

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

444-1

Deuxième édition
Second edition
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

**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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 444-1: 1986

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 auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

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 from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

444-1

Deuxième édition
Second edition
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

**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

© CEI 1986 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

S

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Définition de la fréquence de résonance	6
3. Plan de référence et caisse de blindage	8
4. Principe de mesure	8
5. Circuit de mesure	8
5.1 Réseau en π	10
5.2 Accessoires du circuit en π	14
5.3 Appareils de mesure associés	14
6. Méthode de mesure	20
6.1 Etalonnage initial du circuit en π	20
6.2 Mesures de la fréquence et de la résistance	22
ANNEXE A — Information supplémentaire relative à la précision	24

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-1:1986

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Definition of resonance frequency	7
3. Reference plane and shielding box	9
4. Principle of measurement	9
5. Measuring circuit	9
5.1 The π -network	11
5.2 Accessories of the π -network	15
5.3 Associated equipment	15
6. Method of measurement	21
6.1 Initial calibration of the π -network	21
6.2 Frequency and resistance measurement	23
APPENDIX A — Additional information on accuracy	25

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60444-1:1986

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**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**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 49 de la C E I: Dispositifs piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Cette deuxième édition remplace la première édition de la Publication 444 (1973) de la C E I.

La présente norme constitue la première partie d'une série de publications traitant de la mesure des paramètres des quartz piézoélectriques par la technique de phase nulle dans le circuit en π .

La deuxième partie: Méthode de décalage de phase pour la mesure de la capacité dynamique des quartz, est parue comme Publication 444-2 (1980) de la C E I.

La troisième partie, comprenant la méthode fondamentale pour la mesure des paramètres à deux pôles des résonateurs à quartz à la fréquence jusqu'à 200 MHz par la technique de phase dans le circuit en π avec une compensation de la capacité parallèle C_0 , paraîtra comme Publication 444-3 de la C E I.

La quatrième partie, comprenant la méthode pour la mesure de la fréquence de résonance à la charge f_L , et de la résistance de résonance à la charge R_L , du décalage de la fréquence de résonance à la charge Δf_L , de la gamme de décalage de la fréquence $\Delta f_{L1, L2}$ et de la sensibilité de fréquence relative S , paraîtra comme Publication 444-4 de la C E I.

Le texte de cette norme est issu de la Publication 444 (première édition, 1973) de la CEI, avec des modifications contenues dans les documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
49(BC)141	49(BC)152

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

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

PREFACE

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

This second edition replaces the first edition of IEC Publication 444 (1973).

This standard forms Part 1 of a series of publications dealing with the measurement of quartz crystal unit parameters by zero phase technique in a π -network.

Part 2: Phase Offset Method for Measurement of Motional Capacitance of Quartz Crystal Units, issued as IEC Publication 444-2 (1980).

Part 3, containing a 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 , will be issued as IEC Publication 444-3.

Part 4 containing a method for the measurement of load resonance frequency f_L , load resonance resistance R_L , load resonance frequency offset Δf_L , frequency pulling range $\Delta f_{L1, L2}$ and pulling sensitivity S , will be issued as IEC Publication 444-4.

The text of this standard is based on IEC Publication 444 (first edition 1973) with the amendments contained in the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
49(CO)141	49(CO)152

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

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

1. Domaine d'application

La présente norme définit une méthode simple de mesure de la fréquence de résonance et de la résistance de résonance des résonateurs à quartz et décrit un circuit de mesure convenable.

La méthode de mesure et le circuit de mesure sont appropriés à l'utilisation dans une gamme de fréquence de 1 MHz à 200 MHz avec une précision relative de fréquence de l'ordre de 10^{-6} et une reproductibilité se situant entre 10^{-6} et 10^{-8} , suivant le type de quartz à mesurer, et une précision de la mesure de la résistance de résonance de $\pm 2\%$ à $\pm 5\%$ selon la précision de la mesure de tension.

Au-dessus de 100 MHz environ, l'utilisation de cette méthode de mesure est toutefois limitée par les effets de la capacité parallèle C_0 du résonateur à quartz essayé. Pour donner la possibilité d'utiliser cette méthode de mesure dans ces conditions, il est recommandé d'utiliser une certaine méthode de compensation de C_0 .

Une méthode de compensation de C_0 sera publiée dans la Publication 444-3 de la CEI comme rapport de la CEI.

Note. — Des modifications ont été apportées au système et au circuit de mesure dont il est question dans cette norme, afin que les objectifs que l'on s'est fixés puissent être atteints. Elles n'invalident pas, cependant, le circuit fabriqué conformément à la première édition. Ces circuits sont encore acceptables comme méthode normalisée internationale pour la mesure de la fréquence de résonance f_r et de la résistance de résonance R_r .
Si les résistances de référence décrites dans cette norme sont légèrement modifiées pour permettre leur insertion dans les circuits fabriqués conformément à la première édition de la Publication 444, alors le problème d'obtention des résistances de référence satisfaisantes est résolu.

