

RAPPORT
TECHNIQUE

TECHNICAL
REPORT

CEI
IEC

60444-4

Première édition
First edition
1988-06

**Mesure des paramètres des quartz
piézoélectriques par la technique
de phase nulle dans le circuit en π**

Partie 4: 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

**Measurement of quartz crystal unit parameters
by zero phase technique in a π -network**

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60444-4: 1988

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

RAPPORT TECHNIQUE

TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC**

60444-4

Première édition
First edition
1988-06

Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π

Partie 4: 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

Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network

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

© IEC 1988 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	8
2. Circuit de mesure	8
3. Méthode de mesure	10
ANNEXE A – Recommandations d'utilisation des condensateurs de charge	12
FIGURES	20

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60444-4:1988

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	9
2. Measuring circuit	9
3. Method of measurement	11
APPENDIX A – Recommendations regarding the use of load capacitors	13
FIGURES	20

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60444-4:1988

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MESURE DES PARAMÈTRES DES QUARTZ PIÉZOÉLECTRIQUES
PAR LA TECHNIQUE DE PHASE NULLE DANS LE CIRCUIT EN π**

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

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes n° 49 de la CEI: Dispositifs piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Il constitue la quatrième partie de la série des publications de la CEI sur les méthodes de mesure par la technique de phase et comprend la 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 des résonateurs à quartz et pour le calcul du décalage de la fréquence de résonance à la charge Δf_L , de la gamme de décalage de fréquence $\Delta f_{L1, L2}$ et de la sensibilité de fréquence relative S dans une gamme de fréquence jusqu'à 30 MHz.

La première partie, comprenant la méthode fondamentale pour la mesure de la fréquence de résonance et de la résistance de résonance des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π , est parue comme Publication 444-1 de la CEI (deuxième édition, 1986).

La deuxième partie, comprenant la méthode de décalage de phase pour la mesure de la capacité dynamique des quartz, est parue comme Publication 444-2 de la CEI (première édition, 1980).

La troisième partie, comprenant la 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 Publication 444-3 (première édition, 1986).

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure de Deux Mois	Rapport de vote
49(BC)156	49(BC)175	49(BC)178	49(BC)183, 183A

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS BY ZERO PHASE TECHNIQUE IN A π -NETWORK

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

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This report has been prepared by IEC Technical Committee No. 49: Piezoelectric Devices for Frequency Control and Selection.

It forms Part 4 of the series of IEC publications on phase measuring methods and contains the method for the measurement of load resonance frequency f_L , load resonance resistance R_L of quartz crystal units and for the calculation of load resonance frequency offset Δf_L , frequency pulling range $\Delta f_{L1, L2}$ and pulling sensitivity S up to 30 MHz.

Part 1, containing a 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 Publication 444-1 (second edition, 1986).

Part 2, containing a phase offset method for the measurement of motional capacitance of quartz crystal units, is issued as IEC Publication 444-2 (first edition, 1980).

Part 3, containing a basic method for the measurement of two-terminal parameters of quartz crystal units up to 200 MHz by the phase technique in a π -network with compensation of the parallel capacitance C_0 , is issued as IEC Publication 444-3 (first edition, 1986).

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

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
49(CO)156	49(CO)175	49(CO)178	49(CO)183, 183A

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans le présent rapport :

- Publications nos 122-1 (1976): Quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence. Première partie: Valeurs normalisées et conditions de mesures et d'essais. Y compris la modification n° 1 (1983).
- 122-2 (1983): Deuxième partie: Guide pour l'emploi des résonateurs à quartz pour le contrôle et la sélection de la fréquence.
- 302 (1969): Définitions normalisées et méthodes de mesures pour les résonateurs piézoélectriques de fréquences inférieures à 30 MHz.
- 444-1 (1986): Mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π . 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 phase nulle dans le circuit en π .
- 444-2 (1980): Deuxième partie: Méthode de décalage de phase pour la mesure de la capacité dynamique des quartz.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60444-4:1988

The following IEC publications are quoted in this report:

Publications Nos. 122-1 (1976): Quartz crystal units for frequency control and selection. Part 1: Standard values and test conditions. Including Amendment No. 1 (1983).

