

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC REPORT

Publication 283

Première édition — First edition

1968

**Méthodes pour la mesure de fréquence et de résistance équivalente
des fréquences indésirables des quartz pour filtres**

**Methods for the measurement of frequency and equivalent resistance
of unwanted resonances of filter crystal units**



Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Pris Fr. s. **15.-**
Pris S. Fr.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES POUR LA MESURE DE FRÉQUENCE ET DE RÉSISTANCE
ÉQUIVALENTE DES FRÉQUENCES INDÉSIRABLES DES QUARTZ
POUR FILTRES

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CIEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des 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.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la CIEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la CIEI dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Études N° 49 de la CIEI: Cristaux piézoélectriques et dispositifs associés.

Un projet comprenant le chapitre I fut discuté lors de la réunion tenue à Venise en 1963, à la suite de laquelle un nouveau projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1964.

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

Afrique du Sud	Pays-Bas
Allemagne	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Corée (République de)	Suède
Danemark	Suisse
États-Unis d'Amérique	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Japon	Yougoslavie

Un projet comprenant le chapitre II fut discuté lors de la réunion tenue à Aix-les-Bains en 1964, à la suite de laquelle un nouveau projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1965.

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

Australie	Pays-Bas
Belgique	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Finlande	Suisse
France	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Japon	

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS FOR THE MEASUREMENT OF FREQUENCY
AND EQUIVALENT RESISTANCE OF UNWANTED RESONANCES
OF FILTER CRYSTAL UNITS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Report has been prepared by IEC Technical Committee No. 49, Piezo-electric Crystals and Associated Devices.

A draft of Chapter I was discussed at the meeting held in Venice in 1963, as a result of which a new draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1964.

The following countries voted explicitly in favour of publication of Chapter I:

Belgium	Romania
Czechoslovakia	South Africa
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Israel	Union of Soviet Socialist Republics
Japan	United Kingdom
Korea (Republic of)	United States of America
Netherlands	Yugoslavia

A draft of Chapter II was discussed at the meeting held in Aix-les-Bains in 1964, as a result of which a new draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1965.

The following countries voted explicitly in favour of publication of Chapter II:

Australia	Netherlands
Belgium	Romania
Canada	Sweden
Denmark	Switzerland
Finland	Turkey
France	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Japan	

MÉTHODES POUR LA MESURE DE FRÉQUENCE ET DE RÉSISTANCE ÉQUIVALENTE DES FRÉQUENCES INDÉSIRABLES DES QUARTZ POUR FILTRES

Domaine d'application du rapport

Ce rapport décrit deux méthodes pour la mesure de la fréquence et de la résistance équivalente des fréquences indésirables des quartz pour filtres. Ces deux méthodes sont basées sur l'utilisation du pont de mesure dans lequel l'équilibrage de la capacité parallèle est fait à une fréquence éloignée de la résonance principale et de la résonance indésirable.

L'amplitude de la résonance indésirable est indiquée par la tension de sortie maximale qui a lieu au moment de la transmission de la fréquence de résonance indésirable.

Conformément à la première méthode, la capacité de charge et la résistance de charge sont spécifiées. L'amplitude de la résonance principale et de la résonance indésirable est indiquée par la différence de niveau correspondant à la tension de sortie du pont par rapport à son niveau quand le quartz en essai est court-circuité. Conformément à la deuxième méthode, qui est le développement de la première, la résistance de charge est choisie petite et elle est spécifiée pour chaque gamme de fréquences.

Pour la détermination de l'amplitude de la résonance indésirable en plus de l'équilibrage initial du pont, éloigné des résonances, un équilibrage additionnel est effectué à deux fréquences qui sont symétriques de la résonance indésirable mesurée. La résistance équivalente de la réponse indésirable est calculée à partir de la différence entre le niveau de ces deux fréquences et le niveau à la fréquence de résonance indésirable.

La deuxième méthode exige plus de temps pour la mesure que la première, mais elle peut assurer une meilleure précision de mesure.

La première méthode est recommandée comme méthode principale et la deuxième, comme méthode de référence.

METHODS FOR THE MEASUREMENT OF FREQUENCY AND EQUIVALENT RESISTANCE OF UNWANTED RESONANCES OF FILTER CRYSTAL UNITS

Scope of the Report

This Report describes two methods for the measurement of frequency and intensity of unwanted responses of filter crystal units. Both methods are based on the use of a measuring bridge in which balancing of the parallel capacitance is performed at a frequency removed from the main or any unwanted resonance.

The intensity of the unwanted response is indicated by the maximum output voltage occurring during transmission of the unwanted resonance frequency.

According to the first method, the load capacitance and termination are specified. The intensity of the main and unwanted resonance is indicated by the corresponding level difference of the bridge output voltage with respect to its level when short-circuiting the crystal unit under test. According to the second method, which is a development of the first one, the load resistance of the bridge is chosen to be small and specified for each frequency range.

To determine the intensity of an unwanted response in addition to the initial balance of the bridge removed from resonances, an additional balancing is carried out at two frequencies which are symmetrical with respect to the unwanted response measured. The equivalent resistance of the unwanted response is calculated from the difference between the level of the two above-mentioned frequencies and the level at the unwanted resonance frequency.

The second method requires more time for measurement than the first one, but it can give more accurate measurement.

The first method is recommended as a basic method, and the second as a reference one.

