

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

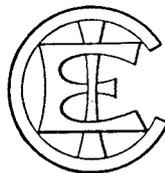
Publication 444

Première édition — First edition

1973

**Méthode fondamentale pour la mesure de la fréquence de résonance
et de la résistance série équivalente des quartz piézoélectriques
par la technique de phase nulle dans le circuit en π**

**Basic method for the measurement of resonance frequency
and equivalent series resistance of quartz crystal units
by zero phase technique in a π -network**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous :

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 444

Première édition — First edition

1973

**Méthode fondamentale pour la mesure de la fréquence de résonance
et de la résistance série équivalente des quartz piézoélectriques
par la technique de phase nulle dans le circuit en π**

**Basic method for the measurement of resonance frequency
and equivalent series resistance of quartz crystal units
by zero phase technique in a π -network**



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Définition de la résonance série	6
3. Plan de référence et caisse de blindage	6
4. Principe de mesure	6
5. Circuit de mesure	8
5.1 Réseau en π	8
5.2 Accessoires du circuit en π	14
5.3 Appareils de mesure associés	14
6. Méthode de mesure	18
6.1 Etalonnage initial du circuit en π	18
6.2 Mesures de la fréquence et de la résistance	20
ANNEXE — Information supplémentaire relative à la précision	22

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60444-1:1973

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Definition of resonance frequency	7
3. Reference plane and shielding box	7
4. Principle of measurement	7
5. Measuring circuit	9
5.1 The π -network	9
5.2 Accessories of π -network	15
5.3 Associated equipment	15
6. Method of measurement	19
6.1 Initial calibration of π -network	19
6.2 Frequency and resistance measurement	21
APPENDIX — Additional information on accuracy	23

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60444-1:1973

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE FONDAMENTALE POUR LA MESURE DE LA FRÉQUENCE
DE RÉSONANCE ET DE LA RÉSISTANCE SÉRIE ÉQUIVALENTE
DES QUARTZ PIÉZOÉLECTRIQUES PAR LA TECHNIQUE
DE PHASE NULLE DANS LE CIRCUIT EN π**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI 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 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

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Études N° 49 de la CEI: Dispositifs piézo-électriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Elle constitue la deuxième partie des recommandations préparées par le Comité d'Études N° 49 sur les méthodes de mesures des quartz dont la Publication 302 de la CEI: Définitions normalisées et méthodes de mesures pour les résonateurs piézoélectriques de fréquences inférieures à 30 MHz, constitue la première partie.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Washington en 1970. A la suite de cette réunion, un projet définitif, document 49(Bureau Central)68, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1971.

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**BASIC METHOD FOR THE MEASUREMENT OF RESONANCE
FREQUENCY AND EQUIVALENT SERIES RESISTANCE
OF QUARTZ CRYSTAL UNITS BY ZERO PHASE TECHNIQUE
IN A π -NETWORK**

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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

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

It forms the second part of Technical Committee No. 49 recommendations on measuring methods of crystal units of which IEC Publication 302, Standard Definitions and Methods of Measurement for Piezoelectric Vibrators Operating over the Frequency Range up to 30 MHz, it forms the first part.

A first draft was discussed at the meeting held in Washington in 1970. As a result of this meeting, a final draft, document 49(Central Office)68, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1971.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

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

MÉTHODE FONDAMENTALE POUR LA MESURE DE LA FRÉQUENCE DE RÉSONANCE ET DE LA RÉSISTANCE SÉRIE ÉQUIVALENTE DES QUARTZ PIÉZOÉLECTRIQUES PAR LA TECHNIQUE DE PHASE NULLE DANS LE CIRCUIT EN π

1. Domaine d'application

La présente recommandation définit une méthode simple de mesure de la fréquence de résonance et de la résistance série équivalente des quartz dans une gamme de fréquence de 1 MHz à 125 MHz avec une précision relative de fréquence se situant entre 10^{-6} et 10^{-8} suivant le type de quartz à mesurer et une précision de résistance série équivalente de $\pm 2\%$ à $\pm 5\%$ dépendant de la précision de la mesure de tension.

Les caractéristiques électriques du circuit en π sont entièrement spécifiées.

2. Définition de la résonance série

Un quartz piézoélectrique est un réseau à 3 pôles ayant une admittance complexe de transfert $Y_{12} = G_{12} + jB_{12}$, comme défini au paragraphe 1.1 de l'annexe.

Le boîtier est considéré comme pôle commun.

Pour les boîtiers en verre, le troisième pôle est défini à l'article 3.

La résonance série d'un quartz piézoélectrique seul, dans des conditions bien définies, est la plus basse des deux fréquences pour laquelle B_{12} est nulle.

A cette fréquence, la résistance série équivalente est $1/G_{12} = R_r$.

3. Plan de référence et caisse de blindage

Pour tenir compte de l'inductance des connexions d'un quartz, il est nécessaire de définir un plan de référence auquel les mesures doivent être faites. Ce plan est situé à 2 mm de l'endroit où émergent de l'embase les broches ou fils, sauf spécification contraire. Pour les boîtiers en verre, le troisième pôle est constitué par une caisse de blindage métallique ayant pour dimensions intérieures une hauteur de 27 mm et un plan de base de 40 mm \times 40 mm (plan de base = plan de référence) et fermé au sommet. Le quartz piézoélectrique doit être placé au centre du plan de base de la caisse de blindage.

4. Principe de mesure

La mesure se réduit à la mesure de l'impédance d'un dipôle par insertion du quartz piézoélectrique dans un réseau en π (voir figure 1, page 8).

BASIC METHOD FOR THE MEASUREMENT OF RESONANCE FREQUENCY AND EQUIVALENT SERIES RESISTANCE OF QUARTZ CRYSTAL UNITS BY ZERO PHASE TECHNIQUE IN A π -NETWORK

1. Scope

This recommendation specifies a simple method of measurement of resonance frequency and equivalent series resistance of quartz crystal units in the frequency range of 1 MHz-125 MHz with a fractional frequency accuracy ranging between 10^{-6} and 10^{-8} depending on the type of crystal and an accuracy on the equivalent series resistance of $\pm 2\%$ to $\pm 5\%$ depending on the accuracy of the voltage measurement.

The electrical characteristics of the π -network are fully specified.

2. Definition of resonance frequency

The crystal unit is a 3-terminal network with a complex transfer admittance $Y_{12} = G_{12} + jB_{12}$, as defined in Sub-clause 1.1 of the appendix.

The holder is considered as the common terminal.

For glass holders, the third terminal is defined in Clause 3.

The resonance frequency is defined as the lower of the two frequencies of the crystal unit alone under specified conditions at which B_{12} is zero.

At this frequency, the equivalent series resistance is $1/G_{12} = R_r$.