122-2 (1983): Part 2: Guide to the use of quartz crystal units for frequency control and selection.

302 (1969): Standard definitions and methods of measurement for piezoelectric vibrators operating over the frequency range up to 30 MHz.

444-1 (1986): Measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network. 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.

444-2 (1980): Part 2: Phase offset method for measurement of motional capacitance of quartz crystal units.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60444-4:1988

MESURE DES PARAMÈTRES DES QUARTZ PIÉZOÉLECTRIQUES PAR LA TECHNIQUE DE PHASE NULLE DANS LE CIRCUIT EN π

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

1. Domaine d'application

Le présent rapport définit une méthode simple de mesure de la fréquence de résonance à la charge f_L et de la résistance de résonance à la charge R_L dans la gamme des fréquences jusqu'à 30 MHz. Ces mesures permettent le calcul du décalage de la fréquence de résonance à la charge Δf_L , de la gamme de décalage de fréquence $\Delta f_{L1, L2}$ et de la sensibilité de fréquence relative S comme décrit dans la Modification n° 1 à la Publication 122-1 de la CEI.

Cette méthode utilise le changement de la fréquence de résonance de f_0 à f_L (c'est-à-dire Δf_L) qui a lieu lorsqu'une capacité de charge C_L est insérée en série avec le résonateur à quartz. Son exactitude est déterminée principalement par la précision de la mesure de la fréquence et par l'étalonnage du condensateur de charge.

La mesure de la fréquence de résonance à la charge f_L avec des capacités de charge différentes peut être utilisée pour la détermination de C_1 et L_1 comme cela est défini dans la Publication 302 de la CEI.

Il faut noter que, lorsqu'on fait les mesures de la fréquence de résonance à la charge des résonateurs à quartz, la précision qui peut être atteinte est fonction de la construction du résonateur à quartz et de la valeur de la capacité de charge, ainsi que de la méthode de mesure.

Des informations utiles, d'intérêt général, seront trouvées dans la Publication 122-2 de la CEI.

2. Circuit de mesure

- 2.1 Le circuit de mesure se compose d'un système de circuit en π avec phase nulle comme décrit dans la Publication 444-1 de la CEI, dans lequel un condensateur de charge étalonné peut être inséré entre les sorties d'un résonateur à quartz et les lames de contact du circuit en π pour réaliser une capacité de charge spécifique.

Les condensateurs de charge doivent être amovibles et interchangeables; de cette façon les mesures de fréquence de résonance ou de résonance à la charge peuvent être effectuées en utilisant dans le même circuit une ou plusieurs valeurs de capacité de charge, sans perturber le système de mesure.

- 2.2 Un modèle typique de condensateur de charge, la méthode d'insertion dans le circuit en π ainsi que des erreurs de mesure sont indiquées en annexe A.

2.3 Spécification du condensateur de charge

- 2.3.1 L'inductance résiduelle des condensateurs de charge doit être inférieure à 1×10^{-9} H.
- 2.3.2 La tolérance sur la valeur nominale spécifiée doit être égale à $\pm 0,1$ pF ou meilleure aux fréquences jusqu'à 1 MHz.
- 2.3.3 La capacité de diaphonie des condensateurs de charge doit être inférieure à 0,05 pF. Elle peut être mesurée conformément à l'annexe A.
- 2.3.4 Le coefficient de température à 25 °C doit être inférieur à $30 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$.

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS BY ZERO PHASE TECHNIQUE IN A π -NETWORK

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

1. Scope

This report specifies a simple method of measuring load resonance frequency f_L and load resonance resistance R_L in the frequency range up to 30 MHz. These measurements allow calculation of load resonance frequency offset Δf_L , frequency pulling range $\Delta f_{L1, L2}$ and pulling sensitivity S as described in Amendment No. 1 to IEC Publication 122-1.

The method uses the change in resonance frequency from f_r to f_L (i.e. Δf_L) which occurs when a load capacitance C_L is inserted in series with the crystal unit. The accuracy is determined mainly by the precision of the frequency measurement and the calibration of the load capacitor.

Measurement of load resonance frequency f_L with different load capacitances may be used for the determination of C_1 and L_1 as defined in IEC Publication 302.