2. Définition de la fréquence de résonance

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 A1.1 de l'annexe A.

Le boîtier est considéré comme pôle commun.

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

La fréquence de résonance 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 de résonance est $1/G_{12} = R_r$.

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

1. Scope

This standard specifies a simple method of measurement of resonance frequency and resonance resistance of quartz crystal units and describes a suitable measuring network.

The measuring method and the network are suitable for use over the frequency range 1 MHz to 200 MHz with a fractional frequency accuracy of the order of 10^{-6} with a reproducibility of 10^{-6} to 10^{-8} depending on the type of crystal unit being measured, and an accuracy of the measurement of resonance resistance of $\pm 2\%$ to $\pm 5\%$ depending on the accuracy of the voltage measurement.

However, above approximately 100 MHz the use of this measuring method is limited by the effects of the shunt capacitance C_0 of the crystal unit under test. To enable the measuring method to be used under these conditions, the use of some method of C_0 compensation is advisable.

A method of C_0 compensation will be issued in IEC Publication 444-3 as an IEC report.

Note. — The modifications to the measuring system and network contained in this standard have been introduced to ensure that the claims contained within it are achievable. They do not, however, invalidate the network produced according to the first edition. These networks are still acceptable as an international standard method of measurement of resonance frequency f_r and resonance resistance R_r .
If the reference resistors described in the standard are slightly modified to allow insertion into networks manufactured according to the first edition of Publication 444 then the problem of obtaining satisfactory reference resistors is solved.

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 A1.1 of Appendix A.

The enclosure is considered as the common terminal.

For glass enclosures, 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 resonance resistance is $1/G_{12} = R_r$.

3. Plan de référence et caisse de blindage

Pour tenir compte de l'inductance des connexions d'un résonateur à quartz, il est nécessaire de définir un plan de référence auquel les mesures doivent être effectuées. 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 × 40 mm (plan de base = plan de référence) et fermée au sommet. Le quartz piézoélectrique doit être placé au centre du plan de base de la caisse de blindage.

4. Principe de mesure

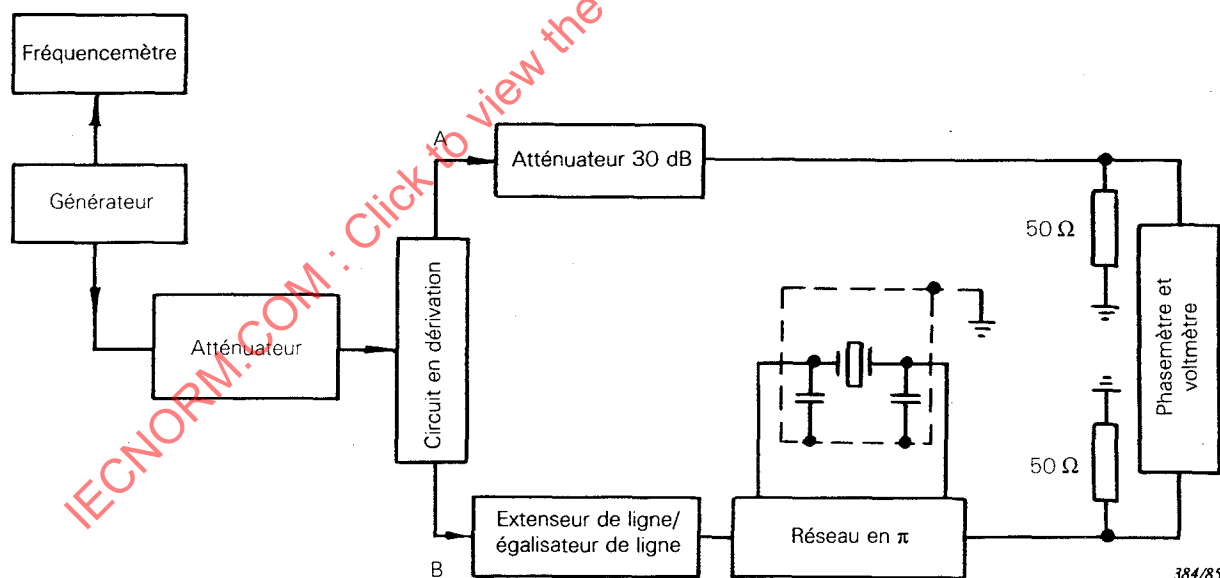
La mesure se réduit à la mesure de l'impédance d'un dipôle par insertion du quartz piézoélectrique dans un réseau en π (voir figure 1).