CHAPITRE I: MÉTHODE PRINCIPALE POUR LA MESURE DES RÉSONANCES INDÉSIRABLES DES QUARTZ POUR FILTRES

1. Introduction

Ce rapport décrit les méthodes de détection des résonances indésirables des quartz et les méthodes de mesure de l'amplitude de la réponse ou des irrégularités de réponse à ces fréquences.

Le principe de mesure utilisé consiste à fournir une fréquence variable de façon continue à un pont étalon et à observer la courbe de transmission dans la gamme de fréquences spécifiée pour le quartz considéré.

Le pont étalon consiste en un transformateur différentiel formant deux bras du pont, le quartz à mesurer et la capacité d'équilibrage formant les deux autres bras. Ce pont représente un filtre à quartz à bande étroite, chargé convenablement et ayant la bande passante la plus large possible. Dans ce circuit, la fréquence au maximum de transmission n'est pas exactement la fréquence de résonance.

La tension de sortie due au déséquilibre du pont est mesurée de façon continue dans la gamme de fréquences spécifiée pour le quartz en essai afin de permettre la détection des irrégularités dans la caractéristique de transmission qui est normalement continue. Les irrégularités sont dues aux résonances indésirables du quartz en essai.

L'amplitude de la réponse de transmission est donnée de l'une des façons suivantes:

- a) *Réponse différentielle*: différence de niveau exprimée en décibels entre les points d'inversion de la caractéristique au voisinage d'une réponse indésirable (voir figure 2, page 13).
- b) *Réponse absolue*: différence de niveau de transmission à la fréquence indésirable, exprimée en décibels entre les mesures suivantes:
 - 1) quartz en circuit;
 - 2) quartz court-circuité (voir figure 2).

2. Circuit de mesure

La détection et la mesure des résonances indésirables sont faites au moyen d'un circuit constitué par un générateur de fréquences, un atténuateur, un pont, une résistance de charge et un détecteur, ou leurs équivalents électriques, connectés comme indiqué dans la figure 1, page 12.

2.1 Caractéristiques du générateur de fréquences

À $\pm 10\%$ de la fréquence nominale de résonance série du quartz en essai, les bandes latérales doivent être affaiblies d'au moins 80 dB. Les harmoniques de la fréquence à la sortie du générateur et la sélectivité du détecteur doivent être tels que le niveau des harmoniques au détecteur soit au moins de 60 dB au dessus de la fondamentale. Des filtres pour supprimer les harmoniques peuvent être utilisés si nécessaire.

2.2 Caractéristiques du détecteur

Sa sensibilité doit être telle, qu'en liaison avec le générateur il soit possible de détecter un niveau de sortie du pont 85 dB au dessus du niveau qui s'établit lorsque le quartz est court-circuité. Sa sensibilité différentielle doit permettre d'observer des variations du niveau d'entrée de 0,1 dB.

La capacité et la résistance d'entrée sont définies aux paragraphes 2.3 et 2.4.

CHAPTER I: BASIC METHOD FOR MEASUREMENT OF UNWANTED RESONANCES IN FILTER CRYSTAL UNITS

1. Introduction

This Report describes methods of detecting unwanted resonances in crystal units and methods of measuring the magnitude of response or response deviation at these frequencies.

The scheme of measurement used is to supply a continuously adjustable frequency to a standard bridge and to observe the transmission response over the frequency range specified for the individual crystal unit.

The standard bridge consists of a hybrid coil forming two arms of the bridge, the individual crystal unit under test and the balancing capacitor in the other two arms. This bridge represents a properly terminated, narrow-band crystal filter with the widest possible frequency band. This frequency band is not identical with the resonance frequency of the crystal unit.

The bridge unbalance output is continuously indicated over the frequency range specified for the individual crystal unit to permit detection of irregularities from a normally smooth transmission characteristic, the irregularities being due to unwanted resonances of the crystal unit under test.

The magnitude of the transmission response deviation is given by either of the following:

- a) *The differential response:* difference in level expressed in decibels, between the turning points of the characteristic in the vicinity of the unwanted response (see Figure 2, page 13).
- b) *The absolute response:* transmission difference expressed in decibels at the unwanted resonance frequency with and without the crystal unit short-circuited (see Figure 2).

2. Measuring circuit

Unwanted resonances are detected and measured by means of a circuit consisting of a power source, an attenuator, a bridge, terminating resistors and a detector or their electrical equivalents connected as shown in Figure 1, page 12.

2.1 Requirements for the power source

Within $\pm 10\%$ of the nominal series resonance frequency of the crystal unit under test, side bands should be down by at least 80 dB. Harmonics of the output frequency and the selectivity of the detector should be such that the level of harmonics is at least 60 dB below the fundamental at the detection element. Harmonic suppression filters may be used if necessary.

2.2 Requirements for the detector

The sensitivity shall be such that in conjunction with the power source used, bridge output levels 85 dB below the output level with the crystal unit short-circuited may be detected. The differential sensitivity shall permit observation of 0.1 dB changes in input level.

For input capacitance and resistance, see Sub-clauses 2.3 and 2.4 respectively.

2.3 Caractéristiques du circuit du pont

2.3.1 Équilibre

Le quartz étant remplacé par un condensateur à air de haute qualité, le pont doit pouvoir être équilibré comme spécifié au paragraphe 3.1.2 sans ajustement complémentaire dans la gamme de fréquences à explorer.

