

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
444-6**

Première édition
First edition
1995-01

**Mesure des paramètres des résonateurs
à quartz –**

Partie 6:

Mesure de la dépendance du niveau
d'excitation (DNE)

Measurement of quartz crystal unit parameters –

Part 6:

Measurement of drive level dependence (DLD)



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 444-6: 1995

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.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
444-6**

Première édition
First edition
1995-01

**Mesure des paramètres des résonateurs
à quartz –**

**Partie 6:
Mesure de la dépendance du niveau
d'excitation (DNE)**

Measurement of quartz crystal unit parameters –

**Part 6:
Measurement of drive level dependence (DLD)**

© 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 Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

Q

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application	10
1.2 Références normatives	10
2 Effets de DNE	10
2.1 Changements réversibles de la fréquence et de la résistance	10
2.2 Changements irréversibles de la fréquence et de la résistance	10
2.3 Raisons des effets DNE	12
3 Niveaux d'excitation pour la mesure de DNE	12
4 Méthodes d'essais	14
4.1 Méthode d'essai A (méthode du réseau en π)	14
4.2 Méthode d'essai B (méthode d'oscillateur)	18
 Annexe A – Relation entre le niveau d'excitation électrique et le déplacement mécanique des résonateurs à quartz	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
 Clause	
1 General	11
1.1 Scope	11
1.2 Normative references	11
2 DLD effects	11
2.1 Reversible changes in frequency and resistance	11
2.2 Irreversible changes in frequency and resistance	11
2.3 Causes of DLD effects	13
3 Drive levels for DLD measurement	13
4 Test methods	15
4.1 Test method A (π -network method)	15
4.2 Test method B (oscillator method)	19
 Annex A – Relationship between electrical drive level and mechanical displacement of quartz crystal units	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ -

Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)

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 444-6 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.

Elle constitue la partie 6 de la série des publications de la CEI sur les méthodes de mesure des paramètres des résonateurs à quartz.

La partie 1: *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 CEI 444-1 (deuxième édition, 1986).

La partie 2: *Méthode de décalage de phase pour la mesure de la capacité dynamique des quartz*, est parue comme CEI 444-2 (1980).

La partie 3: *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 (1986).

La 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*, est parue comme CEI 444-4 (1988).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide 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 444-6 has been prepared by IEC technical committee 49: Piezoelectric and dielectric devices for frequency control and selection.

It forms part 6 of a series of publications dealing with the measurement of 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 (second edition, 1986).

Part 2: *Phase offset method for measurement of motional capacitance of quartz crystal units*, is issued as IEC 444-2 (1980).

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 the parallel capacitance C_0* , is issued as IEC 444-3 (1986).

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 (1988).

La partie 5: *Méthode de mesure des dispositifs piézoélectriques pour la détermination des paramètres électriques équivalents, utilisant des analyseurs automatiques de réseaux et correction des erreurs*, sera publiée comme CEI 444-5.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
49(BC)273	49/284/RVD

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-6:1995

Part 5: *Reference method of the measurement of crystal units, using automatic network analyzer techniques for the determination of equivalent electrical parameters*, will be issued as IEC 444-5.

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

DIS	Report on voting
49(CO)273	49/284/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.

Annex A forms an integral part of this standard.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-6:1995

INTRODUCTION

Le niveau d'excitation (exprimé comme la puissance/la tension ou le courant passant par le résonateur à quartz) force le résonateur à produire des oscillations mécaniques au moyen de l'effet piézoélectrique. Dans ce processus, le travail d'accélération est converti en énergie cinétique et élastique, et les pertes de puissance en chaleur. La dernière conversion est due au frottement interne et externe du résonateur à quartz.

Les pertes de frottement dépendent de la vitesse des masses vibrantes et elles augmentent lorsque l'oscillation n'est plus linéaire ou lorsque les vitesses critiques, les élongations ou déformations, excursions ou accélérations sont atteintes dans le résonateur à quartz ou sur ses surfaces et points de montage (voir l'annexe A). Cela provoque des changements de la résistance et de la fréquence, ainsi que des changements additionnels, du fait que ces paramètres dépendent de la température.

A des niveaux d'excitation «élevés» (par exemple supérieurs à 1 mW ou 1 mA pour les résonateurs à quartz de coupe AT) des changements sont observés sur tous les résonateurs à quartz et ils peuvent provoquer des changements irréversibles de l'amplitude et de la fréquence. Toute augmentation additionnelle du niveau d'excitation peut détruire le résonateur.

A part cet effet, des changements de la fréquence et de la résistance sont observés dans quelques résonateurs à quartz (par exemple inférieurs à 1 μ W ou 50 μ A pour les résonateurs à quartz de coupe AT) à des niveaux d'excitation «bas». Dans ce cas, lorsque le gain de boucle n'est pas suffisant, le démarrage des oscillations est difficile. Dans les filtres à quartz, l'affaiblissement de transmission et l'ondulation changeront.

De plus, le couplage entre le mode de vibration spécifié et les autres modes (par exemple du résonateur lui-même, du montage, et du gaz de remplissage) dépend aussi du niveau d'excitation. En raison des caractéristiques de température de ces modes différents, ces couplages contribueront à des changements de la fréquence et de la résistance du mode spécifié dans les gammes étroites de températures. Ces changements augmentent avec l'élévation du niveau d'excitation. Cependant, cet effet ne sera pas considéré dans cette partie de la CEI 444.

INTRODUCTION

The drive level (expressed as power/voltage across or current through the crystal unit) forces the resonator to produce mechanical oscillations by way of piezoelectric effect. In this process, the acceleration work is converted to kinetic and elastic energy and the power loss to heat. The latter conversion is due to the inner and outer friction of the quartz resonator.

The frictional losses depend on the velocity of the vibrating masses and increase when the oscillation is no longer linear or when critical velocities, elongations or strains, excursions or accelerations are attained in the quartz resonator or at its surfaces and mounting points (see annex A). This causes changes in resistance and frequency, as well as further changes due to the temperature dependence of these parameters.

At "high" drive levels (e.g. above 1 mW or 1 mA for AT-cut crystal units) changes are observed by all crystal units and these also can result in irreversible amplitude and frequency changes. Any further increase of the drive level may destroy the resonator.

Apart from this effect, changes in frequency and resistance are observed at "low" drive levels in some crystal units, e.g. below 1 μ W or 50 μ A for AT-cut crystal units). In this case, if the loop gain is not sufficient, the start-up of the oscillation is difficult. In crystal filters the transducer attenuation and ripple will change.

Furthermore, the coupling between a specified mode of vibration and other modes (e.g. of the resonator itself, the mounting and the back-fill gas) also depends on the level of drive. Due to the differing temperature response of these modes, these couplings give rise to changes of frequency and resistance of the specified mode within narrow temperature ranges. These changes increase with increasing drive level. However, this effect will not be considered further in this part of IEC 444.

MESURE DES PARAMÈTRES DES RÉSONATEURS À QUARTZ –

Partie 6: Mesure de la dépendance du niveau d'excitation (DNE)

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application*

La présente partie de la CEI 444 s'applique aux mesures de la dépendance du niveau d'excitation (DNE) des résonateurs à quartz. Deux méthodes d'essai sont traitées. La méthode A, basée sur la méthode du réseau en π conformément à la CEI 444-1, peut être utilisée dans la gamme des fréquences complète couverte par la présente partie de la CEI 444. La méthode B, méthode d'oscillateur, est adaptée pour la mesure des résonateurs à quartz sur le mode fondamental en grandes séries avec des conditions de mesure fixées.

1.2 *Références normatives*

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 444. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 444 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 444, *Mesure des paramètres des résonateurs à quartz*

CEI 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 .*

2 Effets de DNE

2.1 *Changements réversibles de la fréquence et de la résistance*

Les changements réversibles sont des changements de la fréquence et de la résistance qui ont lieu avec les mêmes niveaux d'excitation après des mesures répétitives effectuées alternativement aux niveaux faible et élevé, ou après des mesures continues ou quasi continues à partir du niveau le plus faible à celui le plus élevé et en retour, si ces mesures restent dans les limites de la précision de mesure.