3. Reference plane and shielding box

Because of lead inductance of the crystal unit it is necessary for the crystal unit to specify a reference plane at which the measurements are to be made. This plane is located at a distance of 2 mm from the place where the pins or leads emerge from the crystal unit, unless otherwise specified. The third terminal for glass holders is a metal shielding box with internal dimensions 27 mm in height and the base plane of 40 mm \times 40 mm (base plane = reference plane) and closed at the top. The crystal unit is to be located at the centre of the base plane of the shielding box.

4. Principle of measurement

The measurement is reduced to a 2-terminal impedance measurement by inserting the crystal unit in a π -network (see Figure 1, page 9).

La phase de l'admittance de transfert du quartz piézoélectrique est indiquée sur un phasemètre branché aux bornes du réseau en π . La fréquence donnant une phase nulle est mesurée.

Le tarage du zéro de phase est obtenu en insérant une résistance de référence dans le réseau en π . La valeur de la résistance série équivalente peut être calculée à partir des tensions lues aux points A et B.

5. Circuit de mesure

Le circuit de mesure se compose fondamentalement d'un circuit en π relié par des câbles coaxiaux aux appareils de mesure associés (voir figure 1 ci-dessous).

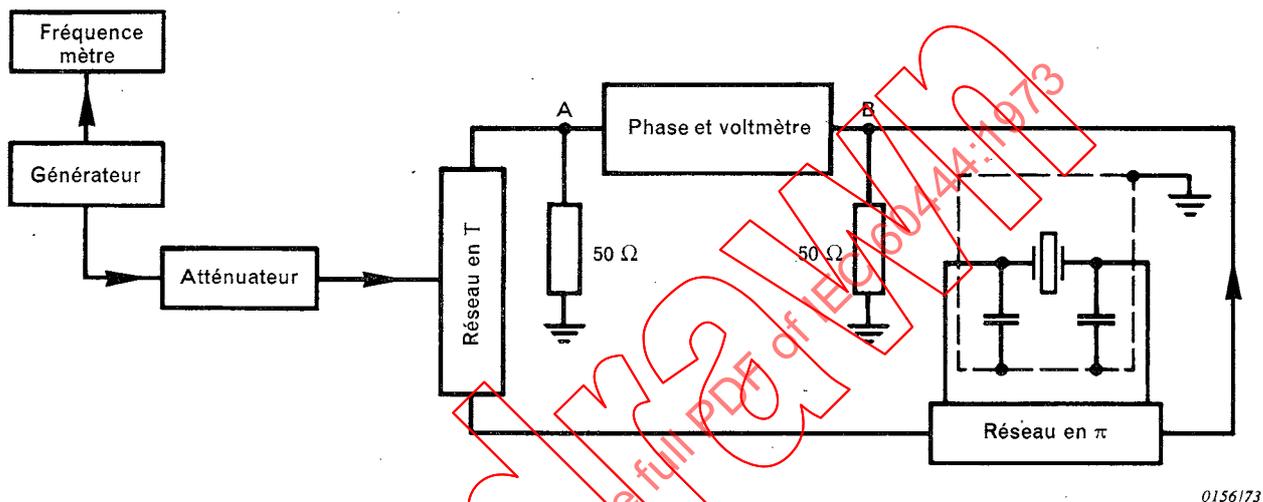
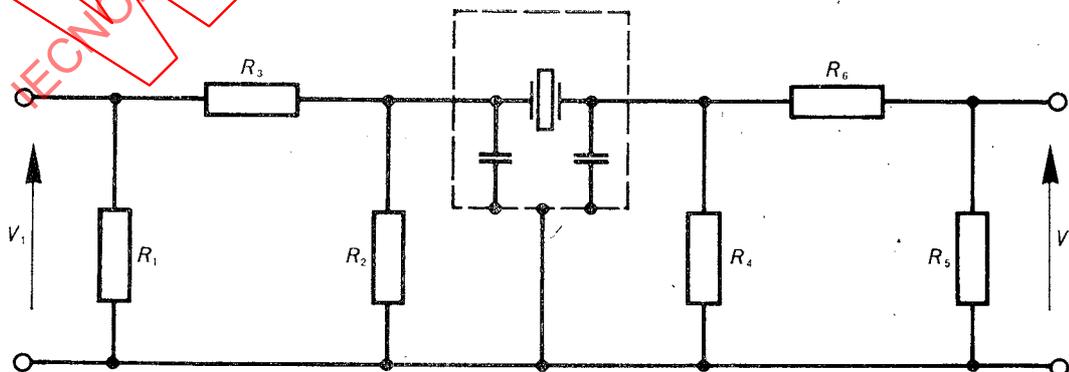


FIGURE 1

La construction du réseau en π a été soigneusement définie car toute la précision de la mesure en dépend. Par contre, le reste de l'équipement peut être complété, s'il le faut, de façon à réaliser un banc de mesure très élaboré. C'est pour cette raison que seules les caractéristiques essentielles de l'équipement annexe ont été spécifiées (voir paragraphe 5.3).

- 5.1 Réseau en π
- 5.1.1 Spécification électrique
- 5.1.1.1 Schéma du circuit



0157a/73

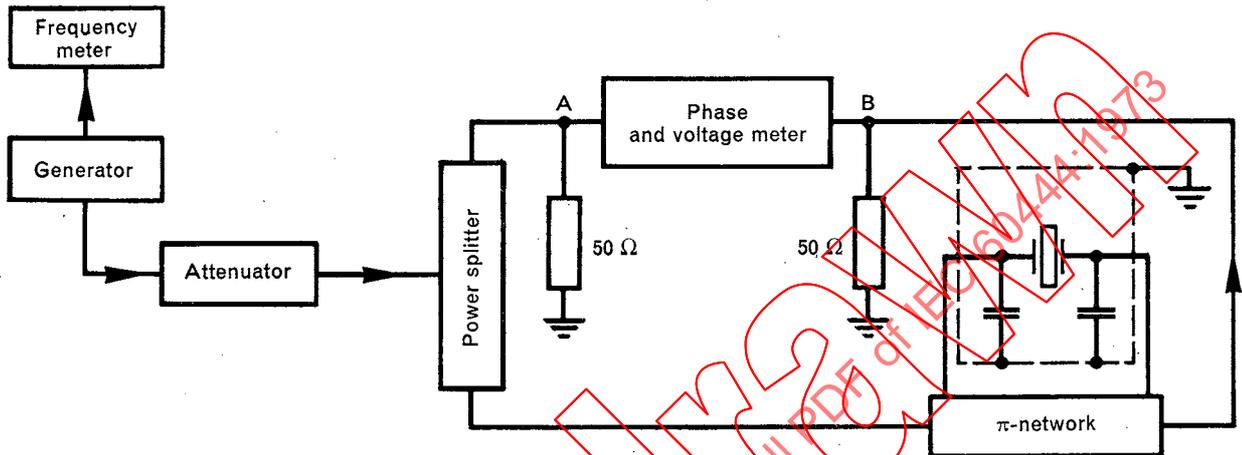
FIGURE 2

The phase of the crystal transfer admittance is indicated on a phase meter connected across the π -network. The frequency giving zero phase reading is measured.