2.3.2 Capacités directes

La capacité directe entre deux conducteurs est la valeur de capacité égale à la charge produite sur l'un des conducteurs par la tension entre les deux conducteurs, divisée par cette tension. Elle peut être mesurée sur un pont de mesure de capacité en connectant les deux conducteurs aux bornes de mesure du pont. Tous les autres conducteurs seront connectés au point milieu du pont de façon à être exclus de la mesure.

La capacité entre un conducteur et la terre est la capacité entre ce conducteur et la terre quand tous les autres conducteurs sont réunis à la terre.

Capacité directe entre les points (voir figure 1)	Condition	Valeurs exigées μF
D et C	C_A déconnecté	1 max.
D et A	C_B au minimum	3,7 max.
D et B	Sorties Y1 et Y2 ouvertes Détecteur connecté et sous tension	8 : 1

La mesure des capacités directes sera facilitée en déconnectant le transformateur T aux points A et C.

La capacité directe C_{DB} entre les points D et B peut être déterminée en mesurant la capacité C_D entre le point D et la terre, la capacité directe C_{DA} entre les points D et A et C_{DC} entre les points D et C. La capacité directe C_{DB} est alors calculée comme suit:

$$C_{DB} = C_D - C_{DA} - C_{DC}$$

2.4 Caractéristiques de la résistance de charge

La valeur de la résistance de charge, R_T , est dérivée de la charge convenable du réseau électrique équivalent au circuit du pont spécifié. La résistance du détecteur peut être comprise dans R_T .

Elle est calculée comme suit:

$$R_T = \frac{16 \times 10^7}{f_s (2 C_{11} + C_0)} \Omega \quad \text{ou } 220\,000 \Omega$$

On prendra la plus petite des deux valeurs

f_s = fréquence nominale de résonance série en kilohertz du quartz en essai

C_D = $C_0 + C_A$, C_0 étant la capacité statique en picofarads du quartz en essai et C_A une capacité additionnelle

C_{11} = capacité directe en picofarads entre les points B et D; sa valeur est de 7 pF à 9 pF (voir paragraphe 2.3.2)

2.3 Requirements for the bridge circuit

2.3.1 Balance

When using a high quality air capacitor in place of the crystal unit, the bridge shall be capable of balance to the degree specified in Sub-clause 3.1.2 over the scanned frequency range without further adjustment.

2.3.2 Requirements for direct capacitances

The direct capacitance between two conductors is the capacitance value equal to the charge produced on one of the conductors by the voltage between the two conductors divided by that voltage. It can be measured on a capacitance measuring bridge where both conductors are connected to the measuring terminals of the bridge; all other conductors are connected to the centre location (neutral point) of the bridge, so as to exclude them from the measurement.

The grounded capacitance of a conductor is the capacitance of this conductor to earth when all other conductors are connected to earth.

Direct capacitance between points (see Figure 1)	Condition	Requirement pF
D and C	C_A disconnected	1 max.
D and A	C_D at minimum	3.7 max.
D and B	Terminals Y1 and Y2 open Detector connected and powered	8 to 1

Measurement of the direct capacitances will be facilitated by disconnecting the transformer 'U' at points A and C.

The direct capacitance C_{DB} , between points D and B, may be determined by measuring the grounded capacitance C_D of point D, the direct capacitances C_{DA} between points D and A, and C_{DC} between points D and C, and taking the differences as follows:

$$C_{DB} = C_D - C_{DA} - C_{DC}$$

2.4 Requirements for the terminating resistor

The value of the terminating resistor, R_T , is based on the proper termination of the electrical lattice equivalent of the specified bridge circuit. The input resistance of the detector may be part of R_T .

It is determined as follows:

$$R_T = \frac{16 \times 10^7}{f_s (2 C_B + C_R)} \Omega \quad \text{or } 220\,000 \Omega$$

whichever is smaller

f_s = nominal series resonance frequency in kilohertz of the crystal unit under test

$C_B = C_D + C_A$ where C_D is the parallel capacitance in picofarads of the crystal unit under test and C_A is an additional capacitance

C_R = the direct capacitance in picofarads between points B and D; it has a value between 7 pF and 9 pF (see Sub-clause 2.3.2)

La tolérance sur la résistance de charge devrait être de $\pm 5\%$ et sa valeur choisie de préférence dans les valeurs normalisées. La capacité parallèle de cette résistance de charge ne devrait pas dépasser 1 pF.

3. Méthode de mesure

La tension de sortie du générateur est ajustée de façon à ne pas dépasser le niveau d'excitation maximal spécifié pour le quartz en essai. Après avoir compensé la capacité statique du quartz, la mesure des résonances indésirables se fait en observant la tension de sortie du pont dans la gamme de fréquences à explorer.

Note. — Les mesures doivent être faites à fréquences fixes; le balayage continu de fréquence ne sera admis que si les résultats des deux méthodes sont concordants.

3.1 *Équilibre initial*

- 3.1.1 La fréquence d'équilibre initial doit être suffisamment éloignée de la fréquence nominale de résonance série du quartz afin que l'équilibrage représente principalement la compensation de la capacité statique C_0 du quartz.

Normalement, la fréquence d'équilibre doit être telle que la gamme de fréquences à explorer se trouve à moins d'une octave de part et d'autre de cette fréquence.

- 3.1.2 La valeur d'équilibre initial est la différence exprimée en décibels, mesurée à la fréquence d'équilibre entre les niveaux obtenus avec le quartz en circuit et court-circuité.