2.2 *Changements irréversibles de la fréquence et de la résistance*

Les changements irréversibles sont des changements significatifs de la fréquence et/ou de la résistance qui ont lieu au bas niveau après une mesure intermédiaire au niveau élevé, par exemple lorsque la résistance préalablement élevée au bas niveau est changée en basse résistance lorsque l'on refait la mesure.

NOTE – Lorsque le résonateur à quartz n'est pas mis en oeuvre pendant quelques jours, sa résistance peut revenir à une valeur élevée lorsqu'on travaille de nouveau au bas niveau. Il convient de veiller à l'effet irréversible parce qu'il peut détériorer de façon significative la performance des dispositifs qui sont mis en oeuvre sporadiquement seulement.

MEASUREMENT OF QUARTZ CRYSTAL UNIT PARAMETERS –

Part 6: Measurement of drive level dependence (DLD)

1 General

1.1 Scope

This part of IEC 444 applies to the measurements of drive level dependence (DLD) of quartz crystal units. Two test methods are described. Method A, based on the π -network method according to IEC 444-1, can be used in the complete frequency range covered by this part of IEC 444. Method B, an oscillator method, is suitable for measurements of fundamental mode crystal units in larger quantities with fixed conditions.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 444. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 444 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 444: *Measurement of quartz crystal unit parameters*

IEC 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*

2 DLD effects

2.1 Reversible changes in frequency and resistance

Reversible changes are changes in frequency and resistance occurring under the same drive levels after repeated measurements made alternatively at low and high levels, or after continuous or quasi-continuous measurements from the lowest to the highest level and back, if these changes remain within the limits of the measurement accuracy.

2.2 Irreversible changes in frequency and resistance

Irreversible changes are significant changes in frequency and/or resistance occurring at low level after an intermediate measurement at high level, e.g. when a previously high resistance at low level has changed in the repeated measurement to a low resistance.

NOTE – When the crystal unit has not been operated for several days, its resistance may have changed back to a high value when operated again at a lower level. Greater attention should be paid to the irreversible effect since it can significantly impair the performance of devices which are operated only sporadically.

2.3 Raisons des effets DNE

Tandis que les effets réversibles sont dans la plupart des cas dus au niveau d'excitation excessif du résonateur, des effets irréversibles sont dus à la production, surtout aux techniques imparfaites de production. Les exemples de causes sont:

- particules sur la surface de la lame vibrante (déposées par huiles, agents de nettoyage, solvants ou électrostatiquement);
- endommagement mécanique de la lame vibrante (par exemple fissures en raison d'abrasif excessivement grossier de polissage, dont les dimensions peuvent augmenter);
- inclusions de gaz et d'huile dans les électrodes (par exemple en raison d'un mauvais vide ou d'un taux de revêtement inapproprié pendant l'évaporation);
- mauvais contact des électrodes au montage (par exemple la pâte conductrice a un composant métallique inadéquat, ou elle est insuffisamment cuite ou surchauffée; aussi une résistance de contact excessive entre la pâte conductrice et les électrodes ou le montage);
- tensions mécaniques entre le système de montage, les électrodes et la lame de quartz.

3 Niveaux d'excitation pour la mesure de DNE

Pour la mesure de DNE, les niveaux bas et élevé (et éventuellement les niveaux intermédiaires) sont appliqués. Le niveau élevé est le niveau d'excitation nominal; il convient qu'il soit égal au niveau d'application sous les conditions de son régime permanent.

Il convient de noter que ce niveau doit être inférieur au niveau maximal applicable qui est donné dans l'annexe A. Sauf spécification contraire, la valeur normalisée du courant appliqué au résonateur doit être de 1 mA, ce qui correspond à la vitesse $v_{\max} = 0,2$ m/s pour les résonateurs à quartz de coupe AT. Le niveau d'excitation en watts est alors calculé avec la valeur moyenne de la résistance minimale et maximale spécifiées.

Le niveau d'excitation minimal qui a lieu pendant le démarrage d'un oscillateur peut être déterminé dans quelques cas seulement en utilisant les méthodes de mesure actives et passives, en raison des limites de bruit des instruments de mesure (pour des mesures conformément à la CEI 444-1 à 1 nW ou 10 μ A approximativement).

La vitesse $v_{\max} = 0,01$ m/s, ce qui correspond à 50 μ A pour les résonateurs de coupe AT, est la valeur pratique reconnue pour des mesures dans le circuit en π (voir la méthode A).

Dans le texte ci-après, deux méthodes de mesure de DNE sont décrites.

La méthode A est basée sur la méthode du réseau en π conformément à la CEI 444-1, qui peut être utilisée dans la gamme des fréquences complète couverte par cette norme. Elle permet de choisir rapidement les résonateurs à quartz sensibles au niveau d'excitation par une séquence de trois mesures. La variation admissible de la résistance de résonance, selon la figure 1, est basée sur les résultats de longue durée des résonateurs à quartz de fabricants différents, et cette méthode était considérée comme une indication fiable pour les résonateurs à quartz ayant des problèmes de démarrage. Lorsqu'il est nécessaire, cette méthode peut être étendue en mesurant un grand nombre de niveaux d'excitation différents, ce qui n'est pas nécessaire, en pratique, dans la plupart des cas (voir 4.1 b).

2.3 Causes of DLD effects

Whereas the mostly reversible effects are due to excessive crystal drive level, the irreversible effects are due to production, especially to imperfect production techniques. Examples of causes are:

- particles on the resonator surface (partly bound by oils, cleaning agents, solvents or bound electrostatically);
- mechanical damage of the resonator (e.g. fissures due to excessively coarse lapping abrasive which may increase in size);
- gas and oil inclusions in the electrodes (e.g. due to a poor vacuum or an inadequate coating rate during evaporation);
- poor contacting of the electrodes at the mounting (e.g. the conductive adhesive has an inadequate metal component, was insufficiently baked out or was overheated; also excessive contact resistance between the conductive adhesive and the electrodes or mounting);
- mechanical stresses between mounting, electrodes and quartz element.

3 Drive levels for DLD measurement

For the DLD measurement, a low and a high level of drive (and possibly further levels) are applied. The high level is the nominal drive level which should be equal to the level in the application at its steady state.

It should be noted that this level shall be below the maximum applicable level which is derived in annex A. If not specified, a standard value for the crystal current of 1 mA, corresponding to the velocity $v_{\max} = 0,2$ m/s for AT-cut crystal units, shall be used. The drive level in watts is then calculated with the mean value of the specified maximum and minimum resistances.

The minimum drive level occurring at the start-up of an oscillator can be determined only in a few cases by active or passive measuring methods due to the noise limits of the measuring instruments (for measurements according to IEC 444-1, at approximately 1 nW or 10 μ A).

A velocity $v_{\max} = 0,01$ m/s, corresponding to 50 μ A for AT-cut crystals, has proved to be a practical value for π -network measurements (see method A).

In the following, two methods of DLD measurement are described.

Method A is based on the π -network method according to IEC 444-1, which can be used in the complete frequency range covered by this standard. It allows the fast selection of drive level sensitive quartz crystal units by a sequence of three measurements. The allowed variation of the resonance resistances given in figure 1 is based on long-term examinations of crystal units of different manufacturers and proved to be a reliable indicator for crystal units showing start-up problems. If necessary, this method could also be extended by measuring a large number of different drive levels. However, in practice, this is not necessary in most cases (see 4.1 b).

La méthode B est la méthode d'oscillateur qui est particulièrement adaptée pour la mesure des résonateurs à quartz sur le mode fondamental en grandes séries avec des conditions de mesure fixées (niveau d'excitation maximal, $R_{r\max}$) de manière économique.

Lorsque les méthodes de mesure proposées ne sont pas suffisantes pour les cas d'application spéciaux, il convient que l'utilisateur ait un oscillateur de contrôle avec un circuit à réaction légèrement réduite, ou un filtre de contrôle.

Recommandation: Les deux méthodes peuvent être utilisées pour tous les types de résonateurs, toutefois:

- la méthode A est recommandée pour les résonateurs pour filtres et pour les mesures comparatives;
- la méthode B est recommandée pour les résonateurs pour oscillateurs et pour les mesures tout-ou-rien.