It should be noted that when making measurements of the load resonance frequency of a quartz crystal unit, the accuracy obtainable is a function of the crystal unit design and the value of the load capacitance, as well as the method of measurement.

Useful information of general interest can be found in IEC Publication 122-2.

2. Measuring circuit

- 2.1 The measuring circuit consists of a zero phase π -network system as described in IEC Publication 444-1, in which a calibrated load capacitor can be inserted between the crystal unit terminals and the contact plates of the π -network, to obtain a specific load capacitance.

The load capacitors shall be removable and interchangeable, so that the measurements at resonance or at load resonance with one or more values of load capacitance can be made in the same network, without disturbing the measurement system.

- 2.2 An outline description of a typical design for the load capacitor and the method of insertion into the π -network together with measurement errors is given in Appendix A.

2.3 Load capacitor specification

- 2.3.1 The residual inductance of the load capacitors shall be less than 1×10^{-9} H.
- 2.3.2 The tolerance on the specified nominal value should be equal to or better than ± 0.1 pF at a frequency up to 1 MHz.
- 2.3.3 The cross-talk capacitance of the load capacitors shall be less than 0.05 pF. This can be measured as described in Appendix A.
- 2.3.4 The temperature coefficient at 25°C shall be less than $30 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$.

3. Méthode de mesure

3.1 Réglage initial

L'étalonnage et le réglage initial du système du circuit en π à phase nulle sont effectués conformément à la Publication 444-1 de la CEI, article 6.

3.2 La résistance de référence utilisée dans le système (voir paragraphe 3.1) est enlevée du circuit et est remplacée par le résonateur à quartz avec le condensateur de charge approprié. La fréquence de résonance à la charge f_L est mesurée à la phase nulle et la résistance de résonance à la charge R_L est calculée à partir des valeurs de V_{Bs} et V_{As} comme décrit dans la Publication 444-1 de la CEI, paragraphe 6.2. Les condensateurs de charge utilisés pour ces mesures doivent avoir une valeur spécifiée, dans les tolérances indiquées au paragraphe 2.3.2. (Les valeurs normalisées sont données dans la Publication 122-1 de la CEI, article 5).

3.3 D'après ces mesures, il est possible de calculer les valeurs de Δf_L , $\Delta f_{L1, L2}$ et S comme défini dans la Publication 122-1 de la CEI, modification n° 1.

3.4 La capacité dynamique C_1 et l'inductance dynamique L_1 peuvent être aussi calculées en utilisant les formules données dans le paragraphe 2.3.2 de la Publication 302 de la CEI.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60444-4:1988

3. Method of measurement

3.1 Initial adjustment

The calibration and initial adjustment of the zero phase π -network system is performed in accordance with IEC Publication 444-1, Clause 6.

3.2 The reference resistor used in the system (see Sub-clause 3.1) is removed from the network, and the crystal unit, together with the appropriate load capacitor, substituted. The load resonance frequency f_L is measured at zero phase, and the load resonance resistance R_L is calculated from the values of V_{Bs} and V_{As} as described in IEC Publication 444-1, Sub-clause 6.2. The load capacitors used for these measurements shall have the specified value within the tolerances in Sub-clause 2.3.2. (Standard values are given in IEC Publication 122-1, Clause 5).

3.3 From these measurements it is possible to calculate the values of Δf_L , $\Delta f_{L1, L2}$ and S as defined in IEC Publication 122-1, Amendment No. 1.

3.4 The motional capacitance C_1 and motional inductance L_1 can also be calculated using the formulae given in Sub-clause 2.3.2 of IEC Publication 302.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60444-4:1988

ANNEXE A

RECOMMANDATIONS D'UTILISATION DES CONDENSATEURS DE CHARGE

A1. Conception d'un condensateur de charge

A1.1 Caractéristiques mécaniques

Toute construction conforme aux exigences du paragraphe 2.3 est satisfaisante. Les condensateurs de charge conçus comme indiqué ci-après sont conformes à ces exigences.

Comme indiqué à la figure A1, les condensateurs sont conçus en utilisant deux éléments capacitifs dont les bords sont soudés à l'étain au conducteur du substrat en fibre de verre.

Les éléments capacitifs se composent d'un substrat en céramique recouvert d'une mince couche de métallisation à base d'un alliage chrome-nickel-or.