L'équilibre initial doit être l'un des suivants:

- a) Pour les réponses absolues, au moins 20 dB au dessus de la limite spécifiée pour le quartz en essai.
- b) Pour les réponses différentielles, au moins 20 dB au dessus de la caractéristique supposée régulière à la fréquence de la réponse indésirable.
- a) Le plus grand de a) ou b) dans le cas d'un quartz pour lequel on a spécifié à la fois des conditions pour les réponses absolues et différentielles.

3.2 *Mesure de la réponse absolue*

Faire l'équilibrage initial.

Régler la fréquence pour la transmission maximale à la résonance indésirable.

Noter la position de l'atténuateur pour une déviation donnée du détecteur.

Court-circuiter le quartz et régler l'atténuateur pour obtenir la même déviation du détecteur. La différence en décibels entre les deux positions de l'atténuateur représente la réponse absolue.

3.3 *Mesure de la réponse différentielle*

Faire l'équilibrage initial.

Régler la fréquence au sommet de la réponse indésirable. Noter la position de l'atténuateur pour une déviation donnée du détecteur. Faire varier lentement la fréquence jusqu'à la déviation minimale au point d'inversion de la réponse indésirable et régler l'atténuateur pour obtenir la même déviation du détecteur. La différence en décibels entre les deux positions de l'atténuateur représente la réponse différentielle.

The terminating resistor should have a tolerance of $\pm 5\%$ and preferably be chosen with a standard value. The shunt capacitance of the terminating resistor should not exceed 1 pF.

3. Method of measurement

The output of the power source is adjusted in such a manner that the maximum level of drive for the crystal unit under test is not exceeded for the specified condition of operation. Measurement of unwanted resonances is made by first balancing out the static capacitance of the crystal unit and then observing the bridge output over the frequency range to be scanned.

Note. The measurement shall be carried out under static conditions; frequency scanning shall be allowed providing that adequate correlation with the static method has been established.

3.1 Initial balance

- 3.1.1 The initial balance frequency should be sufficiently removed from the nominal series resonance frequency in order that the balance will primarily represent balancing of the parallel capacitance C_0 of the crystal unit.

The balance frequency normally should be such that the scanned frequencies lie within an octave each side of the balance frequency.

- 3.1.2 The initial balance value is the difference expressed in decibels measured at the balance frequency between the levels with and without the crystal unit short-circuited.

The initial balance should be one of the following:

- a) For absolute responses, at least 20 dB more than the specified limit of the crystal unit under test.
- b) For differential responses, at least 20 dB more than the level of the otherwise smooth curve at the unwanted response frequency.
- c) The greater of a) and b) above, if both absolute and differential response requirements have been specified for the crystal unit.

3.2 Absolute response measurements

Perform the initial balance.

Adjust the frequency for maximum transmission at the unwanted resonance.

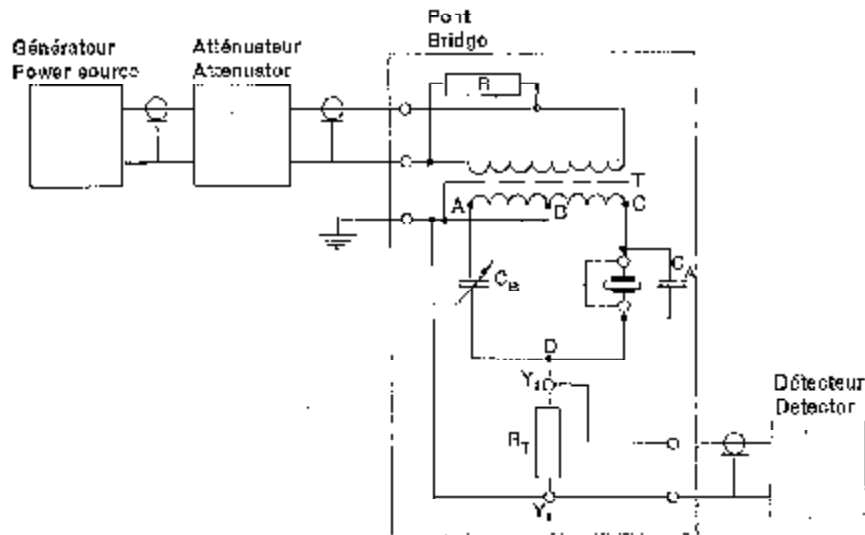
Note the attenuator setting for a given detector deflection.

Short-circuit the crystal unit and adjust the attenuator for the same detector deflection. The difference in decibels between the two attenuator settings is the absolute response.

3.3 Differential response measurement

Perform the initial balance.

Adjust the frequency to the peak of the unwanted response. Note the attenuator setting for a given detector deflection. Slowly adjust the frequency to the trough of the same unwanted response and re-adjust the attenuator to give the same detector deflection as for the peak of the unwanted response. The difference in decibels between the two attenuator settings is the differential response.