Zero phase is calibrated by inserting a reference resistor in the π -network. The value of the equivalent series resistance can be calculated from the voltage readings on channels A and B.

5. Measuring circuit

Consists basically of a π -network connected with coaxial cables to the associated equipment (see Figure 1 below).



0156/73

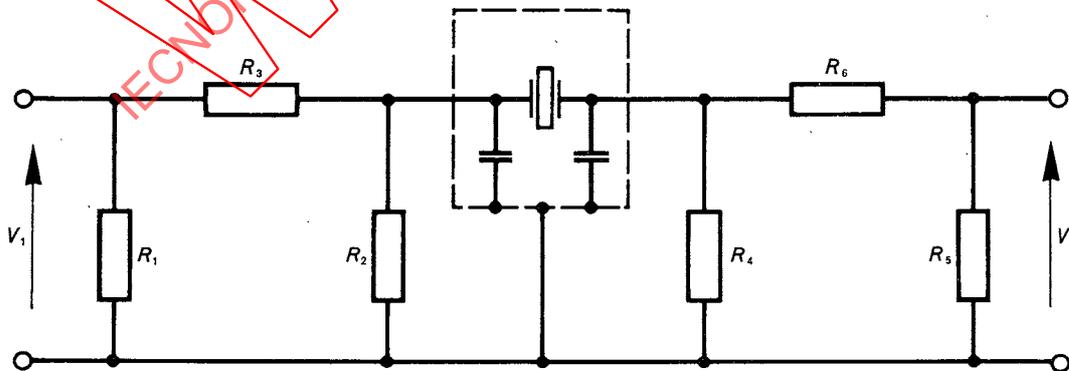
FIGURE 1

The fact is emphasized that the construction of the π -network determines the accuracy of the set-up, whereas the associated equipment can be extended, if necessary, to produce a very sophisticated set-up. For this reason, only the essential elements of the associated equipment are specified (see Sub-clause 5.3).

5.1 The π -network

5.1.1 Electrical specification

5.1.1.1 Circuit diagram



0157a/73

FIGURE 2

$$R_1 = R_5 = 159 \Omega \quad (\text{type disque})$$

$$R_2 = R_4 = 14,2 \Omega \quad (\text{type disque})$$

$$R_3 = R_6 = 66,2 \Omega \quad (\text{type bâtonnet})$$

Tolérance $\pm 1\%$.

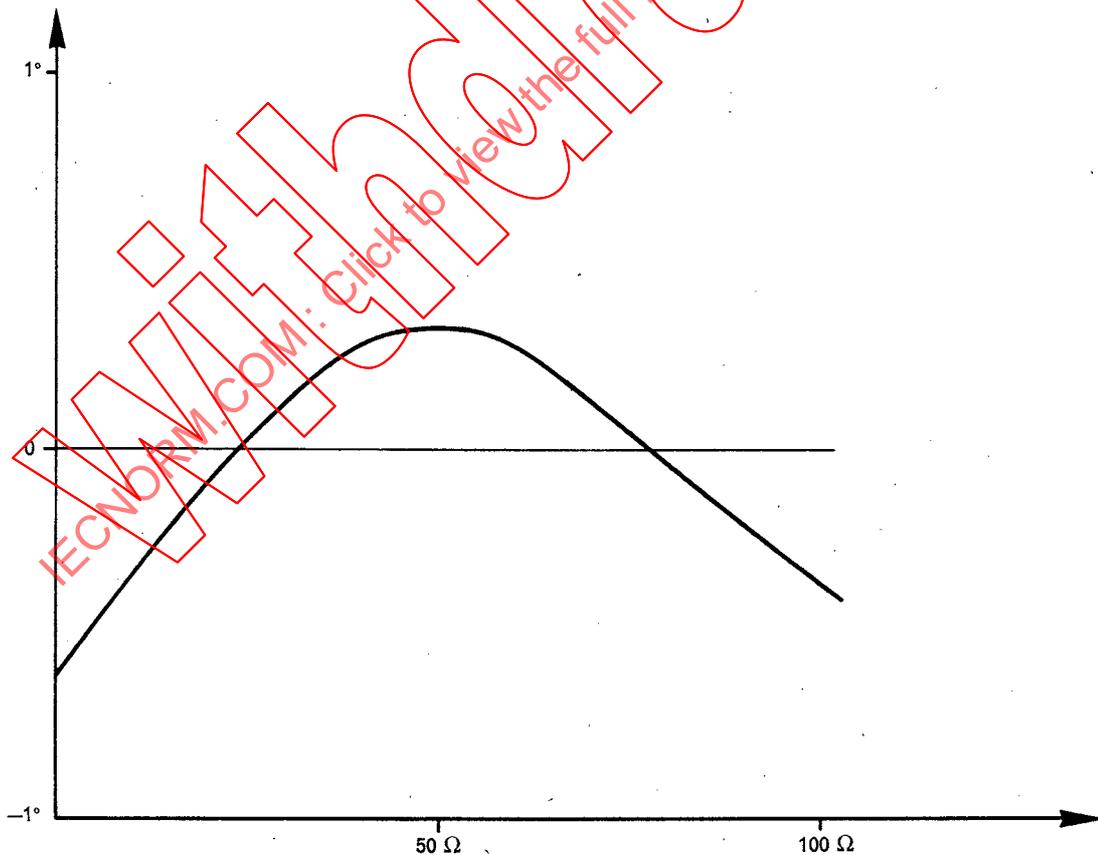
Note. — La fonction du circuit entrée/sortie est double:

- a) adapter l'impédance du cristal aux appareils de mesure associés;
- b) atténuer les réflexions en provenance des appareils de mesures associés.

5.1.1.2 La gamme de fréquence doit être de 1 MHz à 125 MHz.

5.1.1.3 A toute fréquence comprise entre 1 MHz et 125 MHz, la phase mesurée avec une résistance de 75 Ω ne doit pas varier de plus de $\pm 0,2^\circ$ par rapport à la mesure faite avec une résistance de 25 Ω (voir paragraphe 6.1).

A la fréquence de 125 MHz et pour des résistances de 0 Ω à 100 Ω , la phase ne doit pas varier de plus de $\pm 0,5^\circ$ par rapport à la mesure faite avec une résistance de 25 Ω (voir figure 3 ci-dessous et paragraphe 6.1).



0158/73

FIG. 3. — Valeur typique de la courbe phase/résistance, mesurée à 125 MHz.

$$R_1 = R_5 = 159 \Omega \quad (\text{disk type})$$

$$R_2 = R_4 = 14.2 \Omega \quad (\text{disk type})$$

$$R_3 = R_6 = 66.2 \Omega \quad (\text{rod type})$$

Tolerance $\pm 1\%$.

