temperature range.....	16
5.1.8 Smoothing of recorded data.....	16
5.1.9 Calibration.....	16
5.2 Measurement leads	16
5.3 Impedance	17
6 Measurement records	17
6.1 Data to be recorded for each measurement	17
6.2 Additional information to be recorded for each set of measurements	18
Annex A (normative) Measurement lead connections	20
Annex B (informative) Frequency response and factors that influence the measurement.....	23
Annex C (informative) Applications of frequency response measurements	37

Annex D (informative) Examples of measurement configurations	39
Annex E (informative) XML data format.....	43
Bibliography.....	44
Figure 1 – Example schematic of the frequency response measurement circuit.....	10
Figure A.1 – Method 1 connection.....	21
Figure A.2 – Method 3 connection.....	22
Figure B.1 – Presentation of frequency response measurements	23
Figure B.2 – Comparison with a baseline measurement	24
Figure B.3 – Comparison of the frequency responses of twin transformers	24
Figure B.4 – Comparison of the frequency responses from sister transformers	25
Figure B.5 – Comparison of the frequency responses of three phases of a winding.....	25
Figure B.6 – General relationships between frequency response and transformer structure and measurement set-up for HV windings of large auto-transformer	27
Figure B.7 – Effect of tertiary delta connection on the frequency response of a series winding	28
Figure B.8 – Effect of star neutral connection on the tertiary winding response	29
Figure B.9 – Effect of star neutral termination on series winding response	29
Figure B.10 – Measurement results showing the effect of differences between phases in internal leads connecting the tap winding and OLTC	30
Figure B.11 – Effect of measurement direction on frequency response	30
Figure B.12 – Effect of different types of insulating fluid on frequency response	31
Figure B.13 – Effect of oil filling on frequency response	31
Figure B.14 – Effect of a DC injection test on the frequency response	32
Figure B.15 – Effect of bushings on frequency response.....	32
Figure B.16 – Effect of temperature on frequency response	33
Figure B.17 – Examples of bad measurement practice.....	34
Figure B.18 – Frequency response of a tap winding before and after partial axial collapse and localised inter-turn short-circuit with a photograph of the damage	34
Figure B.19 – Frequency response of an LV winding before and after axial collapse due to clamping failure with a photograph of the damage [8].....	35
Figure B.20 – Frequency response of a tap winding with conductor tilting with a photograph of the damage [1]	36
Figure D.1 – Winding diagram of an auto-transformer with a line-end tap changer	40
Figure D.2 – Connection diagram of an inductive inter-winding measurement on a three-phase YNd1 transformer.....	41
Figure D.3 – Connection diagram for a capacitive inter-winding measurement on a three-phase YNd1 transformer.....	42
Figure D.4 – Connection diagram for an end-to-end short-circuit measurement on a three-phase YNd1 transformer.....	42
Table 1 – Standard measurements for a star connected winding with taps	13
Table 2 – Standard measurements for delta connected winding without tap	14
Table 3 – Format for specifying additional measurements	15
Table D.1 – Standard end-to-end measurements on a three-phase auto-transformer	39
Table D.2 – Tap-changer connections.....	40

Table D.3 – Inductive inter-winding measurements on a three-phase YNd1 transformer.....	41
Table D.4 – Capacitive inter-winding measurements on a three-phase YNd1 transformer	41
Table D.5 – End-to-end short-circuit measurements on a three-phase YNd1 transformer	42

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 18: Measurement of frequency response

FOREWORD

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

International Standard IEC 60076-18 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

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

FDIS	Report on voting
14/718/FDIS	14/728/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 60076 series can be found, under the general title *Power transformers*, on the IEC website.

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

POWER TRANSFORMERS –

Part 18: Measurement of frequency response

1 Scope

This part of the IEC 60076 series covers the measurement technique and measuring equipment to be used when a frequency response measurement is required either on-site or in the factory either when the test object is new or at a later stage. Interpretation of the result is not part of the normative text but some guidance is given in Annex B. This standard is applicable to power transformers, reactors, phase shifting transformers and similar equipment.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	49
1 Domaine d'application	51
2 Termes et définitions	51
3 Objectif des mesures de réponse en fréquence	52
4 Méthode de mesure	53
4.1 Généralités.....	53
4.2 État de l'objet soumis à essai pendant la mesure	54
4.3 Connexions de mesure et contrôles.....	55
4.3.1 Connexions de mesure et de mise à la terre	55
4.3.2 Mesure de contrôle de zéro	55
4.3.3 Contrôle de répétabilité	56
4.3.4 Contrôle de performance de l'instrument	56
4.4 Configuration de la mesure.....	56
4.4.1 Généralités.....	56
4.4.2 Principes de choix de la configuration de mesure	56
4.4.3 Enroulements en étoile et auto-connectés avec une borne de neutre.....	57
4.4.4 Enroulements en triangle et autres enroulements sans neutre accessible	58
4.4.5 Enroulements connectés en zigzag.....	58
4.4.6 Transformateurs triphasés à deux enroulements.....	58
4.4.7 Autotransformateurs triphasés	59
4.4.8 Transformateur déphaseurs.....	59
4.4.9 Bobines d'inductance.....	59
4.4.10 Méthode de spécification de mesures complémentaires.....	59
4.5 Plage de fréquences et points de mesure pour la mesure.....	59
5 Appareillage de mesure.....	60
5.1 Instrument de mesure.....	60
5.1.1 Plage dynamique	60
5.1.2 Précision de la mesure d'amplitude	60
5.1.3 Précision de la mesure de phase	60
5.1.4 Plage de fréquences.....	60
5.1.5 Précision de la fréquence	60
5.1.6 Résolution de la mesure sur la bande passante.....	60
5.1.7 Plage de températures de fonctionnement.....	61
5.1.8 Lissage des données enregistrées.....	61
5.1.9 Étalonnage	61
5.2 Câbles de mesure	61
5.3 Impédance	61
6 Enregistrements des mesures	61
6.1 Données à enregistrer pour chaque mesure	61
6.2 Informations supplémentaires à enregistrer pour chaque ensemble de mesures	62
Annexe A (normative) Connexions des câbles de mesure	65
Annexe B (informative) Réponse en fréquence et facteurs ayant une influence sur la mesure	68