- R_0 = résistance de charge, voir paragraphe 2.4
terminating resistor, see Sub-clause 2.4
- C_A = condensateur fixe de 3,5 pF. Utilisé seulement lorsque C_0 du quartz est inférieure à 3,5 pF
fixed capacitor 3.5 pF. Used only when C_0 of crystal unit is less than 3.5 pF
- C_B = condensateur variable à air de 3,5 pF à 50 pF à faibles pertes (isolateurs céramiques)
possibilité d'ajustage: 0,002 pF à C minimale
0,015 pF à C maximale
low-loss adjustable air capacitor 3.5 pF to 50 pF (with ceramic insulators)
adjustability: 0.002 pF at minimum capacitance
0.015 pF at maximum capacitance
- R = résistance d'adaptation de l'atténuateur
matching resistor of attenuator
- T = transformateur. Lorsque l'impédance primaire est adaptée à l'impédance de l'atténuateur, l'impédance secondaire doit être inférieure à $\frac{R_0}{S}$
transformer. For a primary impedance matched to the attenuator, the secondary impedance shall be smaller than $\frac{R_0}{S}$
- $R=75 \Omega \pm 5\%$ = valeurs suggérées (comme exemple)
suggested values (for example)
- 75Ω = impédance primaire
primary impedance
- 110Ω = impédance secondaire
secondary impedance
- $> 30 \text{ dB}$ = équilibre secondaire
secondary balance
- $> 0.5 \text{ dB}$ = variation des pertes du transformateur dans la gamme de fréquences à utiliser.
transformer loss variation over the frequency range to be used

FIG. 1. — Schéma du circuit.
Circuit diagram.

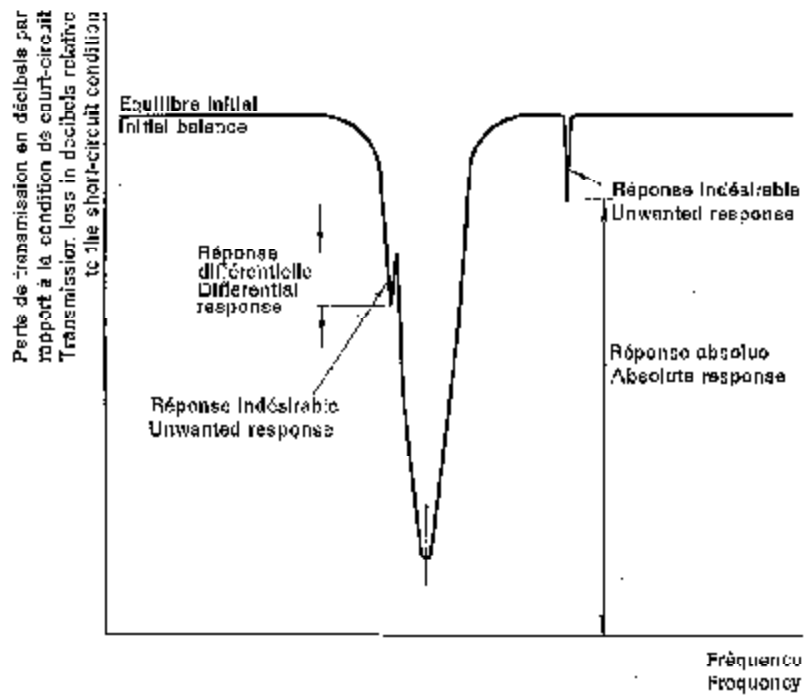


FIG. 2. — Exemples de réponses absolues et différentielles.
Illustration of differential and absolute response.

CHAPITRE II: MÉTHODE DE RÉFÉRENCE POUR LA MESURE DE FRÉQUENCE ET DE RÉSISTANCE ÉQUIVALENTE DES FRÉQUENCES INDÉSIRABLES DES QUARTZ POUR FILTRES

1. Principe de la mesure

Le quartz à mesurer est inséré dans un pont, dont la sortie est chargée par une résistance de faible valeur. La capacité parallèle du quartz est équilibrée et l'on explore la fréquence dans la gamme désirée. Pour chaque réponse indésirable découverte dans cette gamme, la fréquence est déterminée comme celle pour laquelle la tension de sortie due au déséquilibre du pont présente un maximum.

La résistance équivalente peut être calculée à partir de la différence entre la tension de sortie due au déséquilibre maximal et minimal, autour de cette fréquence parasite.

2. Circuit de mesure

Voir figure 3, page 18.

2.1 Générateur

De part et d'autre de la fréquence pour laquelle le générateur est ajusté, et à $\pm 10\%$ de cette fréquence, la tension de sortie totale mise à part la tension de sortie à la fréquence ajustée doit être au moins 80 dB au-dessous de la tension de sortie principale. Mesurée à l'élément détecteur, la tension de sortie due à chaque harmonique de la fréquence pour laquelle le générateur est ajusté doit être au moins 60 dB au-dessous de la tension de sortie à la fréquence fondamentale. Des filtres pour supprimer les harmoniques peuvent être utilisés si nécessaire.

2.2 Détecteur

Sa sensibilité doit être telle qu'en liaison avec le générateur il soit possible de détecter:

- une variation du niveau d'entrée de 1 dB;
- un niveau de sortie du pont 45 dB au-dessous du niveau obtenu quand une résistance de 100 R est connectée à la place du quartz (R = valeur de la résistance de charge).

La valeur absolue de l'impédance d'entrée ne doit pas être inférieure à 30 R .

Pour la sélectivité, voir le chapitre II, paragraphe 3.1.

2.3 Circuit du pont

Le circuit du pont doit être tel qu'il satisfait à l'essai suivant:

- connecter un condensateur de haute qualité et d'une capacité appropriée à la place du quartz. Faire l'équilibrage initial suivant le chapitre II, paragraphe 3.1. Explorer la gamme de fréquences spécifiée et observer la tension de sortie due au déséquilibre, celle-ci ne doit pas changer de plus de 10 dB.