4 Méthodes d'essais

4.1 Méthode d'essai A (méthode du réseau en π)

a) Essai à deux niveaux d'excitation

L'essai est effectué au niveau bas et au niveau élevé, comme décrit dans l'article 3, les mesures de la fréquence et de la résistance étant conformes à la CEI 444-1. Les tolérances sont de $\pm 10\%$ pour les niveaux du courant et de $\pm 20\%$ pour ceux de la puissance.

1) Stockage pendant un jour au moins, à une température de 105°C , et ensuite pendant 2 h au moins, à la température ambiante ou pendant une semaine à la température ambiante.

2) Mesure au niveau d'excitation bas (50 μA): $f_r = f_{r1}$, $R_r = R_{r1}$.

3) Mesure au niveau d'excitation élevé (1 mA): $f_r = f_{r2}$, $R_r = R_{r2}$.

4) Mesure au niveau d'excitation bas (50 μA): $f_r = f_{r3}$, $R_r = R_{r3}$.

5) Calcul de $\gamma_{12} = R_{r1}/R_{r2}$. La valeur de γ_{12} doit être inférieure à la valeur maximale de γ donnée par le gabarit de la figure 1 (abscisse = R_{r2}).

La variation de la fréquence autorisée $|f_{r2} - f_{r1}|$ doit être de $5 \times 10^{-6} \times f_{r1}$, sauf spécification contraire dans une spécification particulière.

6) Calcul de $\gamma_{13} = R_{r1}/R_{r3}$. La valeur de γ_{13} doit être inférieure à $(\gamma + 1)/2$, où la valeur de γ est donnée à la figure 1 (abscisse = R_{r3}).

La variation de la fréquence autorisée $|f_{r3} - f_{r1}|$ doit être de $2,5 \times 10^{-6} \times f_{r1}$, sauf spécification contraire dans une spécification particulière.

b) Essai conformément à la spécification

L'essai est effectué à partir du niveau bas, puis à un niveau élevé et en retournant jusqu'au niveau bas comme décrit en a). Ces niveaux et, si nécessaire, les niveaux additionnels avec leurs tolérances, les déviations admissibles de la fréquence et de la résistance ainsi que les conditions de stockage, doivent être spécifiés dans la spécification particulière.

NOTE - La courbe de γ donnée a été vérifiée en utilisant les résultats obtenus pendant de nombreuses années d'expérience avec les résonateurs à quartz utilisés sur beaucoup de types d'oscillateurs. Ainsi, dans la plupart des cas, il n'y aura pas de problèmes au démarrage, mais pour des configurations d'oscillateurs critiques, des problèmes peuvent se produire.

Puisqu'il n'est pas possible de fabriquer des résonateurs qui ont une résistance constante à n'importe quel niveau d'excitation, la courbe de γ proposée donne des valeurs tolérables.

Method B is an oscillator method which is especially suitable for measuring fundamental mode crystal units in larger quantities with fixed measurement conditions (maximum drive level, $R_{r\max}$) in an economical way.

If the proposed measurement techniques are not sufficient in special cases, the user should make available an original oscillator with slightly reduced feedback or an original filter.

Recommendation: Both methods can be used for all types of crystals, however:

- method A is recommended for filter crystals and comparative measurements;
- method B is recommended for oscillator crystals and for go/no-go measurements.

4 Test methods

4.1 Test method A (π -network method)

a) Testing at two drive levels

Testing is performed at low and high drive levels as described in clause 3 with measurements of frequency and a resonance resistance according to IEC 444-1. The tolerances are $\pm 10\%$ for the levels of current and $\pm 20\%$ for those of power.

1) Storage for at least one day at 105°C and after that at least 2 h at room temperature or storage for one week at room temperature.

2) Measurement at low drive level (50 μA): $f_r = f_{r1}$, $R_r = R_{r1}$.

3) Measurement at high drive level (1 mA): $f_r = f_{r2}$, $R_r = R_{r2}$.

4) Measurement at low drive level (50 μA): $f_r = f_{r3}$, $R_r = R_{r3}$.

5) Calculation of $\gamma_{12} = R_{r1}/R_{r2}$. The value of γ_{12} shall be smaller than the maximum value of γ given by the line drawn in figure 1 (abscissa = R_{r2}).

The tolerable frequency change $|f_{r2} - f_{r1}|$ shall be $5 \times 10^{-6} \times f_{r1}$, unless otherwise specified in the detail specification.

6) Calculation of $\gamma_{13} = R_{r1}/R_{r3}$. The value of γ_{13} shall be smaller than $(\gamma + 1)/2$, where the value of γ is taken from figure 1 (abscissa = R_{r3}).

The tolerable frequency change $|f_{r3} - f_{r1}|$ shall be $2,5 \times 10^{-6} \times f_{r1}$, unless otherwise specified in the detail specification.

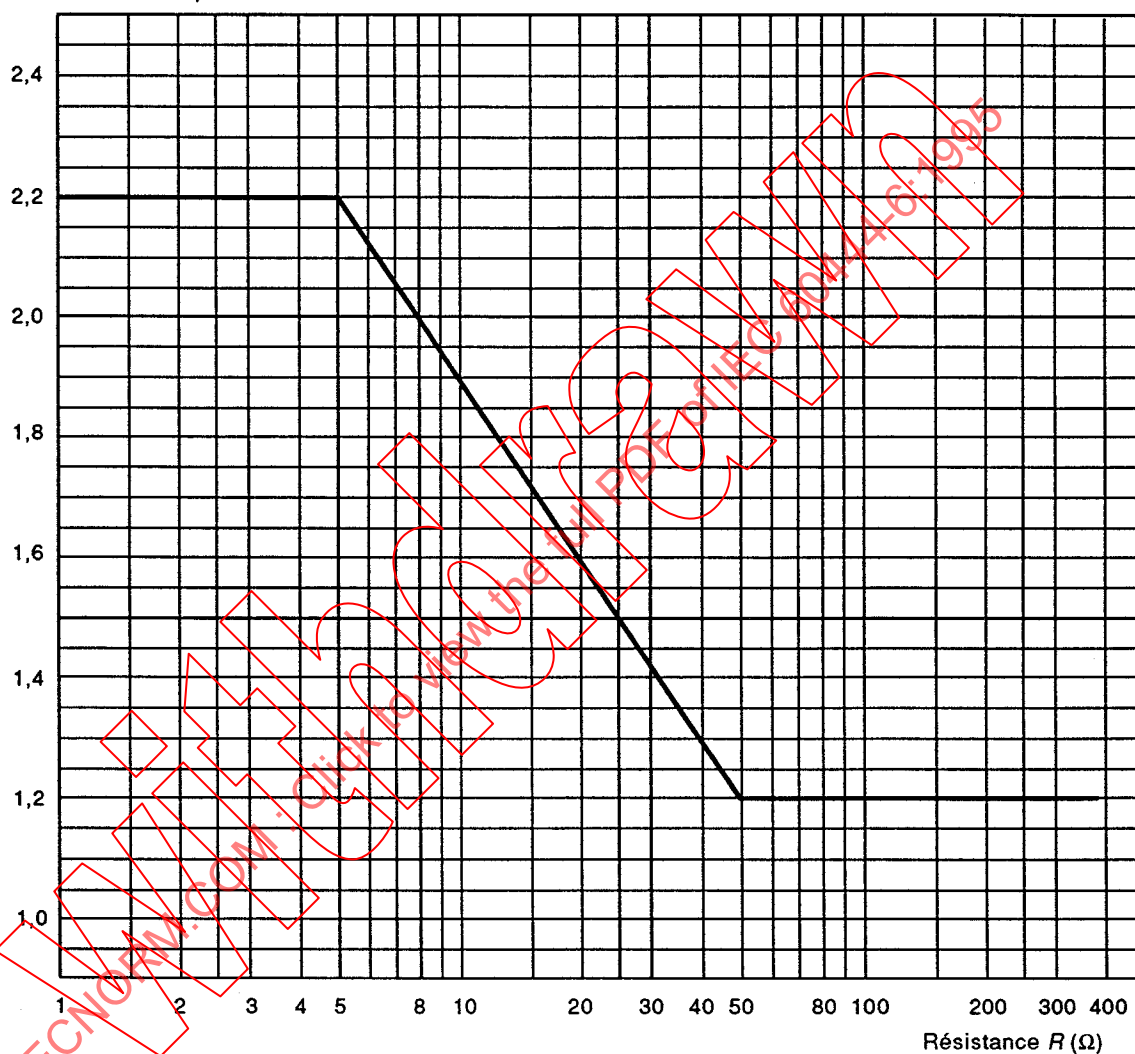
b) Testing according to specification

Testing is performed at low to high drive levels and back again to low level as described in a). These and, if necessary, further levels with their tolerances, the permissible deviations of the frequency and resistance as well as storage conditions shall be specified in the detail specification.