L'ensemble est alors revêtu par électrolyse d'une couche de cuivre de 0,3 mm d'épaisseur sur les deux faces. Le revêtement final consiste en une couche d'or de 5 µm.

La figure A1 illustre le montage.

Les deux sections du condensateur de charge sont approximativement égales, chacune ayant une valeur de $2C_L$, où C_L est la capacité de charge désirée.

La valeur de capacité peut être ajustée par érosion des bords pour répondre aux limites spécifiées au paragraphe 2.3.2 pour le condensateur de charge.

A1.2 Insertion dans le circuit en π

La figure A2 montre comment le condensateur de charge est inséré dans le circuit en π de façon à interposer l'élément capacitif entre chacune des lames de contact du circuit et les sorties du résonateur. La figure A3 schématise le circuit électrique obtenu lorsque le résonateur à quartz et le condensateur de charge sont montés.

Il convient de s'assurer que le condensateur de charge reste maintenu en position verticale dans le circuit en π .

A1.3 Etalonnage et mesure des condensateurs de charge

A1.3.1 L'étalonnage du condensateur de charge doit être effectué à la fréquence de 1 kHz en utilisant un capacimètre approprié donnant la possibilité de mesurer les condensateurs unipolaires avec une sortie connectée à la masse. La procédure est la suivante:

A1.3.2 Mesurer la capacité de fixation d'essai C_i du capacimètre sans condensateur de charge inséré.

A1.3.3 Insérer le condensateur de charge et mesurer ses deux sections. Les valeurs de la capacité qui en résultent sont C_{RA} et C_{RB} .

A1.3.4 La valeur réelle de la capacité de charge C_L est calculée par la relation:

$$C_L = \frac{C_{RA} + C_{RB} - 2C_i}{2} \quad (1)$$

A1.3.5 Mesure de la capacité de diaphonie

La capacité de diaphonie C_c peut être calculée à partir des mesures de l'affaiblissement de diaphonie de la capacité de charge. La relation entre l'affaiblissement de diaphonie et la capacité de diaphonie est donnée par l'équation:

$$C_c = \frac{10 - \frac{A_{C_c}}{20}}{25 \omega} \quad (2)$$

APPENDIX A

RECOMMENDATIONS REGARDING THE USE OF LOAD CAPACITORS

A1. Load capacitor design

A1.1 Mechanical features

Any design that meets the requirements of Sub-clause 2.3 is suitable. Load capacitors designed as set out below conform to these requirements.

The capacitors are made by using two capacitive elements secured around their edges by soldering to the track of the fibre glass substrate as shown in Figure A1.

The capacitive elements consist of a ceramic substrate with a thin layer of base plating using a chrome-nickel-gold alloy.

This assembly is then electroplated with a copper layer 0.3 mm thick on each side. The final coating is of gold plating 5 µm thick.

The construction is illustrated in Figure A1.

The two sections of the load capacitor are approximately equal each having the value $2C_L$, where C_L is the desired load capacitance.

The capacitance value may be adjusted by erosion of the edges to meet the specified limits of the load capacitor specification given in Sub-clause 2.3.2.

A1.2 Insertion into π -network

Figure A2 illustrates how the load capacitor is inserted into the π -network so as to interpose a capacitor between each of the network contacts and the terminals of the crystal unit. The electrical circuit arrangement when the crystal and load capacitor are in position, is shown in Figure A3.

Provision should be made so that the load capacitor is held in a vertical position in the π -network.

A1.3 Calibration and measurement of load capacitors

A1.3.1 Calibration of the load capacitor shall be carried out at a frequency of 1 kHz using an appropriate capacitance meter allowing the measurement of one-port capacitors (with one lead of which is earthed). The procedure is as follows:

A1.3.2 Measure the capacitance of the test fixture C_i of the capacitance meter without the load capacitor inserted.

A1.3.3 Insert the load capacitor and measure the two sections of it. The resulting capacitance values are C_{RA} and C_{RB} .

