NORME INTERNATIONALE
INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
444-5

Première édition
First edition
1995-03

Mesure des paramètres des résonateurs à quartz –

Partie 5:
Méthodes pour la détermination des paramètres électriques équivalents utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs

Measurement of quartz crystal unit parameters –

Part 5:
Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error correction

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright – all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE X

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

SOMMAIRE

Pages

AVANT-PROPOS 4

Articles

1 Domaine d'application 6

2 Introduction 6
2.1 Généralités 6
2.2 Méthodes de mesure de l'admittance 8
2.3 Analyse de l'admittance et évaluation des paramètres du circuit équivalent 12
2.4 Références normatives 12

3 Méthodes de mesure 14
3.1 Généralités 14
3.2 Contrôle de l'environnement 14
3.3 Etalonnage 14
3.4 Niveau d'excitation 14
3.5 Mesures de C_0 14
3.6 Choix des fréquences de mesure 16
3.7 Collecte des données 16
3.8 Correction des données 18
3.9 Calcul de l'admittance 18
3.10 Analyse de l'admittance et évaluation des paramètres du circuit équivalent 18

4 Choix de la méthode de mesure de l'admittance 18
4.1 Généralités 18
4.2 Avantages et inconvénients de la méthode des paramètres *S* de réflexion à une porte 18
4.3 Avantages et inconvénients de la méthode des paramètres *S* de transmission à deux portes 20
4.4 Avantages et inconvénients de la méthode de transmission directe 20

5 Techniques d'étalonnage 22
5.1 Méthode des paramètres *S* 22
5.2 Méthode de transmission directe 22
5.3 Vérification de l'étalonnage 22

6 Mesures des basses fréquences 24

7 Analyse de l'admittance et l'évaluation des paramètres du circuit équivalent 24
7.1 Méthode générale d'ajustement des moindres carrés 24
7.2 Méthode linéaire d'ajustement des moindres carrés 26
7.3 Méthode d'ajustement de cercle 32
7.4 Méthode d'itération à deux points 36

8 Erreurs de mesure, instruments et montages d'essai 40
8.1 Commentaires généraux 40
8.2 Conditions de mesures 40
8.3 Reproductibilité 42
8.4 Mesures et montages d'essai 42

Figures 48

Annexes
A Etalonnage 70
B Mesure des basses fréquences 92
C Bibliographie 100

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

Clause

1 Scope 7

2 Introduction 7
2.1 General 7
2.2 Methods of admittance measurement 9
2.3 Admittance analysis and estimation of equivalent circuit parameters 13
2.4 Normative references 13

3 Measurement procedures 15
3.1 General 15
3.2 Environmental control 15
3.3 Calibration 15
3.4 Level of drive 15
3.5 C_0 measurements 15
3.6 Choice of measurement frequencies 17
3.7 Data collection 17
3.8 Data correction 19
3.9 Admittance calculation 19
3.10 Admittance analysis and estimation of the equivalent circuit parameters 19

4 Choice of admittance measurement method 19
4.1 General 19
4.2 Advantages and disadvantages of the one-port *S*-parameter reflection method 19
4.3 Advantages and disadvantages of the two-port *S*-parameter transmission method 21
4.4 Advantages and disadvantages of the direct transmission method 21

5 Calibration techniques 23
5.1 *S*-parameter method 23
5.2 Direct transmission method 23
5.3 Verification of calibration 23

6 Low-frequency measurements 25

7 Admittance analysis and estimation of the equivalent circuit parameters 25
7.1 General least-squares fitting method 25
7.2 Linear least-squares fitting procedure 27
7.3 Circle-fitting method 33
7.4 Two-point iterative method 37

8 Measurement errors, instrumentation and test fixtures 41
8.1 General comments 41
8.2 Measurement conditions 41
8.3 Reproducibility 43
8.4 Measurement and test fixtures 43

Figures 49

Annexes
A Calibration 71
B Low-frequency measurement 93
C Bibliography 100

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

Partie 5: Méthodes pour la détermination des paramètres électriques équivalents utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs

AVANT-PROPOS

1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.

3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.