Note. — Les ponts d'admittance qu'on trouve dans le commerce peuvent être également utilisés, à condition d'établir une corrélation.

CHAPTER II: REFERENCE METHOD FOR THE MEASUREMENT OF FREQUENCY AND EQUIVALENT RESISTANCE OF UNWANTED RESPONSES OF FILTER CRYSTAL UNITS

1. Principle of the measurement

The crystal unit to be measured is inserted in a measuring bridge, the output of which is shunted by a low resistance. The parallel capacitance of the unit is balanced and the frequency is varied over the range to be explored. For any unwanted response encountered in this range, the frequency is determined as the frequency for which the unbalance output of the bridge shows a maximum.

The equivalent resistance can be calculated from the difference between the maximum and minimum unbalance bridge output around that unwanted response.

2. Measuring circuit

See Figure 3, page 18.

2.1 Power source

At both sides of the frequency for which the power source is adjusted, and within 10% of that frequency, the total output apart from that at the adjusted frequency shall be at least 80 dB below the main output. When measured at the detection element, the output at any harmonic of the frequency for which the power source is adjusted shall be at least 60 dB below the output at the fundamental frequency. Harmonic suppression filters may be used if necessary.

2.2 Detector

The sensitivity shall be such that, in conjunction with the power source used, it is possible to detect:

- a change of 1 dB in input level;
- an output level of the bridge 45 dB below the level obtained when a resistor equal to $100 R$ is connected instead of the crystal unit (R = value of terminating resistor).

The absolute value of the input impedance shall not be less than $30 R$.

For selectivity, see Chapter II, Sub-clause 3.1.

2.3 Bridge circuit

The bridge circuit shall be such that it satisfies the following test:

- connect a capacitor of high quality and of appropriate capacitance instead of the crystal unit. Perform the initial balance in accordance with Chapter II, Sub-clause 3.1. Scan the specified frequency range and observe the unbalance output voltage, which shall not change by more than 10 dB.

Note. — Commercially available admittance bridges can also be used, provided that correlation has been achieved.

2.4 Résistance de charge R

La valeur de la résistance de charge R doit être plus petite que la valeur absolue de la valeur de l'impédance d'équilibre.

Des valeurs pratiques sont:

R	=	3 300	pour les fréquences au dessous de 100 kHz
R	=	330	pour les fréquences de 100 kHz à 1 MHz
R	=	33	pour les fréquences de 1 MHz à 10 MHz
R	=	10	pour les fréquences de 10 MHz à 100 MHz

La tolérance est + 5%.

2.5 Résistance de charge R_T

Les résistances de charge R_T sont adaptées à l'impédance caractéristique du générateur et du câble de connexion.

3. Méthode de mesure

3.1 Équilibre initial

La tension de sortie du générateur est ajustée de façon à ne pas dépasser le niveau d'excitation maximal spécifié pour cette mesure pour le quartz en essai, à une fréquence quelconque dans la gamme de fréquences d'essai.

La fréquence est ajustée à une valeur suffisamment éloignée de la résonance principale et d'un mode indésirable quelconque. Toutefois, cette fréquence doit être telle que la gamme de fréquences à explorer se trouve à moins d'une octave de part et d'autre de cette fréquence.

Noter la déviation du détecteur causée par la tension de sortie due au déséquilibre résiduel au niveau de la résistance de charge R et ajuster l'atténuateur pour obtenir la même indication du détecteur. L'atténuation doit être au moins 85 dB.

3.2 Mesure de la réponse

Explorer la gamme de fréquences spécifiée et si un mode indésirable est détecté, réajuster l'équilibre du pont afin de donner une tension de sortie due au déséquilibre des deux côtés de la tension maximale qui soit au moins de 20 dB inférieure à la valeur de crête de la résonance indésirable.

Ensuite, ajuster la fréquence pour la transmission maximale à la résonance indésirable et noter l'indication du détecteur. Ajuster l'atténuateur pour obtenir la même indication du détecteur.

La résistance équivalente du mode indésirable est alors:

$$R_{in} = R \times 10^{x/20}$$

dans laquelle:

x = l'indication de l'atténuateur, en décibels

3.3 Mesures de séries

Si une série de quartz identiques doit être mesurée, le condensateur d'équilibre C_y peut être remplacé par un quartz de référence ayant une fréquence de résonance série et une inductance dynamique dans des tolérances serrées par rapport à leurs valeurs nominales. Ce quartz de référence doit être libre de modes indésirables dans la gamme de fréquences à explorer.

La tension de sortie due au déséquilibre est une mesure directe pour la résistance équivalente de la résonance indésirable et pour cette raison la tension de sortie du pont peut être donnée en fonction de la fréquence.

2.4 *Terminating resistor R*

The resistance of the terminating resistor R shall be much smaller than the absolute value of the impedance of the balance impedance.

Practical values are:

- $R = 3\ 300$ for frequencies below 100 kHz
- $R = 330$ for frequencies between 100 kHz and 1 MHz
- $R = 33$ for frequencies between 1 MHz and 10 MHz
- $R = 10$ for frequencies between 10 MHz and 100 MHz

The tolerance should be + 5%.

2.5 *Load resistor R_L*

The load resistors R_L are matched to the characteristic impedance of power source and connecting cable.

3. *Method of measurement*

3.1 *Initial balance*

Adjust the output of the power source so that the maximum level of drive specified for this measurement for the crystal unit under test is not exceeded at any frequency within the test frequency range.