NOTE - The given γ -curve was verified by results obtained over many years of experience with crystal units for many oscillator types. In most cases, there will be no trouble in start-up, but in critical oscillator configurations, problems may occur.

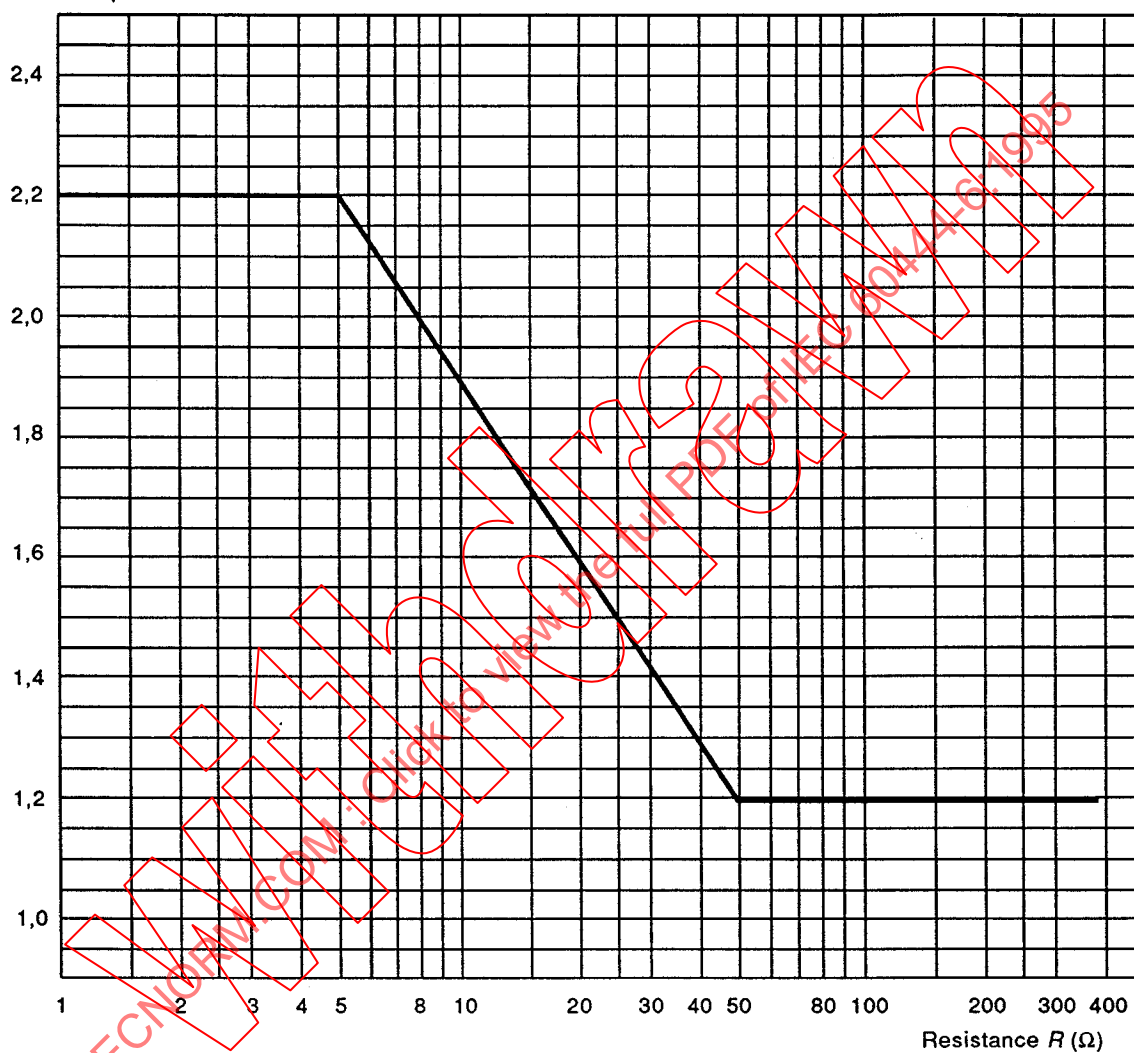
As it is not possible to manufacture crystal units, which have a constant resistance at any drive level, the proposed γ -curve gives tolerable relations.

Rapport des résistances γ



CEI 768/94

Figure 1 – Rapport des résistances maximales autorisées γ pour la dépendance du niveau d'excitation en fonction des résistances R_{r2} ou R_{r3}

Resistance ratio γ 

IEC 76894

Figure 1 – Maximum tolerable resistance ratio γ for the drive level dependence as a function of the resistances R_{r2} or R_{r3}

4.2 Méthode d'essai B (méthode d'oscillateur)

Pour détecter l'effet de DNE dans toute la gamme des niveaux d'excitation, la méthode décrite en 4.1 est très coûteuse et elle n'est pas applicable comme un essai à 100 % en tout-ou-rien. La méthode proposée ci-dessous contrôle les résonateurs à quartz à la valeur maximale de R_r pendant le démarrage, d'une manière économique. Cette méthode peut être appliquée en contrôle final à 100 % ainsi qu'en contrôle d'entrée à 100 %. Elle peut être aussi utilisée pour vérifier si le résonateur à quartz est conforme aux exigences de $R_{r \max}$ données dans la spécification particulière.

Le résonateur dans l'oscillateur peut être représenté comme indiqué à la figure 2.

Il n'y aura pas d'oscillation lorsque la valeur de $-R_{osc}$ du circuit est inférieure à R_r du résonateur à quartz.

Pendant le démarrage, R_r du résonateur à quartz peut avoir un comportement similaire à celui montré à la figure 3.

Pendant les mesures répétées du résonateur à quartz, la caractéristique peut se décaler légèrement vers la droite ou vers la gauche, ou elle peut rester constante.

Le rapport $\gamma = R_{r2}/R_{r1}$ peut être aussi différent d'une mesure à l'autre. Ce rapport ne signifie pas nécessairement que cet oscillateur peut s'arrêter si une certaine valeur de γ est atteinte. L'aspect le plus important est une marge de sûreté entre R_r maximal du résonateur à quartz et la valeur de $-R_{osc}$ du circuit oscillateur.

Il est recommandé que, dans le circuit, la valeur de $|-R_{osc}|$ soit $\geq 3 |R_{r \max}|$, parce que, dans la gamme de températures, $R_{r \max}$ ainsi que $-R_{osc}$ peuvent se décaler.

Pendant le démarrage, le niveau d'excitation passera des valeurs basses (partie gauche des graphiques à la figure 4) au niveau d'excitation nominal.

Principe de mesure (voir figure 5)

Le banc d'essai consiste en un oscillateur soigneusement conçu qui peut être considéré comme une résistance négative vraie dans une large gamme de fréquences, un réseau de réaction limitant la dissipation de puissance sur le résonateur à quartz à 1 mW et un circuit détecteur avec une indication visuelle par diode EL.

4.2 Test method B (oscillator method)

To detect the DLD effect over the whole drive level range, the method described in 4.1 is very costly and is not applicable as a 100 % go/no-go test. The method proposed below tests the crystal units on its maximum R_r during start-up in an economical manner. This method can be applied as a 100 % final inspection as well as in a 100 % incoming inspection. It can also be used as an instrument to judge if the crystal unit meets the requirements on $R_{r\max}$ given in the detail specification.