4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 444-5 a été établie par le comité d'études 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques et diélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

La présente norme constitue la cinquième partie d'une série de publications traitant de la mesure des paramètres des résonateurs à quartz piézoélectriques.

La *Première partie*: *Méthode fondamentale pour la mesure de la fréquence de résonance et de la résistance de résonance des quartz piézoélectriques par la technique de la phase nulle dans le circuit en* π, est parue comme CEI 444-1.

La *Deuxième partie: Méthode de décalage de phase pour la mesure de la capacité dynamique des quartz*, est parue comme CEI 444-2.

La *Troisième partie: Méthode fondamentale pour la mesure des paramètres à deux pôles des résonateurs à quartz à la fréquence jusqu'à 200 MHz par la technique de phase dans le circuit en* π *avec compensation de la capacité parallèle* C_0, est parue comme CEI 444-3.

La *Quatrième partie: Méthode pour la mesure de la fréquence de résonance à la charge* f_L *et de la résistance de résonance à la charge* R_L *et pour le calcul des autres valeurs dérivées des quartz piézoélectriques, jusqu'à 30 MHz*, est parue comme CEI 444-4.

La *Sixième partie*: *Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)*, est parue comme CEI 444-6.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
49(BC)248	49(BC)268

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

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

Les annexes B et C sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

Part 5: Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error correction

FOREWORD

1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a world-wide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 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.

3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.

4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 444-5 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

It forms Part 5 of a series of publications dealing with the measurements of piezoelectric quartz crystal unit parameters.

Part 1: Basic method for the measurement of resonance frequency and resonance resistance of quartz crystal units by zero phase technique in a π-network, is issued as IEC 444-1.

Part 2: Phase offset method for measurement of motional capacitance of quartz crystal units, is issued as IEC 444-2.

Part 3: Basic method for the measurement of two-terminal parameters of quartz crystal units up to 200 MHz by phase technique in a π-network with compensation of parallel capacitance C_0, is issued as IEC 444-3.

Part 4: Method for the measurement of the load resonance frequency f_L, *load resonance resistance,* R_L *and the calculation of other derived values of quartz crystal units, up to 30 MHz,* is issued as IEC 444-4.

Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD), is issued as IEC 444-6.

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

DIS	Report on voting
49(CO)248	49(CO)268

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

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B and C are for information only.

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

Partie 5: Méthodes pour la détermination des paramètres électriques équivalents utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs

1 Domaine d'application

Le but de la présente Norme internationale est de fournir des méthodes permettant de déterminer les meilleures représentations de modes dans les résonateurs à quartz par des circuits équivalents linéaires. Les représentations des circuits sont fondées sur des paramètres électriques mesurés à l'aide d'un appareillage à analyseurs vectoriels de réseaux utilisant un système de correction automatique des erreurs. La détermination des paramètres équivalents par la méthode préconisée dans la présente norme est basée sur la mesure de l'immittance du dispositif au voisinage d'une résonance série. Le problème supplémentaire relatif à la caractérisation du dispositif en vue de son fonctionnement avec une capacité de charge série n'a pas été directement abordé, bien que l'on soit conscient du fait que certaines applications nécessitent une telle caractérisation. Le même matériel de mesure, et fondamentalement le même type de mesure, fournissent les moyens permettant la caractérisation complète du montage d'essai avec une capacité de charge ainsi que la combinaison série du montage de capacité de charge avec le résonateur à quartz.

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

Part 5: Methods for the determination of equivalent electrical parameters using automatic network analyzer techniques and error correction

1 Scope

The objective of this International Standard is to give methods for determining the best representations of modes in quartz crystal resonators by linear equivalent circuits. Circuit representations are based on electrical parameters measured with vector network analyzer equipment using automatic error correction. Determination of the equivalent parameters by the method of this standard is based on the measurement of device immittance in the vicinity of series resonance. The further problem of characterizing the device for operation with a series load capacitance has not been directly addressed, although it is recognized that some applications require such characterization. The same measuring equipment, and fundamentally the same sort of measurement, provides the means to characterize completely the test load capacity fixture as well as the series combination of load capacity fixture and crystal unit.