Adjust the frequency at a value well away from the resonance frequency of the main resonance, and away from any unwanted mode. This frequency shall, however, be such that the frequency range to be scanned is within one octave on either side.

Note the detector deflection due to the residual unbalance output voltage across the terminating resistor R and adjust the attenuator to give the same detector reading. The attenuation shall not be less than 85 dB.

3.2 *Response measurement*

Scan the specified frequency range and when an unwanted mode is detected, readjust the bridge balance to give an unbalance output at both sides of the maximum output which is at least 20 dB less than the maximum output at the peak of the unwanted response.

Then adjust the frequency to the peak of the unwanted resonance and note the detector reading. Adjust the attenuator to give the same detector reading.

The equivalent resistance of the unwanted mode is then:

$$R_m = R \times 10^{x/20}$$

where:

x = attenuator reading, in decibels

3.3 *Routine measurements*

When a series of equal crystal units has to be measured, the balance capacitor C_b can be replaced by a reference crystal unit having a series resonance frequency and a motional inductance within close tolerances of their nominal values. This reference crystal unit shall be free from unwanted modes within the frequency range to be scanned.

The unbalance output is then a direct measure for the equivalent resistance of the unwanted response and the bridge output voltage may, therefore, be recorded as a function of frequency.

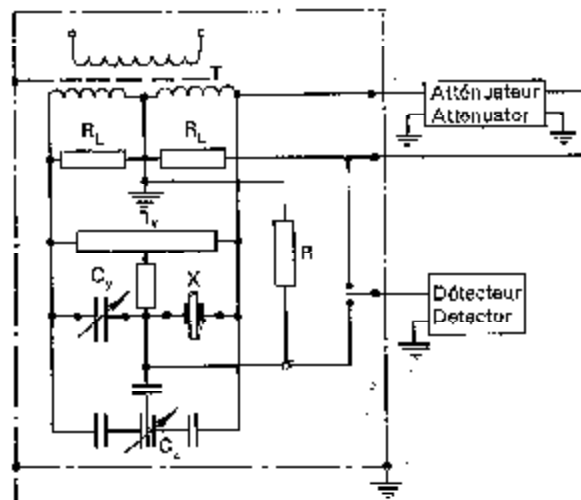


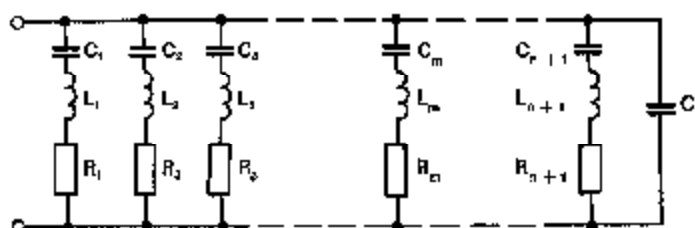
FIG. 3. — Circuit de mesure de fréquence et de résistance équivalente des fréquences indésirables des quartz pour filtres par la méthode de référence.

Measuring circuit of frequency and equivalent resistance of unwanted resonances of filter crystal units by the reference method.

ANNEXE

EXPLICATION DE LA MÉTHODE DE RÉFÉRENCE POUR LA MESURE
DE FRÉQUENCE ET DE RÉSISTANCE ÉQUIVALENTE DES FRÉQUENCES
INDÉSIRABLES DES QUARTZ POUR FILTRES

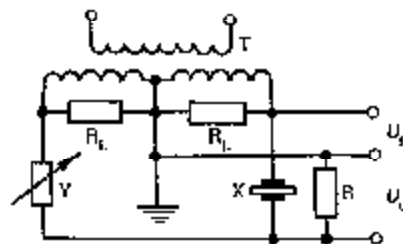
Un quartz ayant des résonances indésirables peut être représenté par un schéma équivalent de $n - 1$ au lieu d'une branche motrice (C_1, L_1, R_1 étant la branche du mode principal).



En équilibrant la capacité parallèle C_0 et en faisant varier la fréquence appliquée au circuit de mesure dans une certaine gamme, la fréquence de résonance de tous les modes indésirables dans cette gamme peut être obtenue. La valeur de la résistance équivalente est calculée à partir d'une mesure de la différence entre les impédances minimales et maximales du quartz au voisinage de cette résonance indésirable.

Dans le circuit décrit dans le chapitre II, article 2, l'équilibre est fait au moyen du potentiomètre R_V pour la composante réelle et des condensateurs C_V et C_S pour la composante réactive.

Dans le schéma simplifié donné ci-dessous, les composantes variables sont représentées par l'admittance Y .



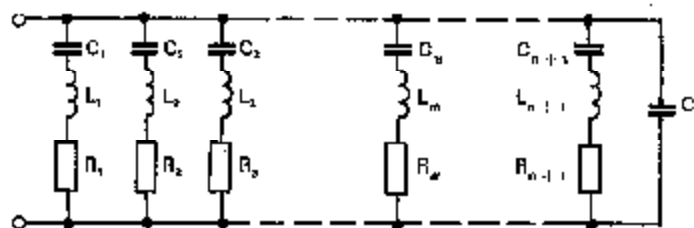
Les résistances R_T sont adaptées au générateur haute fréquence. La sortie du pont est chargée par la résistance R de faible valeur. La tension de sortie U_o due au déséquilibre est indiquée de façon continue pendant la variation de la fréquence.