The crystal unit in the oscillator can be represented as indicated in figure 2.

There will be no oscillation when the magnitude of the $-R_{\text{osc}}$ of the circuit is lower than R_r of the crystal unit.

During start-up, the R_r of the crystal unit may behave as shown in figure 3.

When measuring the crystal unit several times, the characteristic can shift slightly to the right or to the left or it can flatten.

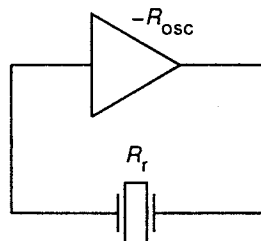
The ratio $\gamma = R_{r2}/R_{r1}$ may also differ from measurement to measurement. This ratio does not necessarily mean that the oscillator may stop working if a certain value of γ is reached. The most important aspect is the safety margin between the maximum occurring R_r of the crystal unit and the value of $-R_{\text{osc}}$ of the oscillator circuit.

It is recommended that the circuit should have a $|-R_{\text{osc}}|$ of $\geq 3 |R_{r\max}|$ because in the temperature range, the $R_{r\max}$ as well as $-R_{\text{osc}}$ can shift.

During the start-up, the drive level will move from the low values (left side of the graphics in figure 4) to the nominal drive level.

Principle of measurement (see figure 5)

The test set-up consists of a carefully designed crystal oscillator which can be considered as a true negative resistance over a wide frequency range, a feedback network which limits the power dissipation in the crystal unit to 1 mW and a detector circuit with an LED for visual indication.

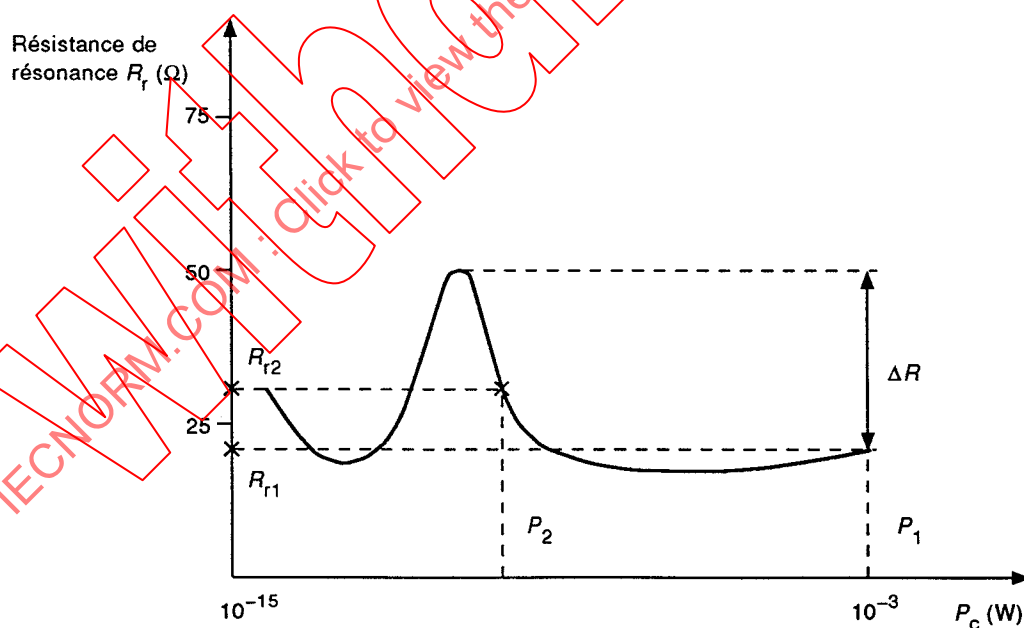


CEI 769/94

Conditions d'oscillation:

- gain de boucle > 1 , ce qui signifie que $|-R_{osc}| > R_r$
- le signal du circuit de réaction à l'entrée de l'oscillateur doit avoir une phase correcte

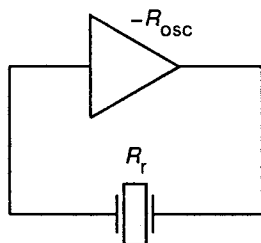
Figure 2 – Insertion d'un résonateur à quartz dans l'oscillateur



CEI 770/94

Figure 3 – Résistance des pertes d'un résonateur à quartz en fonction de la puissance dissipée

NOTE - Le rapport R_{r2}/R_{r1} est une valeur non reproductible parce que la courbe d'un résonateur à quartz varie légèrement lors de différents cycles de mesures.

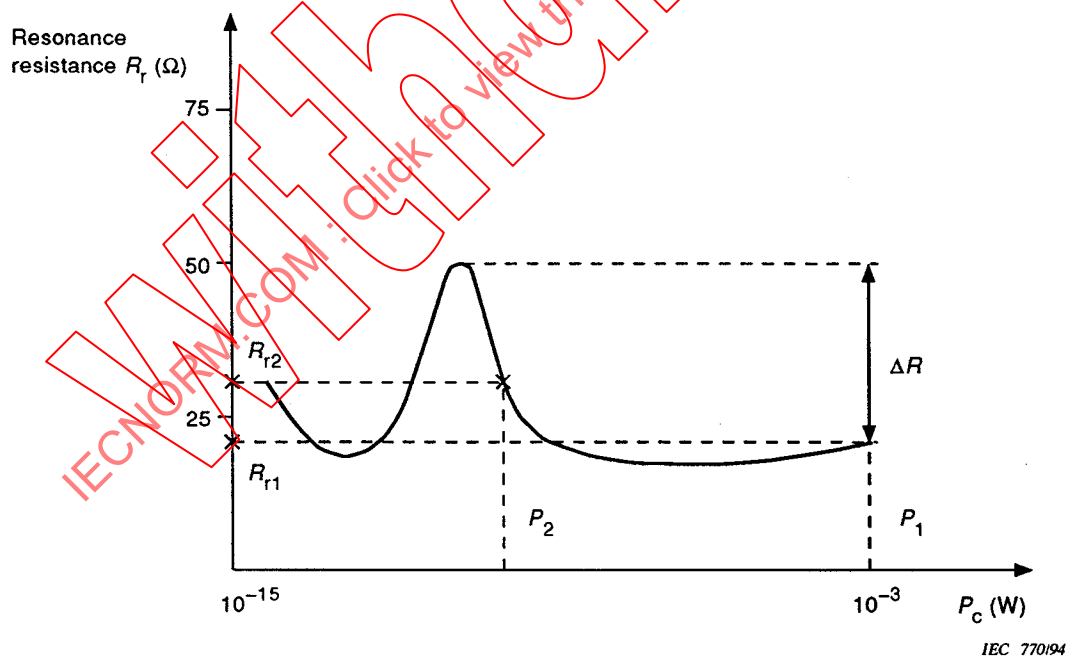


IEC 769/94

Oscillation conditions:

- loop gain > 1 , which means $|-R_{osc}| > R_r$
- feedback signal at oscillator input shall have correct phase

Figure 2 – Insertion of a quartz crystal unit in an oscillator



IEC 770/94

Figure 3 – Crystal unit loss resistance as a function of dissipated power

NOTE – The ratio R_{r2}/R_{r1} is not a reproducible value since the crystal unit curve shifts slightly at different measurement cycles.

La résistance négative (et ainsi le niveau de réjection de DNE) de l'oscillateur à quartz peut être changée en connectant une résistance positive en série avec l'oscillateur. De cette manière, on peut choisir chaque valeur entre 0Ω et 200Ω . En connectant le résonateur à quartz avec une valeur de R_r suffisamment basse entre les bornes d'essai, l'oscillateur sera conçu à partir du niveau de bruit initial (de 10^{-16} W à 10^{-15} W approximativement) jusqu'à sa valeur limite de 1 mW , comme il est montré à la figure 6.

Pendant le démarrage, $R_{r \text{ max}}$ d'un résonateur à quartz est continuellement comparée à $-R_{\text{osc}}$ étalonnée et le résultat est détecté et comparé à la décision «tout-ou-rien».