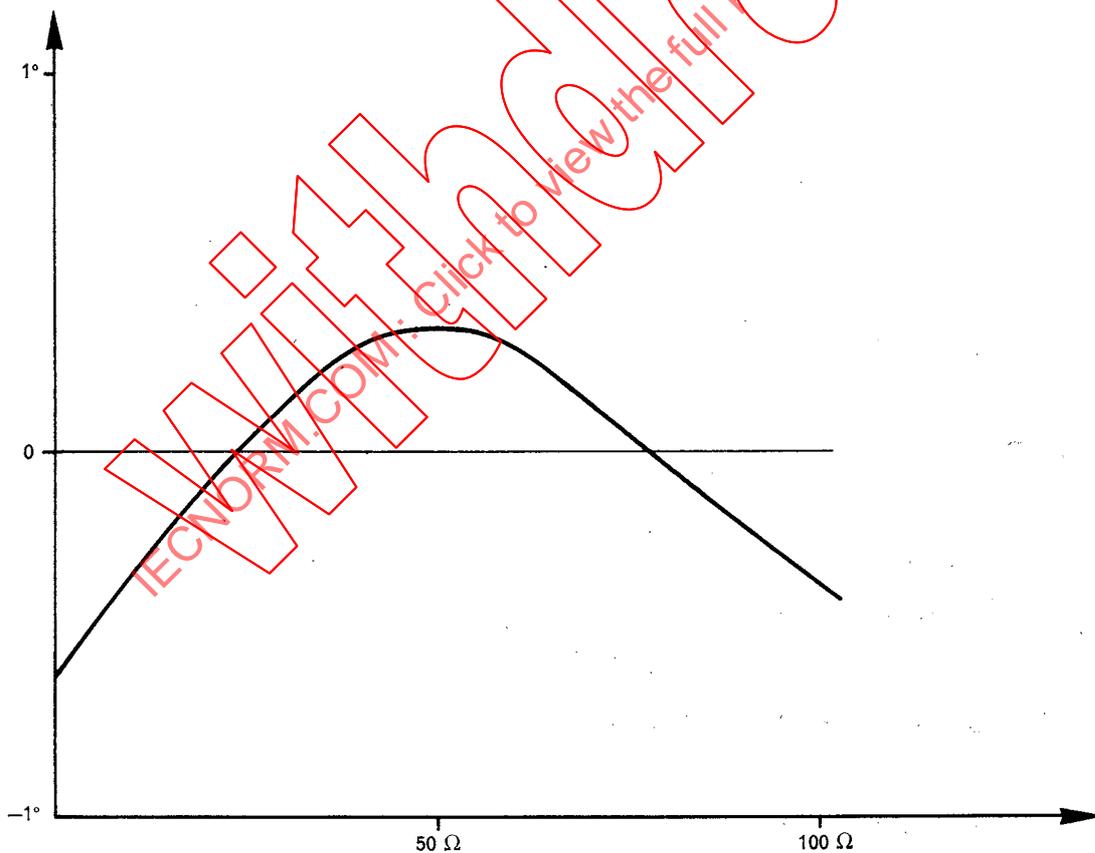
Note. — The function of the input and output pads is twofold:

- a) to match the crystal impedance to the associated equipment;
- b) to attenuate reflections from the associated equipment.

5.1.1.2 The frequency range shall be 1 MHz-125 MHz.

5.1.1.3 At all frequencies between 1 MHz and 125 MHz the phase measured at 75 Ω shall not deviate by more than $\pm 0.2^\circ$ from the phase measured at 25 Ω (see Sub-clause 6.1).

At a frequency of 125 MHz, the phase over the resistance range of 0 Ω -100 Ω shall not deviate by more than $\pm 0.5^\circ$ from the phase measured at 25 Ω (see Figure 3 below and Sub-clause 6.1).



0158/73

FIG. 3. — Typical phase-resistance curve, measured at 125 MHz.

- 5.1.1.4 A la fréquence de 125 MHz, le coefficient de réflexion mesuré avec une lame court-circuit, ayant les dimensions définies au paragraphe 5.2.2, doit être inférieur à 2% dans toute la gamme de températures de -55 °C à $+105\text{ °C}$. L'entrée et la sortie doivent être adaptées sur $50\ \Omega$.
- 5.1.1.5 Mesurée avec la lame métallique court-circuit, décrite au paragraphe 5.2.2, insérée dans le circuit en π , la perte d'insertion dans toute la gamme de fréquence spécifiée doit être de $29,6 \pm 0,3\text{ dB}$.
- 5.1.1.6 La capacité mesurée entre les lames de contact doit être inférieure à 1 pF .
- 5.1.1.7 Avec la résistance de référence de $75\ \Omega$, décrite au paragraphe 5.2.1, insérée dans le circuit en π du banc de mesure de la figure 1, page 8, la variation de phase mesurée à 125 MHz et dans la gamme de températures -55 °C à $+105\text{ °C}$ doit être inférieure à $0,2^\circ$ par rapport à la même mesure faite à $+25\text{ °C}$.
- 5.1.1.8 La résistance entre chaque lame de contact et le corps du circuit en π chargé doit être de $12,5\ \Omega$. La tolérance est définie par les tolérances sur R_1 à R_6 (figure 2, page 8).

5.1.2 *Caractéristiques mécaniques*

Le circuit en π typique qui répond aux caractéristiques électriques du paragraphe 5.1.1 se compose des éléments suivants (voir figure 12, page 32).

- a) Deux atténuateurs résistifs (a) ($14,8\text{ dB}$ chacun) dans un corps métallique, comprenant les résistances R_1 à R_6 (voir figures 2 et 12).
- b) Deux fiches coaxiales ($50\ \Omega$) avec une résistance de contact suffisamment basse.
- c) Deux plaques de contact contre lesquelles sont pressés les broches ou fils de sortie du quartz. Le contact des fils ou broches du quartz s'effectuera au sommet des lames de contact définissant le plan de référence.
- d) Deux ressorts logés dans les blocs de plastique.
- e) Cale d'épaisseur en matière plastique servant à déterminer le plan de référence.
- f) Diélectrique.

- 5.1.1.4 At a frequency of 125 MHz, the reflection coefficient measured with the shorting blank, with the dimensions of Sub-clause 5.2.2, shall be smaller than 2% within the reference temperature range $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$. The output and input shall be terminated with $50\ \Omega$.
- 5.1.1.5 Measured with the shorting metal blank of Sub-clause 5.2.2 in the π -network, the transducer attenuation over the specified frequency range shall be $29.6 \pm 0.3\ \text{dB}$.
- 5.1.1.6 The capacitance between contact plates shall be smaller than $1\ \text{pF}$.
- 5.1.1.7 With the $75\ \Omega$ reference resistor of Sub-clause 5.2.1 in the π -network of the set-up of Figure 1, page 9, the phase is measured over the temperature range $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ at a frequency of 125 MHz. The permissible difference is 0.2° with reference to the value at $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 5.1.1.8 The resistance between the contact plates and body of the terminated π -network shall be $12.5\ \Omega$. The tolerance is defined by the tolerances of R_1 to R_6 (Figure 2, page 9).