Les irrégularités de la caractéristique de fréquence sont dues aux résonances indésirables du quartz en essai. Le rapport de la tension de sortie due au déséquilibre U_o à la tension d'entrée U_i du pont est mesuré au moyen de l'atténuateur.

APPENDIX

EXPLANATION OF THE REFERENCE METHOD FOR THE MEASUREMENT
OF FREQUENCY AND EQUIVALENT RESISTANCE OF UNWANTED RESPONSE
OF QUARTZ CRYSTAL UNITS

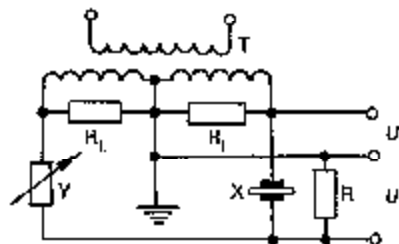
A crystal unit with unwanted resonances can be represented by an equivalent diagram with $n + 1$, instead of one motional branch ($C_1L_1R_1$ being that of the main mode).



By balancing out the parallel capacitance C_0 and varying the frequency applied to the measuring circuit within a certain range, the resonant frequency of each of the unwanted modes in that range can be found. The value of the equivalent resistance is derived from a measurement of the difference between the minimum and maximum of the crystal unit impedance around that unwanted resonance.

In the diagram described in Chapter II, Clause 2, balance is achieved by means of the potentiometer R_y for the real component, and by the capacitors C_y and C_x for the reactive component.

A simplified diagram is shown here, in which the variable components are represented by one admittance Y .



The resistors R_1 are matched to the r.f. power source. The output of the bridge is shunted by the terminating resistor R with low resistance value. The unbalance output U_n is continuously indicated during the frequency variation.

Irregularities in the frequency characteristic are due to unwanted resonances of the crystal unit under test. The ratio of the unbalance output voltage U_n to the corresponding input voltage U_1 on the bridge is measured by means of the attenuator.

Pour l'équilibre initial, l'admittance Y est approximativement égale à ωC_0 . La valeur de la résistance de charge, R , est choisie plus faible que $\frac{1}{\omega C_0}$ de façon que, en cas de déséquilibre, tout le courant passera pratiquement dans le quartz et la résistance de charge. Cela veut dire qu'à une résonance indésirable d'une résistance équivalente R_m , l'équation suivante est valable:

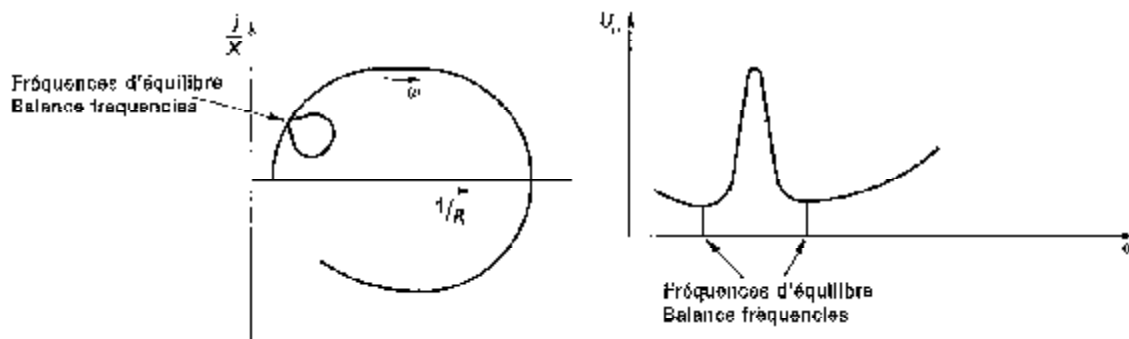
$$R_m = \left(\frac{U_1}{U_0} - 1 \right) R$$

ou, si $R_m \gg R$ et en conséquence $U_1 \gg U_0$:

$$R_m = \frac{U_1}{U_0} \cdot R$$

Le pont ne peut être utilisé avec une précision suffisante que si la résistance équivalente du mode indésirable est beaucoup plus grande que la résistance de charge R_L .

Pour mesurer R_m avec précision, le pont doit être compensé au point d'intersection du dessin de l'admittance. Alors les valeurs minimales des deux côtés de l'admittance maximale sont égales. Il est aussi possible de mesurer la résistance dynamique d'un mode indésirable avec une précision suffisante, si le cercle d'admittance de ce mode est précisément placé sur le cercle de l'admittance de la résonance principale (voir les figures ci-dessous).



For the initial balance, the admittance Y is approximately equal to ωC_0 . The value of the terminating resistor, R , is chosen much smaller than $\frac{1}{\omega C_0}$, so that, in case of an unbalance, practically all current will pass through the crystal unit and the terminating resistor. This means that, at an unwanted resonance with equivalent resistance R_m , the following equation is valid:

$$R_m = \left(\frac{U_1}{U_u} - 1 \right) R$$

or, when $R_m \gg R$ and therefore $U_1 \gg U_u$:

$$R_m = \frac{U_1}{U_u} \cdot R$$

The bridge can be used with sufficient accuracy, only when the equivalent resistance of the unwanted mode is much bigger than the load resistance R_L .

To measure R_m accurately, the bridge shall be balanced at the point of intersection of the admittance diagram. Then the minima on both sides of the maximum admittance are equal. This also makes it possible to measure the motional resistance of an unwanted mode with sufficient accuracy, if the admittance circle of this mode is situated exactly on the admittance circle of the main resonance (see figures below).