A1.3.4 The actual value of the load capacitance C_L is calculated from the relation:

$$C_L = \frac{C_{RA} + C_{RB} - 2C_i}{2} \quad (1)$$

A1.3.5 Cross-talk capacitance measurement

The cross-talk capacitance C_c can be calculated from the measurement of the cross-talk attenuation of the load capacitor. The relation between the cross-talk attenuation and the cross-talk capacitance is given by the equation:

$$C_c = \frac{10 - \frac{A_{Cc}}{20}}{25 \omega} \quad (2)$$

L'affaiblissement de diaphonie du condensateur peut être mesuré d'une manière semblable à celle qui est décrite dans la Publication 444-1 de la CEI, paragraphe 5.1, en utilisant l'équation suivante:

$$A_{Cc} = 20 \log \frac{V_{Bs}}{(V_{Bo \text{ totale}} - V_{Bo \text{ circuit}})}, \quad (3)$$

où $V_{Bo \text{ totale}}$ est la tension mesurée dans la voie B avec le condensateur de charge inséré et où $V_{Bo \text{ circuit}}$ est la tension mesurée avec le circuit seulement; V_{Bs} est la tension mesurée avec la lame court-circuit insérée à la place du condensateur de charge.

A2. Erreurs de mesure

A2.1 Généralités

La méthode normalisée pour la mesure de la capacité dynamique C_1 et de l'inductance dynamique L_1 est donnée dans la Publication 444-2 de la CEI. Cependant le circuit en π , avec le condensateur de charge décrit ci-dessus, peut aussi être utilisé pour la mesure de la capacité dynamique C_1 et de l'inductance dynamique L_1 .

A2.2 Principales sources d'erreurs de mesure

Les principales sources d'erreurs de mesure sont les suivantes:

- les capacités du boîtier de quartz C_{AH} et C_{BH} ;
- les capacités parasites résiduelles;
- les résistances de contact résiduelles;
- la précision d'étalonnage de la capacité de charge;
- la précision de mesure de la fréquence et de la résistance dans le circuit en π en utilisant la méthode de mesure de phase nulle.

L'imprécision dans la mesure de la capacité de charge, due à l'inexactitude sur la valeur étalonnée et à sa dépendance de la fréquence, est montrée à la figure A4. La raison principale réside dans le fait que l'inductance résiduelle L_r du condensateur de charge conduit à une légère augmentation de la valeur de C_L avec la fréquence. La valeur relative de cette augmentation peut être calculée par la formule d'approximation suivante:

$$\frac{C_L(f) - C_L(f_0)}{C_L(f_0)} \approx 4\pi^2 f^2 L_r C_L, \quad (4)$$

où $f_0 = 1 \text{ kHz}$.

Pour $L_r = 1 \text{ nH}$, $f = 30 \text{ MHz}$ et $C_L = 30 \text{ pF}$ cette augmentation est inférieure à 0,2%.

Lorsqu'on fait les mesures dans une gamme de températures, l'influence de la température peut être importante. Cette influence est déterminée principalement par le coefficient de température du matériau en céramique utilisé comme diélectrique dans le condensateur de charge.

A2.3 Les effets des caractéristiques fréquence/température d'un résonateur à quartz peuvent être réduits au minimum en s'assurant que la température du résonateur à quartz est la même pour toutes les mesures de fréquence exigées pour la détermination des composants du bras série du circuit équivalent.

A2.4 La précision des mesures de fréquence doit être la plus grande possible quand une détermination exacte de C_1 et L_1 est exigée, étant donné que les résultats comportent des différences entre deux fréquences, ou plus, très voisines.

The cross-talk attenuation of the capacitor can be measured in a similar way to that described in IEC Publication 444-1, Sub-clause 5.1 using the following equation:

$$A_{Cc} = 20 \log \frac{V_{Bs}}{(V_{Bo-total} - V_{Bo-network})}, \quad (3)$$

where $V_{Bo-total}$ is the B channel voltage measured with the load capacitor inserted and $V_{Bo-network}$ is that measured with the network only, V_{Bs} is the voltage measured with the shorting blank inserted in place of the load capacitor.

A2. Measurement errors

A2.1 General

The standard method for measurement of the motional capacitance C_1 and motional inductance L_1 is given in IEC Publication 444-2. However, the π -network in conjunction with the load capacitor described above can also be used to measure the motional capacitance C_1 and inductance L_1 .