5.1.2 *Mechanical specification*

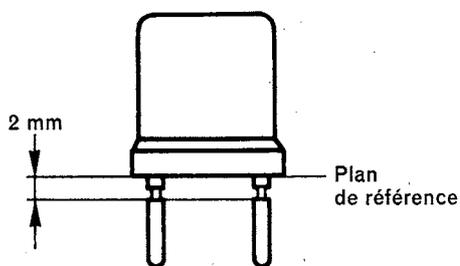
A typical π -network which meets the requirements of Sub-clause 5.1.1 consists of the following parts (see Figure 12, page 32).

- a) Two resistive attenuators (a) ($14.8\ \text{dB}$ each) in a metal body, consisting of resistors R_1 to R_6 (see Figures 2 and 12).
- b) Two coaxial connectors ($50\ \Omega$) with sufficiently low contact resistance.
- c) Two contact plates against which the crystal terminals are pressed. The contacts with the crystal terminals shall be made at the top edges of the contact plates, which serve to define the reference plane.
- d) Two spring-loaded plastic blocks.
- e) Plastic spacer to determine the location of the reference plane.
- f) Dielectric.

5.2 Accessoires du circuit en π

5.2.1 Résistances de référence

Les résistances pour l'étalonnage ont la forme représentée à la figure 4 ci-dessous.



0159/13

Dimensions: voir type DA ou DC de la Publication 122-3C de la CEI.

FIGURE 4

Valeurs des résistances pour l'étalonnage initial: 25 Ω , 50 Ω , 75 Ω et 100 Ω . A 125 MHz, la phase de l'admittance de ces résistances mesurées au plan de référence doit être inférieure à 0,2°.

La résistance de 25 Ω doit aussi satisfaire à ces caractéristiques à 90 MHz. Pour les mesures de fréquence et de résistance (voir paragraphe 6.2), la résistance de 75 Ω doit aussi satisfaire aux caractéristiques décrites ci-dessus, et cela dans toute la gamme de fréquence.

5.2.2 Lame court-circuit

La lame court-circuit est une plaque métallique aux dimensions suivantes: 12 mm \times 10 mm \times 1 mm.

5.3 Appareils de mesure associés

5.3.1 Générateur

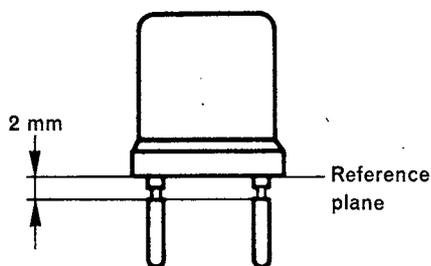
- 5.3.1.1 De chaque côté de la fréquence pour laquelle le générateur est ajusté et à moins de 10% de cette fréquence, la puissance totale de sortie, à part celle relative à la fréquence de réglage, doit être inférieure d'au moins 60 dB au niveau de sortie.

Le niveau des fréquences parasites, harmoniques ou non, en provenance du générateur doit être suffisamment faible pour que la précision du phasemètre n'en soit pas affectée (valeur typique: — 40 dB). La résolution et la stabilité de fréquence du générateur doivent être suffisantes de façon à permettre la mesure d'un quartz à haute surtension (valeur typique meilleure que $1 \cdot 10^{-7}$).

5.2 Accessories of π -network

5.2.1 Reference resistors

The resistors for the calibration are of the shape of Figure 4 below.



0159/73

Dimensions: see Type DA or DC of IEC Publication 122-3C.

FIGURE 4

Resistance values for initial calibration are 25 Ω , 50 Ω , 75 Ω and 100 Ω . At 125 MHz the phase of the admittance of the resistors measured in the reference plane shall be less than 0.2°.

The 25 Ω resistor shall also meet this requirement at 90 MHz. For frequency and resistance measurements (see Sub-clause 6.2), the 75 Ω resistors shall meet the above requirements over the whole frequency range.

5.2.2 Shorting blank

The shorting blank is a metal plate with dimensions 12 mm \times 10 mm \times 1 mm.

5.3 Associated equipment

5.3.1 Generator

5.3.1.1 At both sides of the frequency for which the generator is adjusted and within 10% of that frequency, the total output power, apart from that at the adjusted frequency, shall be at least 60 dB below the main output.

The level of spurious and harmonics from the generator shall be sufficiently low for the accuracy of the phase meter not to be affected (typical value: -40 dB). The frequency resolution and stability of the generator shall be adequate to enable measurements to be carried out on the highest Q crystal under consideration (typical value better than 1.10^{-7}).

5.3.1.2 Le bruit de phase est mesuré à la fréquence de résonance à l'aide du banc de mesure décrit à la figure 1, page 8, avec un quartz haute surtension ($Q > 500\ 000$) inséré dans le circuit en π . Le bruit de phase ne devra pas être supérieur à $0,2^\circ$.

5.3.1.3 Le niveau de sortie maximal doit être au moins égal au niveau d'excitation du quartz à mesurer + 24 dB.

5.3.1.4 Impédance de la source: $50\ \Omega$.

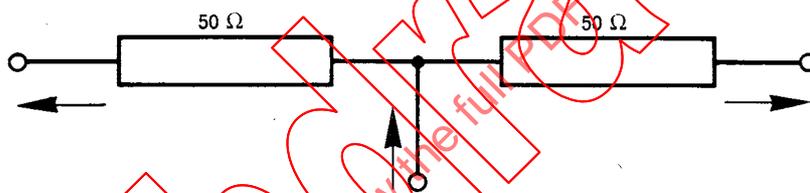
5.3.2 *Atténuateur variable ($50\ \Omega$)*

Peut être incorporé au générateur; nécessaire seulement pour ajuster le niveau d'excitation.

5.3.3 *Circuit en dérivation*

Peut être incorporé au circuit en π .

Son schéma du circuit est:



0160/73

FIGURE 5

5.3.4 *Phasemètre et voltmètre*

Le phasemètre sert d'indicateur de phase. A partir des lectures du voltmètre, les résistances série équivalentes peuvent être déduites.

Les caractéristiques sont décrites aux paragraphes 5.3.4.1 à 5.3.4.4.

5.3.4.1 La variation de phase, lue en fonction du temps (stabilité du zéro) et en fonction de la variation de tension pouvant atteindre un rapport de 1 à 5 au point B, doit être inférieure à $0,2^\circ$.

Note. — Toutes les précautions doivent être prises pour que les harmoniques n'affectent pas la précision de lecture de phase.

5.3.4.2 La sensibilité de mesure au point B doit être au moins égale au niveau d'excitation du cristal: — 25 dB.

5.3.4.3 Les coefficients de réflexion aux bornes des voies A et B doivent être inférieurs à 2%. L'impédance doit être égale à $50\ \Omega$.

5.3.1.2 The phase noise is measured at resonance frequency in the set-up of Figure 1, page 9, with a high Q crystal ($Q > 500\,000$) in the π -network. The indicated phase jitter shall be less than 0.2° .