Annexe C (informative) Applications des mesures de réponse en fréquence	83
Annexe D (informative) Exemples de configurations de mesure	85
Annexe E (informative) Format de données XML	89
Bibliographie.....	90
Figure 1 – Exemple de schéma du circuit de mesure de réponse en fréquence	54
Figure A.1 – Connexion selon la méthode 1	66
Figure A.2 – Connexion selon la méthode 3	67
Figure B.1 – Présentations des mesures de réponse en fréquence	68
Figure B.2 – Comparaison avec une mesure de référence	69
Figure B.3 – Comparaison des réponses en fréquence de transformateurs identiques	69
Figure B.4 – Comparaison des réponses en fréquence de transformateurs semblables.....	70
Figure B.5 – Comparaison des réponses en fréquence des trois phases d'un enroulement.....	70
Figure B.6 – Relations générales entre la réponse en fréquence, la structure du transformateur et l'installation de mesure pour les enroulements HT d'un grand autotransformateur	72
Figure B.7 – Effet d'une connexion en triangle tertiaire sur la réponse en fréquence d'un enroulement série	73
Figure B.8 – Effet d'une connexion de neutre en étoile sur la réponse de l'enroulement tertiaire	74
Figure B.9 – Effet de la terminaison de neutre en étoile sur la réponse de l'enroulement série	75
Figure B.10 – Résultats de mesure montrant l'effet des différences entre les phases des câbles internes reliant l'enroulement de prise et le changeur de prises en charge (OLTC)	76
Figure B.11 – Effet du sens de la mesure sur la réponse en fréquence	76
Figure B.12 – Effet de différents types de fluide d'isolation sur la réponse en fréquence.....	77
Figure B.13 – Effet du remplissage d'huile sur la réponse en fréquence.....	77
Figure B.14 – Effet d'un essai d'injection de courant continu sur la réponse en fréquence	78
Figure B.15 – Effet des traversées sur la réponse en fréquence	78
Figure B.16 – Effet de la température sur la réponse en fréquence	79
Figure B.17 – Exemples de mauvaise pratique de mesure	80
Figure B.18 – Réponse en fréquence d'un enroulement de prise avant et après affaissement axial partiel et court-circuit localisé entre spires avec une photographie du dommage.....	80
Figure B.19 – Réponse en fréquence d'un enroulement BT avant et après affaissement axial dû à un défaut de serrage avec une photographie du dommage [8]	81
Figure B.20 – Réponse en fréquence d'un enroulement de prise avec connexion basculée avec une photographie du dommage [1].....	82
Figure D.1 – Schéma des enroulements d'un autotransformateur avec un changeur de prise d'extrémité de ligne	86
Figure D.2 – Schéma de connexion d'une mesure inductive entre enroulements sur un transformateur triphasé YNd1	87
Figure D.3 – Schéma de connexion d'une mesure capacitive entre enroulements sur un transformateur triphasé YNd1	88

Figure D.4 – Schéma de connexion pour une mesure entre extrémités avec court-circuit sur un transformateur triphasé YNd1	88
Tableau 1 – Mesures normales pour un enroulement connecté en étoile avec des prises.....	58
Tableau 2 – Mesures normales pour un enroulement connecté en triangle sans prise.....	58
Tableau 3 – Format de spécification de mesures complémentaires	59
Tableau D.1 – Mesures normales entre extrémités sur un autotransformateur triphasé	85
Tableau D.2 – Connexions d'un changeur de prise	86
Tableau D.3 – Mesures inductives entre enroulements sur un transformateur triphasé YNd1	87
Tableau D.4 – Mesures capacitives entre enroulements sur un transformateur triphasé YNd1	87
Tableau D.5 – Mesures entre extrémités avec court-circuit sur un transformateur triphasé YNd1	88

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 18: Mesure de la réponse en fréquence

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60076-18 a été préparée par le Comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/718/FDIS	14/728/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60076, présentées sous le titre général *Transformateurs de puissance*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 18: Mesure de la réponse en fréquence

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 couvre la technique de mesure et l'appareillage de mesure à utiliser lorsqu'une mesure de réponse en fréquence est requise, soit sur site, soit en usine, lorsque l'objet à soumettre à essai est neuf ou à un stade plus avancé. L'interprétation du résultat ne fait pas partie du texte normatif mais des directives sont données à l'Annexe B. La présente norme est applicable aux transformateurs de puissance, bobines d'inductance, transformateurs déphaseurs et appareillages similaires.