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 circuit en π . La valeur de la résistance de résonance 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).



Notes 1. — L'atténuateur de 30 dB peut être souhaitable dans la voie A avec certains phasemètres et voltmètres.

2. — L'extenseur de ligne avec une impédance constante peut être souhaitable dans la voie B pour faciliter d'égalisation de la longueur électrique des câbles de connexion. (Un « extenseur de ligne » de longueur variable est un dispositif égalisant la phase avec une impédance constante.)

3. — Lorsqu'on utilise certains oscillateurs, il peut être souhaitable d'utiliser un filtre pour réduire une distorsion harmonique au niveau spécifié au paragraphe 5.3.1.1.

FIGURE 1

3. Reference plane and shielding box

Because of lead inductance of the crystal unit it is necessary 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 enclosures is a metal shielding box with internal dimensions 27 mm in height and the base plane of 40 mm × 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

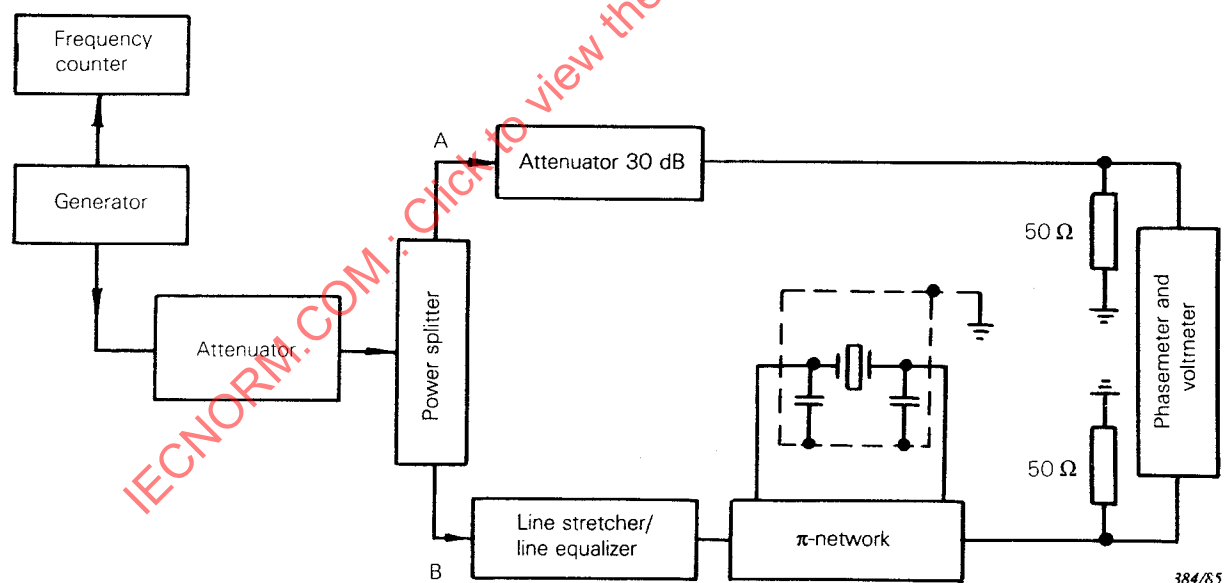
The measurement is reduced to a 2-terminal impedance measurement by inserting the crystal unit in a π -network (see Figure 1).

The phase of the crystal transfer admittance is indicated on a phasemeter 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 resonance resistance can be calculated from the voltage readings on channels A and B.

5. Measuring circuit

The measuring circuit consists basically of a π -network connected with coaxial cables to the associated equipment (see Figure 1).



- Notes 1. — The 30 dB attenuator in channel A may be desirable with certain phasemeters and voltmeters.
2. — The line stretcher of constant impedance in channel B may be desirable for case of equalizing the electrical length of the connecting cables. (A "line stretcher" with variable length is a phase equalizing device of constant impedance.)
3. — When using some generators it may be advisable to use a filter to reduce the harmonic distortion to the level specified in Sub-clause 5.3.1.1.

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

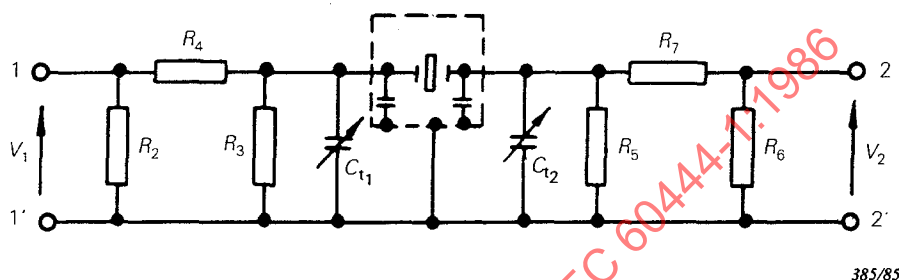


FIGURE 2

$R_2 = R_6 = 159 \, \Omega$ (type disque)

$R_3 = R_5 = 14,2 \, \Omega$ (type disque)

$R_4 = R_7 = 66,2 \, \Omega$ (type bâtonnet)

Tolérance $\pm 1 \%$

$C_1 = C_2 = 0,5 \, \text{pF}$ à $5 \, \text{pF}$ (condensateur ajustable d'appoint à air)

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 mesure associés.