5.3.1.3 The maximum available output power level shall be at least nominal crystal drive level + 24 dB.

5.3.1.4 Source impedance is $50\,\Omega$.

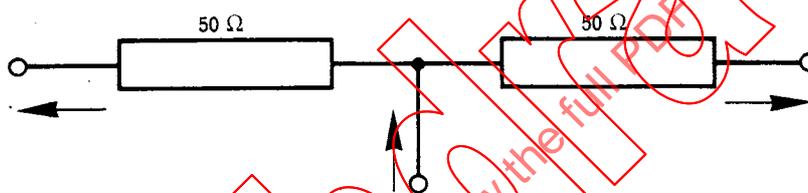
5.3.2 *Variable attenuator ($50\,\Omega$)*

May be incorporated in the generator. Required for drive level adjustment only.

5.3.3 *Power splitter*

May be incorporated in the π -network.

Its circuit diagram is:



0160173

FIGURE 5

5.3.4 *Phase and voltage meter*

The phase meter serves as an indicator. From the voltmeter reading the equivalent series resistance can be deduced.

Requirements are described in Sub-clauses 5.3.4.1 to 5.3.4.4.

5.3.4.1 Phase error at zero reading as a function of time (zero drift) and as a function of voltage change by a factor of 5 measured at channel B shall be less than 0.2° .

Note. — Precautions shall be taken that harmonics do not affect the accuracy of the phase reading.

5.3.4.2 The sensitivity on channel B shall be at least crystal drive level: $-25\,\text{dB}$.

5.3.4.3 The reflection coefficients at A and B channel terminals shall be less than 2%. Impedance is $50\,\Omega$.

5.3.4.4 Le rapport des tensions aux points A et B doit être mesuré avec une précision de 2%.

5.3.5 Câbles

5.3.5.1 Des câbles à double blindage ($50\ \Omega$) qui peuvent fonctionner dans la gamme de températures de $-55\ ^\circ\text{C}$ à $+105\ ^\circ\text{C}$ doivent être utilisés.

5.3.5.2 Les coefficients de réflexion aux bornes des câbles doivent être inférieurs à 5%.

5.3.5.3 Il est préférable de choisir une longueur de câble reliant la sortie du circuit de dérivation à l'entrée du circuit en π de telle sorte que, avec une résistance de $75\ \Omega$ insérée dans le circuit en π , la différence de phase entre la voie A et la voie B à toutes les fréquences comprises dans la gamme 1 MHz à 125 MHz n'excède pas $0,2^\circ$.

5.3.6 Fréquencemètre

La précision et la stabilité du fréquencemètre doivent être supérieures à 1.10^{-8} .

6. Méthode de mesure

6.1 Etalonnage initial du circuit en π

6.1.1 Insérer la résistance de référence de $25\ \Omega$ décrite au paragraphe 5.2.1 dans le circuit en π .

6.1.2 Ajuster la fréquence du générateur à la fréquence de 125 MHz et le niveau de sortie à une valeur bien inférieure au niveau maximal que peut accepter le circuit en π .

6.1.3 Ajuster la lecture de phase à zéro.

6.1.4 Remplacer la résistance de référence de $25\ \Omega$ par la résistance de référence de $75\ \Omega$ spécifiée au paragraphe 5.2.1.

6.1.5 Lire la différence de phase qui doit satisfaire aux exigences du paragraphe 5.1.1.3.

6.1.6 Si le circuit en π ne répond pas aux caractéristiques décrites ci-dessus, il faut procéder à la compensation décrite à l'article 3 de l'annexe.

6.1.7 Répéter les points 6.1.1 à 6.1.5 à la fréquence de 90 MHz.

Note. — Si le circuit en π ne répond pas aux caractéristiques décrites plus haut, cela signifie que les inductances parasites dans le circuit sont trop grandes.

5.3.4.4 The ratio of voltages on channels A and B shall be measured with a precision of 2%.

5.3.5 Cables

5.3.5.1 Double-shielded cables ($50\ \Omega$) capable of withstanding the temperature range of $-55\ ^\circ\text{C}$ to $+105\ ^\circ\text{C}$ shall be used.

5.3.5.2 The reflection coefficients at the cable terminals shall be less than 5%.

5.3.5.3 It is preferable to choose the length of the cables connecting the output of the power splitter to the input of the π -network so that, with a reference resistor of $75\ \Omega$ inserted in the π -network, the phase shift between channels A and B at all frequencies within the range of 1 MHz to 125 MHz is not more than 0.2° .

5.3.6 Frequency meter

The accuracy and stability of the frequency meter shall be better than $1 \cdot 10^{-8}$.

6. Method of measurement

6.1 Initial calibration of π -network

6.1.1 Insert the $25\ \Omega$ reference resistor of Sub-clause 5.2.1 in the π -network.

6.1.2 Adjust the signal generator to a frequency of 125 MHz and adjust the output level to a value well below the maximum permissible power level of the π -network.

6.1.3 Adjust the phase meter to zero reading.

6.1.4 Replace the $25\ \Omega$ reference resistor by the $75\ \Omega$ reference resistor specified in Sub-clause 5.2.1.

6.1.5 Take the phase reading. For phase requirements, see Sub-clause 5.1.1.3.

6.1.6 If the π -network does not fulfil the above requirements, follow the compensation procedure as given in Clause 3 of the appendix.

6.1.7 Repeat steps 6.1.1 to 6.1.5 at a frequency of 90 MHz.

Note. — If the π -network does not fulfil the above requirements, it is an indication that the stray inductances in the network are excessive.

6.1.8 Répéter les points 6.1.1 à 6.1.5 en remplaçant la résistance de référence de 25 Ω par des résistances de 0 Ω, 50 Ω, 75 Ω et 100 Ω respectivement (voir paragraphe 5.1.1.3).

6.1.9 Répéter les points 6.1.1 à 6.1.5. Voir les caractéristiques au paragraphe 5.1.1.7.

6.2 Mesures de la fréquence et de la résistance

6.2.1 Etalonnage préalable.

6.2.1.1 Insérer la lame court-circuit dans le circuit en π.

6.2.1.2 Ajuster le générateur à la fréquence nominale $\pm 0,1\%$ et ajuster le niveau de sortie désigné à + 24 dB du niveau d'excitation du cristal, sauf spécification contraire.

Note. — D'autres explications sont fournies au paragraphe 2.1 de l'annexe.

6.2.1.3 Relever les tensions mesurées au point A et au point B, respectivement V_{As} et V_{Bs} . Calculer:

$$K = \frac{V_{Bs}}{V_{As}}$$

6.2.2 Mesures

6.2.2.1 Insérer une résistance de référence de 75 Ω dans le circuit en π.

6.2.2.2 Ajuster la lecture de phase à zéro.

6.2.2.3 Remplacer la résistance de référence par le quartz à mesurer avec une mise à la masse du boîtier ou mise en place du blindage, selon le cas.