A2.2 Main sources of measurement errors

The main sources of measuring errors are:

- crystal holder capacitances C_{AH} and C_{BH} ;
- residual stray capacitances;
- residual contact resistances;
- accuracy of load capacitance value calibration;
- accuracy of frequency and resistance measurement in the π -network using the zero-phase method.

The load capacitance inaccuracy due to calibration uncertainty and frequency dependence is shown in Figure A4. The main reason is the residual inductance L_r of the load capacitor which results in a slight increase of C_L with frequency. The fractional value of this increase may be calculated from the approximate formula:

$$\frac{C_L(f) - C_L(f_0)}{C_L(f_0)} \approx 4\pi^2 f^2 L_r C_L, \quad (4)$$

where $f_0 = 1 \text{ kHz}$.

For $L_r = 1 \text{ nH}$, $f = 30 \text{ MHz}$ and $C_L = 30 \text{ pF}$ this increase is less than 0.2%.

When making measurements in a temperature range, the influence of temperature may be important. This influence is determined mainly by the temperature coefficient of the ceramic material used as a dielectric in the load capacitor.

A2.3 The effects of the frequency/temperature characteristics of the crystal unit may be minimised by ensuring that the temperature of the crystal unit is the same for all frequency measurements required for the determination of the series arm equivalent circuit components.

A2.4 The accuracy of the frequency measurements should be as high as possible when an accurate determination of C_1 and L_1 is required since the results involve the difference between two or more very similar frequencies.

A2.5 La méthode de mesure de la fréquence et de la résistance de résonance à la charge est décrite dans la Publication 444-1 de la CEI pour la condition de résonance.

A3. Analyse des erreurs

A3.1 Erreur de mesure sur la fréquence de résonance à la charge f_L

L'erreur relative de mesure sur f_L due à l'inexactitude de la capacité de charge est donnée par la formule:

$$\frac{df_L}{f_r} = S \cdot dC_L, \quad (5)$$

où S est la sensibilité de fréquence relative.

L'erreur relative de mesure de f_L en fonction de la sensibilité de fréquence relative S pour différentes fréquences est décrite à la figure A5.

A3.2 Erreur de mesure sur la résistance de résonance à la charge R_L

L'erreur relative de mesure sur R_L due à l'inexactitude de la capacité de charge est donnée par la formule:

$$\frac{dR_L}{R_L} = \frac{2dC_L}{C_0 + C_L} \quad (6)$$

et est décrite à la figure A6.

A3.3 Erreurs de mesure sur C_1

a) Inexactitude de la capacité de charge.

L'erreur relative de mesure sur C_1 due à l'inexactitude de la capacité de charge est donnée par la formule:

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{d(C_{L2} - C_{L1})}{C_{L2} - C_{L1}} \quad (7)$$

L'erreur relative de mesure sur C_1 en fonction de la fréquence est décrite à la figure A7.

b) L'erreur relative de mesure de C_1 causée par l'inexactitude des fréquences mesurées f_{L1} , f_{L2} et f_s , due, par exemple, à des variations de la température ambiante, du niveau d'excitation, y compris des erreurs de l'inductance de phase nulle.

L'erreur relative de C_1 peut être calculée par la formule:

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{1}{\Delta f_2} (-0,5 df_{L1} + 2df_{L2} - 1,5 df_r), \quad (8)$$

si $C_{L2} = 2C_{L1}$
avec

$$\Delta f_2 = 0,5 f_r \left(\frac{C_0}{C_0 + C_{L2}} \right)$$

et avec une bonne approximation

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{2,5 \cdot df_r}{\Delta f_2} \text{ ou}$$

$$\frac{dC_1}{C_1} = 5 \cdot \frac{df_r}{f_r} \frac{(C_0 + C_{L2})}{C_1} \quad (9)$$

A2.5 The method for the measurement of load resonance frequency and resistance is as described in IEC Publication 444-1 for the resonance condition.

A3. Analysis of errors

A3.1 Measurement error of load resonance frequency f_L

The relative measurement error of f_L due to load capacitance inaccuracy is given by the formula:

$$\frac{df_L}{f_r} = S \cdot dC_L, \quad (5)$$

where S is the pulling sensitivity.