Si le résonateur essayé montre un certain degré de DNE, il est possible que l'amplitude des oscillations n'atteigne pas la limite de 1 mW (point B de la figure 7). Dans l'exemple montré à la figure 7, l'établissement des oscillations est terminé à un niveau d'excitation beaucoup plus faible (point A). Habituellement, on n'observe pas d'oscillations dans ces cas, et seulement certaines oscillations peuvent être observées à l'aide d'un équipement très sensible.

Si le résonateur atteint le niveau de 1 mW (point B), l'indicateur DEL s'allumera. Cela signifie que la résistance de résonance d'un résonateur à quartz ne dépasse pas le niveau de suppression de DNE pendant le démarrage.

Les avantages de cette méthode de mesure sont qu'elle est rapide, facile à étalonner, peu coûteuse et l'équipement de mesure est simple. Un diagramme du circuit détaillé est donné à la figure 8. L'équipement sera disponible dans le commerce.

The negative resistance (and with it the DLD reject level) of the oscillator can be changed by connecting a positive resistor in series with the oscillator. In this manner, each value between $0\ \Omega$ and $200\ \Omega$ may be selected. Connecting a quartz crystal unit with a sufficiently low R_r value between the test clamps, the oscillation will build up starting from the initial noise level (approximately 10^{-16} W to 10^{-15} W) to its limiting point of 1 mW as shown in figure 6.

During the start-up, the $R_{r\text{ max}}$ of the crystal unit is continuously compared with a calibrated $-R_{\text{osc}}$ and the result is detected and transferred into a go/no-go decision.

If the crystal unit under test shows a certain degree of DLD, it is possible that the oscillation amplitude will not reach the 1 mW limiting point (point B in figure 7). In the example given in figure 7, the build-up of the oscillation is terminated at a much lower level of drive (point A). Normally in such cases, no oscillation is observed and only with very sensitive equipment can some oscillation be detected.

If a crystal unit reaches the 1 mW level (point B), the LED indicator will light up. This means that the quartz crystal unit's resonance resistance did not exceed the DLD reject level during the start-up.

The advantages of this measurement method are that it is fast, easy to calibrate, inexpensive and it has a simple set-up. A detailed electrical diagram is shown in figure 8. The equipment is commercially available.