6.2.2.4 Ajuster la fréquence pour obtenir une lecture de phase nulle.

6.2.2.5 Lire la fréquence.

6.2.2.6 Relever les tensions lues en voies A et B respectivement V_{Ac} et V_{Bc} .

6.2.2.7 La résistance équivalente peut être calculée par la formule:

$$R_r = \left(K \frac{V_{Ac}}{V_{Bc}} - 1 \right) \cdot 25.$$

6.1.8 Repeat steps 6.1.1 to 6.1.5 replacing the 25 Ω reference resistor by 0 Ω, 50 Ω, 75 Ω and 100 Ω respectively (see Sub-clause 5.1.1.3).

6.1.9 Repeat steps 6.1.1 to 6.1.5. For requirements, see Sub-clause 5.1.1.7.

6.2 Frequency and resistance measurement

6.2.1 Initial calibration.

6.2.1.1 Insert the shorting blank in the π-network.

6.2.1.2 Adjust the signal generator to nominal frequency $\pm 0.1\%$ and adjust the required power level to crystal drive level + 24 dB, unless otherwise specified.

Note. — Further explanation is given in Sub-clause 2.1 of the appendix.

6.2.1.3 Take the A and B channel voltage readings, V_{As} and V_{Bs} respectively. Calculate:

$$K = \frac{V_{Bs}}{V_{As}}$$

6.2.2 Measurement

6.2.2.1 Insert the 75 Ω reference resistor in the π-network.

6.2.2.2 Adjust the phase meter to zero phase reading.

6.2.2.3 Replace the reference resistor by the crystal unit and earth the metal holder or shield, whichever is applicable.

6.2.2.4 Adjust the frequency for zero phase reading.

6.2.2.5 Read frequency.

6.2.2.6 Take A and B channel voltage readings V_{Ac} and V_{Bc} respectively.

6.2.2.7 The equivalent resistance can be calculated from the formula:

$$R_r = \left(K \frac{V_{Ac}}{V_{Bc}} - 1 \right) \cdot 25.$$

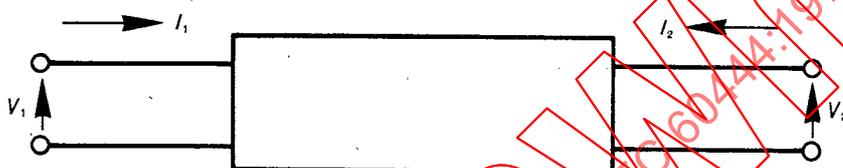
ANNEXE

INFORMATION SUPPLÉMENTAIRE RELATIVE À LA PRÉCISION

1. Analyse des mesures

1.1 Le quartz piézoélectrique est considéré comme un circuit à 3 bornes.

En général, un réseau tripôle (voir figure 6 ci-dessous) peut être déterminé par une matrice d'admittance comme suit:



0161/73

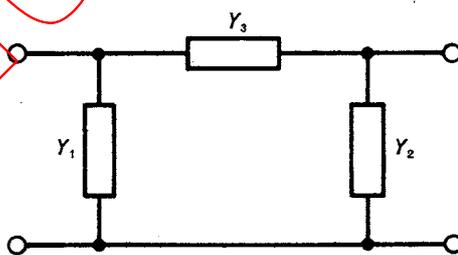
FIGURE 6

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2$$

$$Y_{12} = Y_{21} \text{ pour un réseau réciproque.}$$

Si le réseau est un π (voir figure 7 ci-dessous), la matrice devient:



0162/73

FIGURE 7

$$Y_{11} = Y_1 + Y_3$$

$$Y_{22} = Y_2 + Y_3$$

$$Y_{12} = Y_{21} = - Y_3 \text{ admittance de transfert.}$$

APPENDIX

ADDITIONAL INFORMATION ON ACCURACY

1. Analysis of the measurement

1.1 A piezoelectric quartz crystal unit can be considered as a 3-terminal network.

In general, a 3-terminal network (see Figure 6 below) can be described by the admittance matrix:

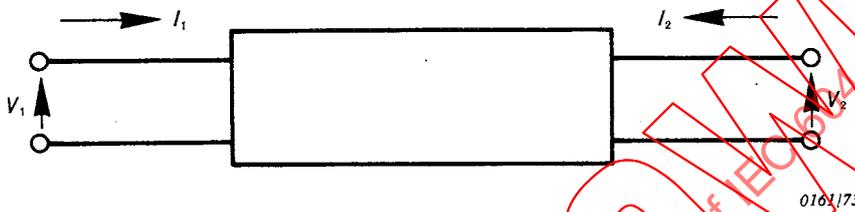


FIGURE 6

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2$$

$$Y_{12} = Y_{21} \text{ for a reciprocal network.}$$

If the network is a π (see Figure 7 below), the matrix is:

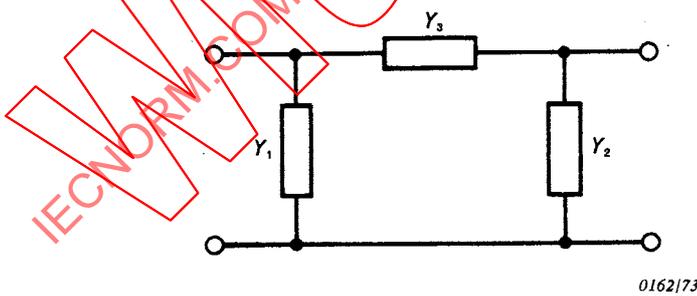


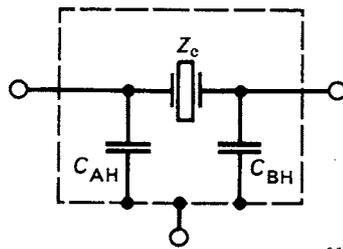
FIGURE 7

$$Y_{11} = Y_1 + Y_3$$

$$Y_{22} = Y_2 + Y_3$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -Y_3 \text{ transfer admittance.}$$

Appliqué à un quartz piézoélectrique, le réseau devient:



0163173

FIGURE 8

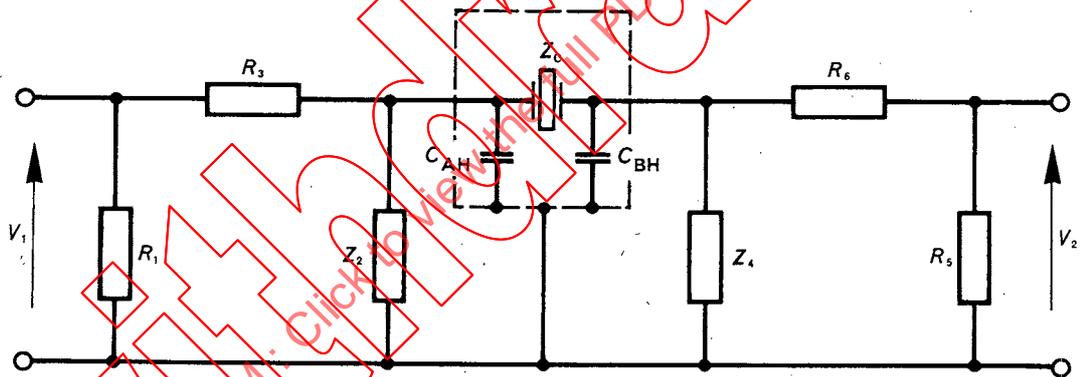
$$Y_1 = j\omega C_{AH}$$

$$Y_2 = j\omega C_{BH}$$

$$Y_3 = 1/Z_c$$

$Z_c =$ impédance du cristal si $C_{AH} = C_{BH} = 0$.