The relative measurement error of f_L as a function of the pulling sensitivity S for various frequencies is shown in Figure A5.

A3.2 Measurement error of load resonance resistance R_L

The relative measurement error of R_L due to load capacitance inaccuracy is given by the formula:

$$\frac{dR_L}{R_L} = \frac{2dC_L}{C_o + C_L} \quad (6)$$

and shown in Figure A6.

A3.3 Measurement errors of C_1

a) Load capacitance inaccuracy.

The relative measurement error of C_1 due to load capacitance inaccuracy is given by the formula:

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{d(C_{L2} - C_{L1})}{C_{L2} - C_{L1}} \quad (7)$$

The relative measurement error of C_1 as a function of frequency is represented by Figure A7.

b) The relative measurement error of C_1 caused by inaccuracy of measured frequencies f_{L1} , f_{L2} and f_s due, for example, to changes in ambient temperature, drive level, including zero phase indication errors.

The fractional error of C_1 can be calculated by the formula:

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{1}{\Delta f_2} (-0.5 df_{L1} + 2df_{L2} - 1.5 df_r), \quad (8)$$

if $C_{L2} = 2C_{L1}$
with

$$\Delta f_2 = 0.5 f_r \left(\frac{C_o}{C_o + C_{L2}} \right)$$

and with a good approximation

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{2.5 \cdot df_r}{\Delta f_2} \text{ or}$$

$$\frac{dC_1}{C_1} = 5 \cdot \frac{df_r}{f_r} \frac{(C_o + C_{L2})}{C_1} \quad (9)$$

L'erreur de mesure relative sur C_1 en fonction de C_1 est décrite à la figure A8 pour différentes erreurs sur la mesure de la fréquence, pour:

$$C_0 = 5 \text{ pF}$$

$$C_{L1} = 15 \text{ pF}$$

$$C_{L2} = 30 \text{ pF}$$

c) Mesure de f_r à la place de f_s .

L'erreur relative de mesure sur C_1 est donnée par la formule:

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{1}{\Delta f_2} (-0,5 df_{L1} + 2df_{L2} - 1,5 df_r) \quad (10)$$

avec

$$df_r \approx f_s \cdot \frac{r}{2Q^2}$$

$$df_L \approx f_L \cdot \frac{r}{2Q^2} \cdot \frac{C_0 + C_L}{C_L}$$

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{C_0(C_0 + C_{L2})}{Q^2 C_1^2} \left\{ -0,5 \frac{C_0 + C_{L1}}{C_{L1}} + 2 \frac{C_0 + C_{L2}}{C_{L2}} - 1,5 \right\}$$

pour

$$C_{L1} = 15 \text{ pF} \quad C_{L2} = 30 \text{ pF} \quad C_0 = 3 \text{ pF}$$

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{1 \cdot 10^{-23}}{Q^2 \cdot C_1^2}$$

La figure A9 décrit l'erreur de mesure relative sur C_1 en fonction de C_1 pour différentes valeurs du facteur de qualité Q d'un résonateur à quartz.

In Figure A8 the relative measurement error of C_1 as a function of C_1 is shown for various errors in frequency measurement, for:

$$C_0 = 5 \text{ pF}$$

$$C_{L1} = 15 \text{ pF}$$

$$C_{L2} = 30 \text{ pF}$$

c) Measurement of f_r instead of f_s .

The relative measurement error of C_1 is given by the formula:

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{1}{\Delta f_2} (-0.5 df_{L1} + 2df_{L2} - 1.5 df_r) \quad (10)$$

with

$$df_r \approx f_s \cdot \frac{r}{2Q^2}$$

$$df_L \approx f_L \cdot \frac{r}{2Q^2} \cdot \frac{C_0 + C_L}{C_L}$$

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{C_0(C_0 + C_{L2})}{Q^2 C_1^2} \left\{ -0.5 \frac{C_0 + C_{L1}}{C_{L1}} + 2 \frac{C_0 + C_{L2}}{C_{L2}} - 1.5 \right\}$$

for

$$C_{L1} = 15 \text{ pF} \quad C_{L2} = 30 \text{ pF} \quad C_0 = 3 \text{ pF}$$

$$\frac{dC_1}{C_1} = \frac{1 \cdot 10^{-23}}{Q^2 \cdot C_1^2}$$

Figure A9 shows the relative measurement error of C_1 as a function of C_1 for various values of the quality factor Q of the quartz crystal unit.