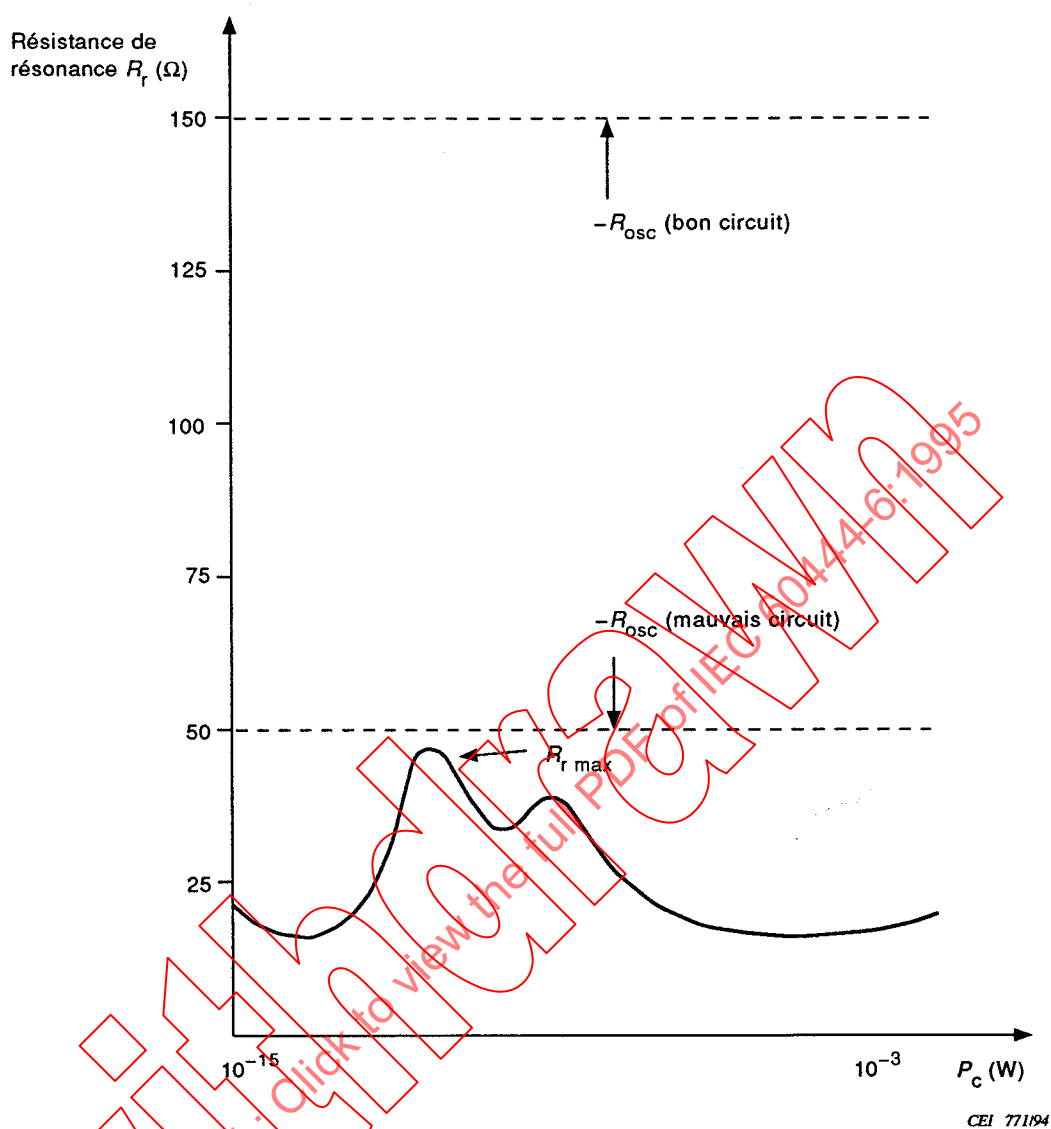


Figure 4 – Comportement de la R_r d'un résonateur à quartz

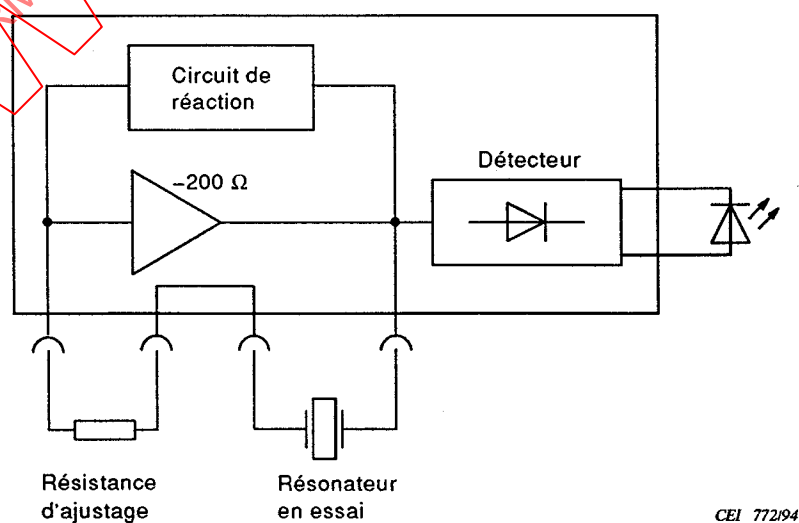
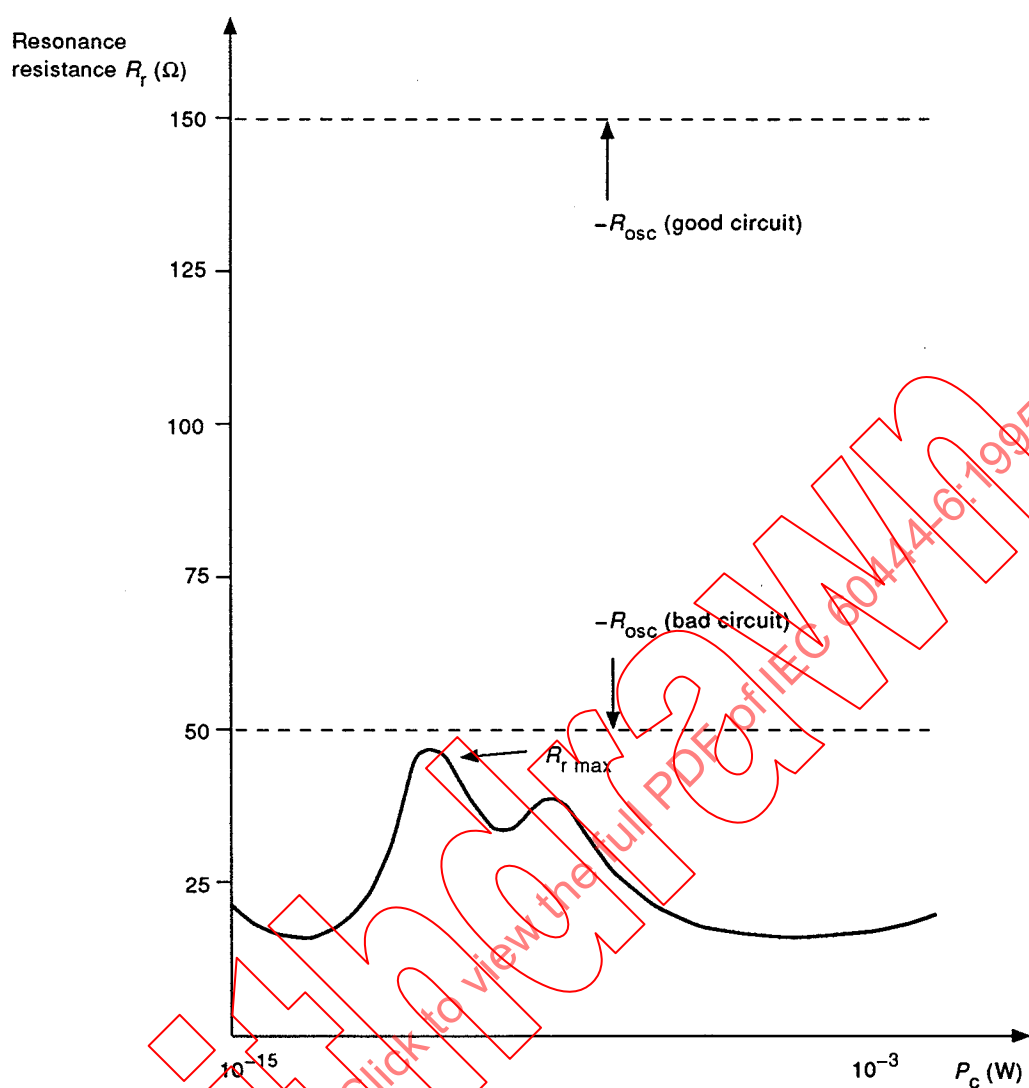
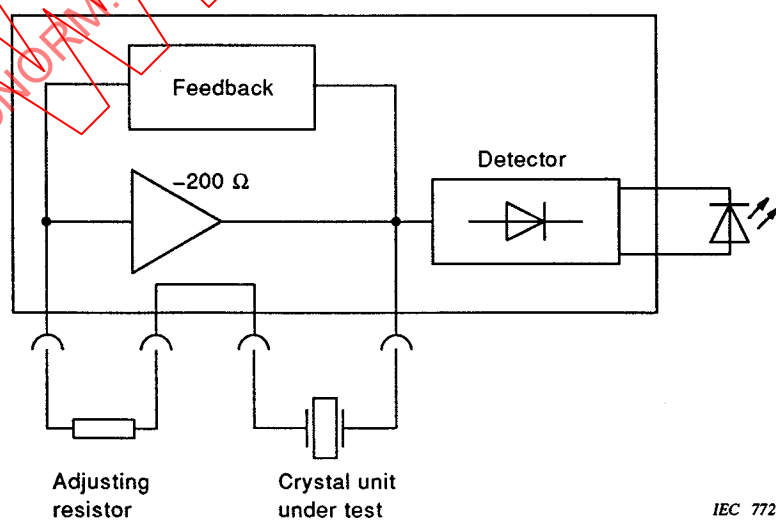


Figure 5 – Schéma-bloc de la méthode B



IEC 771/94

Figure 4 – Behaviour of the R_r of a quartz crystal unit

IEC 772/94

Figure 5 – Block diagram of method B

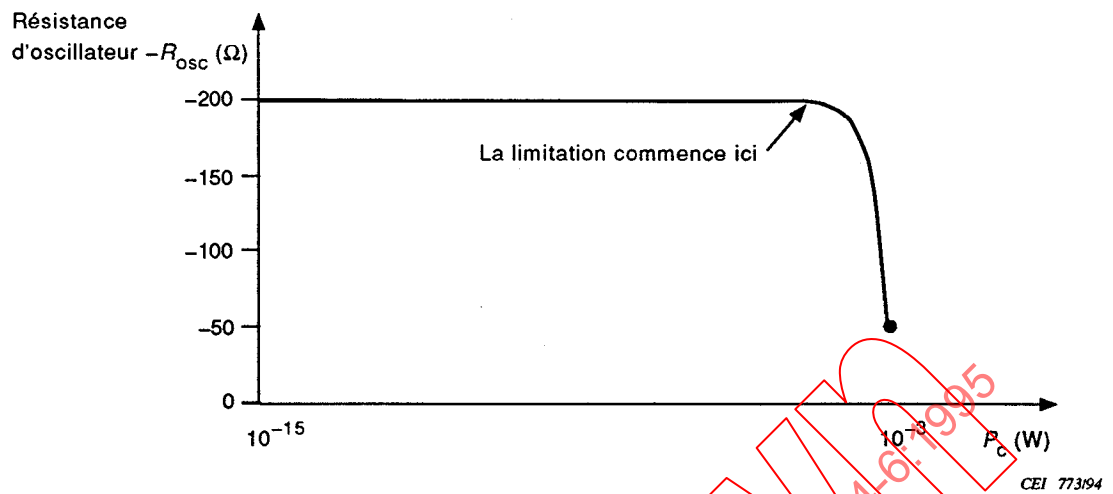


Figure 6 – $-R_{osc}$ installé dans une gamme balayée des niveaux d'excitation

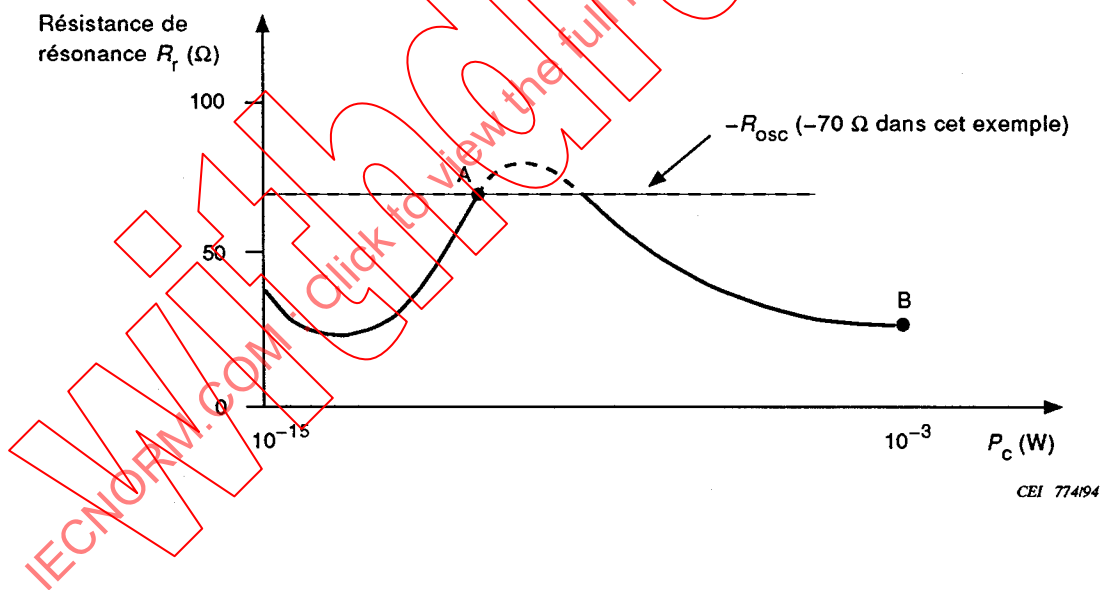


Figure 7 – Comportement du niveau d'excitation d'un résonateur à quartz en fonction du niveau d'excitation par rapport à $-R_{osc}$ comme une limite d'essai selon l'essai de la méthode B