1.2. Réseau en π



01576173

FIGURE 9

La tension de transfert est:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_5}{R_5 + R_6} \cdot \frac{1}{R_3 \cdot A_2 \cdot A_4} \cdot \frac{1}{Z_c + \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_4}}$$

dans laquelle:

$$A_2 = 1/Z_2 + 1/R_3 + j\omega C_{AH} \text{ et } A_4 = 1/Z_4 + 1/(R_5 + R_6) + j\omega C_{BH}.$$

Apparemment le quartz est chargé par une impédance série.

$$1/A_2 + 1/A_4 = Z_s.$$

Applied to a crystal unit, the network is:

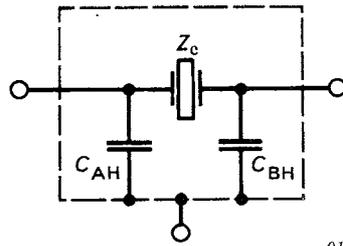


FIGURE 8

$$Y_1 = j\omega C_{AH}$$

$$Y_2 = j\omega C_{BH}$$

$$Y_3 = 1/Z_c$$

$Z_c =$ crystal impedance if $C_{AH} = C_{BH} = 0$.

1.2 π -network

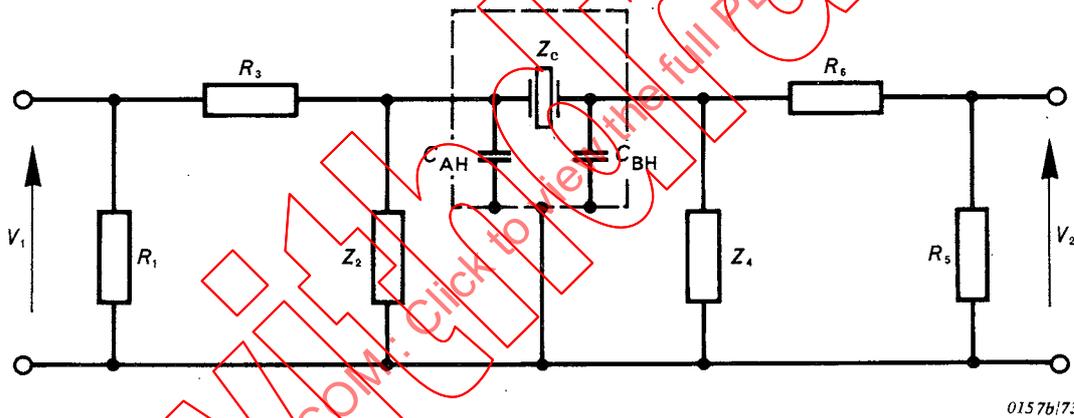


FIGURE 9

The voltage transfer is:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_5}{R_5 + R_6} \cdot \frac{1}{R_3 \cdot A_2 \cdot A_4} \cdot \frac{1}{Z_c + \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_4}}$$

in which:

$$A_2 = 1/Z_2 + 1/R_3 + j\omega C_{AH} \quad \text{and} \quad A_4 = 1/Z_4 + 1/(R_5 + R_6) + j\omega C_{BH}$$

Apparently the crystal unit is loaded with a series impedance.

$$1/A_2 + 1/A_4 = Z_s$$

Pour les besoins de la présente recommandation, toutes les réactances parasites ont été considérées comme étant réparties dans les impédances Z_2 et Z_4 .

2. Précision de la mesure

Bien que le banc de mesure décrit fournisse une très bonne précision, trois sources d'erreurs mineures subsistent :

2.1 Variation du niveau d'excitation

En général, la fréquence de résonance et la RSE d'un quartz piézoélectrique dépendent du niveau d'excitation. L'importance de cet effet est déterminée par le quartz à mesurer.

Cependant, les caractéristiques du circuit en π sont telles qu'une variation de la RSE influence très peu le niveau d'excitation (voir figure 10 ci-dessous).

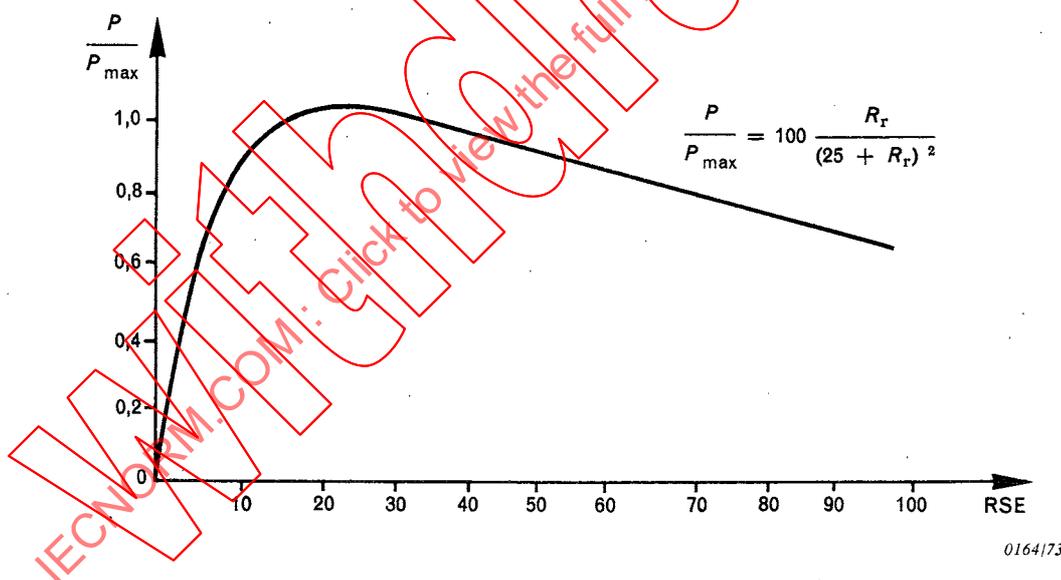


FIGURE 10

Par exemple, une variation de la RSE de $9,5 \Omega$ à $65,5 \Omega$ produit une variation de 20% du niveau d'excitation, ce qui, dans la plupart des cas, est acceptable.

Pour des cristaux avec des RSE très élevées ou très faibles, le niveau d'excitation peut être ajusté en tenant compte de la figure 10, si nécessaire.