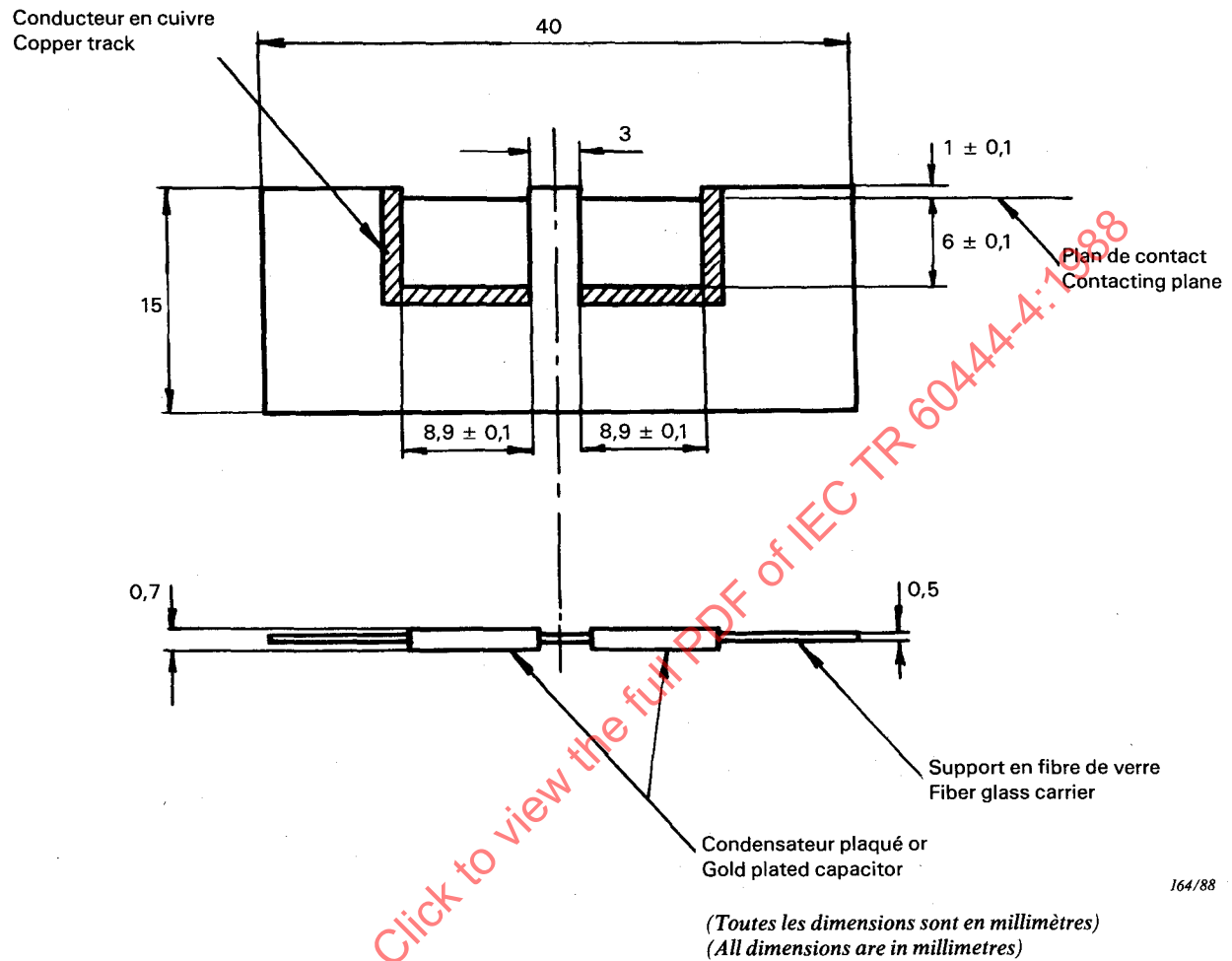


FIG. A1. — Condensateur de charge typique avec support.
Typical load capacitor with carrier.