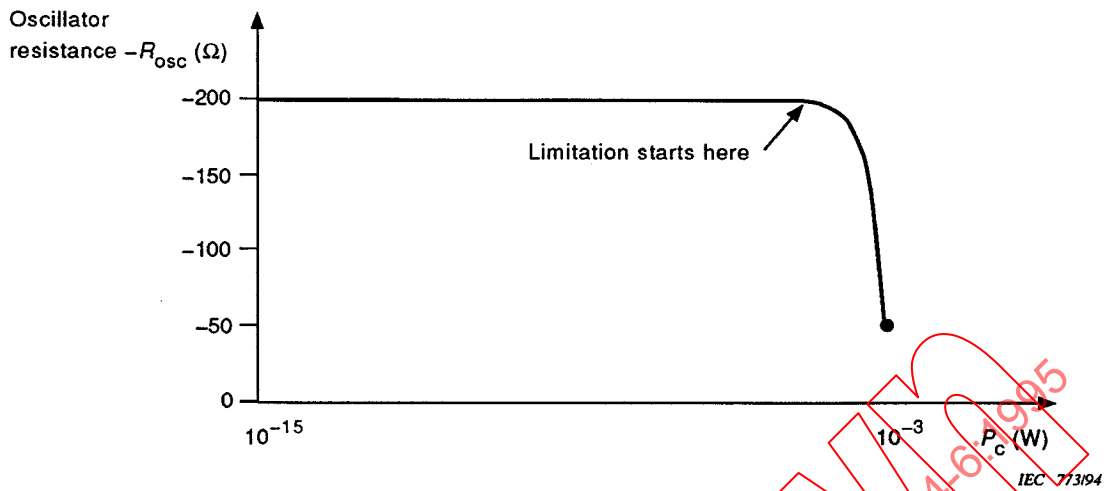


Figure 6 – Installed $-R_{osc}$ in scanned drive level range

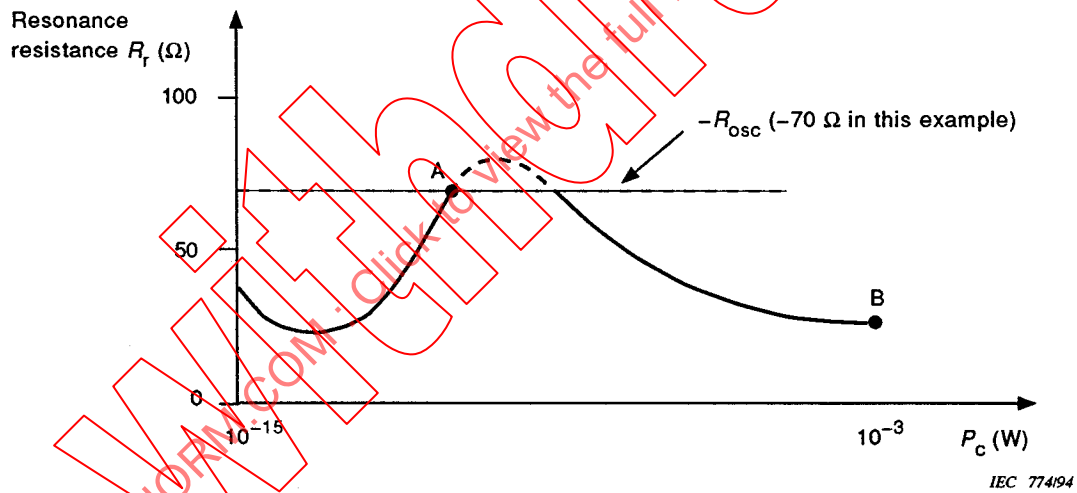
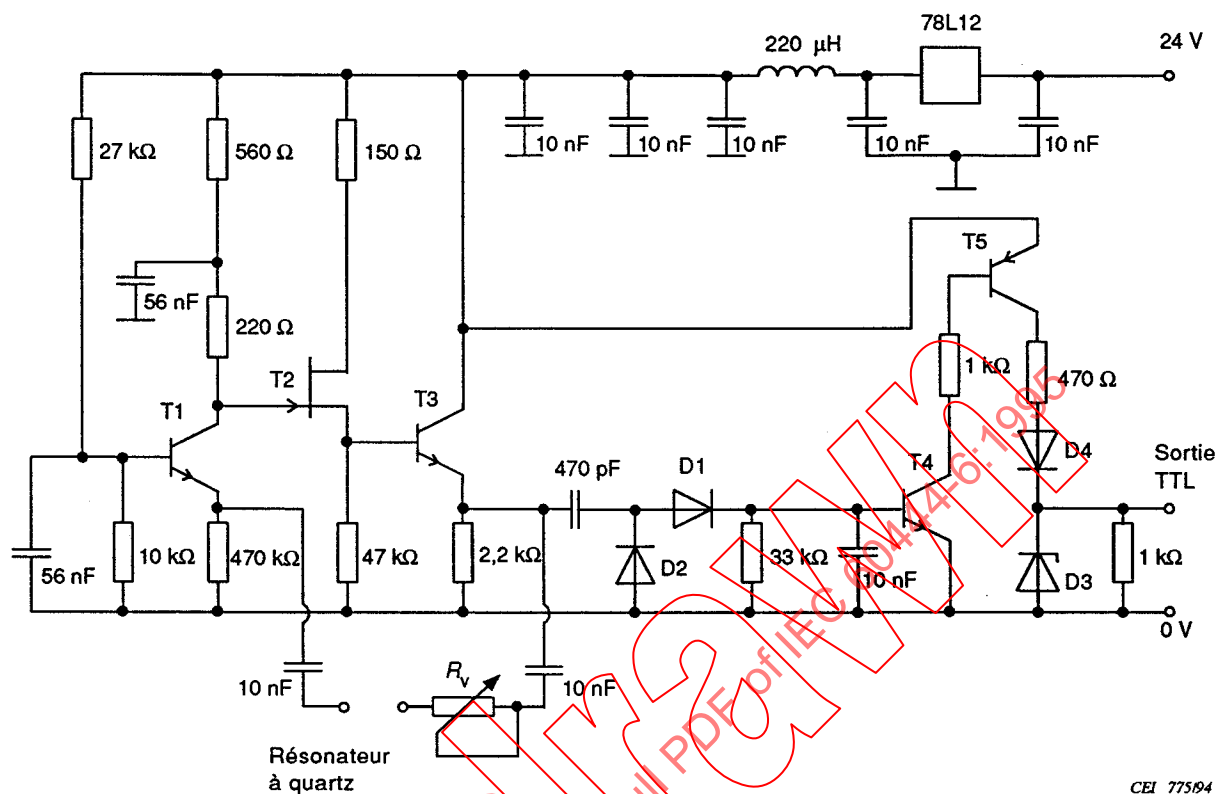


Figure 7 – Drive level behaviour of a quartz crystal unit as a function of drive level focused against an installed $-R_{osc}$ as a test limit in the method B test



CEI 77584

Liste des composants recommandés:

T1	Transistor:	type BFR 92A	D1	Diode:	type BAT17
T2	Transistor:	type BFR101A	D2	Diode:	type BAT17
T3	Transistor:	type BFR 92A	D3	Diode:	type 4V7
T4	Transistor:	type BC850C	D4	Diode:	type DEL
T5	Transistor:	type BC860C			

Figure 8 – Schéma synoptique principal d'un circuit d'essai en utilisant la procédure tout-ou-rien de la méthode B