5.1.1.2 La gamme de fréquences doit être de 1 MHz à 200 MHz.

5.1.1.3 Le rapport logarithmique des tensions respectives dans la voie B avec et sans lame court-circuit insérée dans le circuit en π est nommé «affaiblissement diaphonique» de banc de mesure du circuit en π . L'affaiblissement diaphonique, a_c (en décibels) est égal à:

$$a_c = 20 \log \frac{V_{Bs}}{V_{Bo}},$$

où V_{Bs} est la tension dans la voie B avec une lame court-circuit insérée dans le réseau en π et où V_{Bo} est la tension dans la voie B avec la lame court-circuit enlevée du circuit en π . L'affaiblissement diaphonique mesuré à la fréquence de 100 MHz dans le circuit de mesure, conformément à la figure 1, page 8, doit être $\geq 60 \, \text{dB}$.

5.1.1.4 A toutes les fréquences comprises entre 1 MHz et 200 MHz, la phase mesurée avec une résistance de $75 \, \Omega$ ne doit pas dévier de plus de $\pm 0,2^\circ$ par rapport à la phase mesurée avec une résistance de $25 \, \Omega$ dans le circuit de mesure représenté à la figure 1 (voir paragraphe 6.1).

A la fréquence de 200 MHz et pour les résistances de $15 \, \Omega$ à $100 \, \Omega$, la phase mesurée ne doit pas dévier de plus de $\pm 0,5^\circ$ par rapport à la phase mesurée avec une résistance de $25 \, \Omega$ dans le circuit de mesure représenté à la figure 1 (voir figure 3, page 12, et paragraphe 6.1).

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

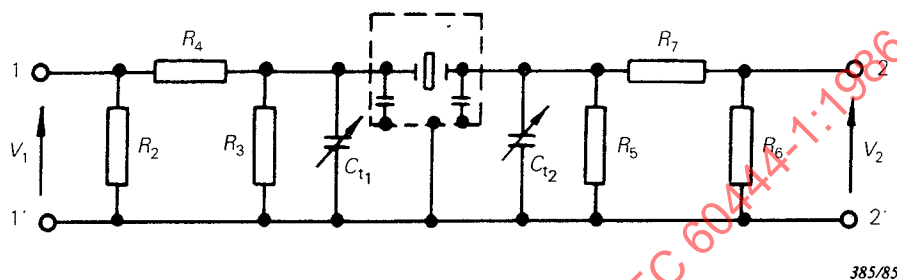


FIGURE 2

$R_2 = R_6 = 159 \, \Omega$ (disk type)

$R_3 = R_5 = 14.2 \, \Omega$ (disk type)

$R_4 = R_7 = 66.2 \, \Omega$ (rod type)

Tolerance $\pm 1\%$

$C_{t1} = C_{t2} = 0.5 \, \text{pF}$ to $5 \, \text{pF}$ (air trimmer)

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 to 200 MHz.

5.1.1.3 The logarithmic ratio of the respective voltages at the B-channel with and without the shorting blank inserted in the π -network is termed the “cross-talk attenuation” of the π -network test set-up. The cross-talk attenuation a_c (in decibels) is given by the expression:

$$a_c = 20 \log \frac{V_{Bs}}{V_{Bo}},$$

where V_{Bs} is the voltage at the B-channel with the shorting blank inserted into the π -network and V_{Bo} is the voltage at the B-channel with the shorting blank removed from the π -network. Measured at a frequency of 100 MHz in the measuring circuit according to Figure 1, page 9, the cross-talk attenuation shall be $\geq 60 \, \text{dB}$.

5.1.1.4 At all frequencies between 1 MHz and 200 MHz the phase measured at $75 \, \Omega$ shall not deviate by more than $\pm 0.2^\circ$ from the phase measured at $25 \, \Omega$ in the measuring circuit according to Figure 1 (see Sub-clause 6.1).

At a frequency of 200 MHz, the phase over the resistance range $15 \, \Omega$ to $100 \, \Omega$ shall not deviate by more than $\pm 0.5^\circ$ from the phase measured at $25 \, \Omega$ in the measuring circuit according to Figure 1 (see Figure 3, page 13, and Sub-clause 6.1).

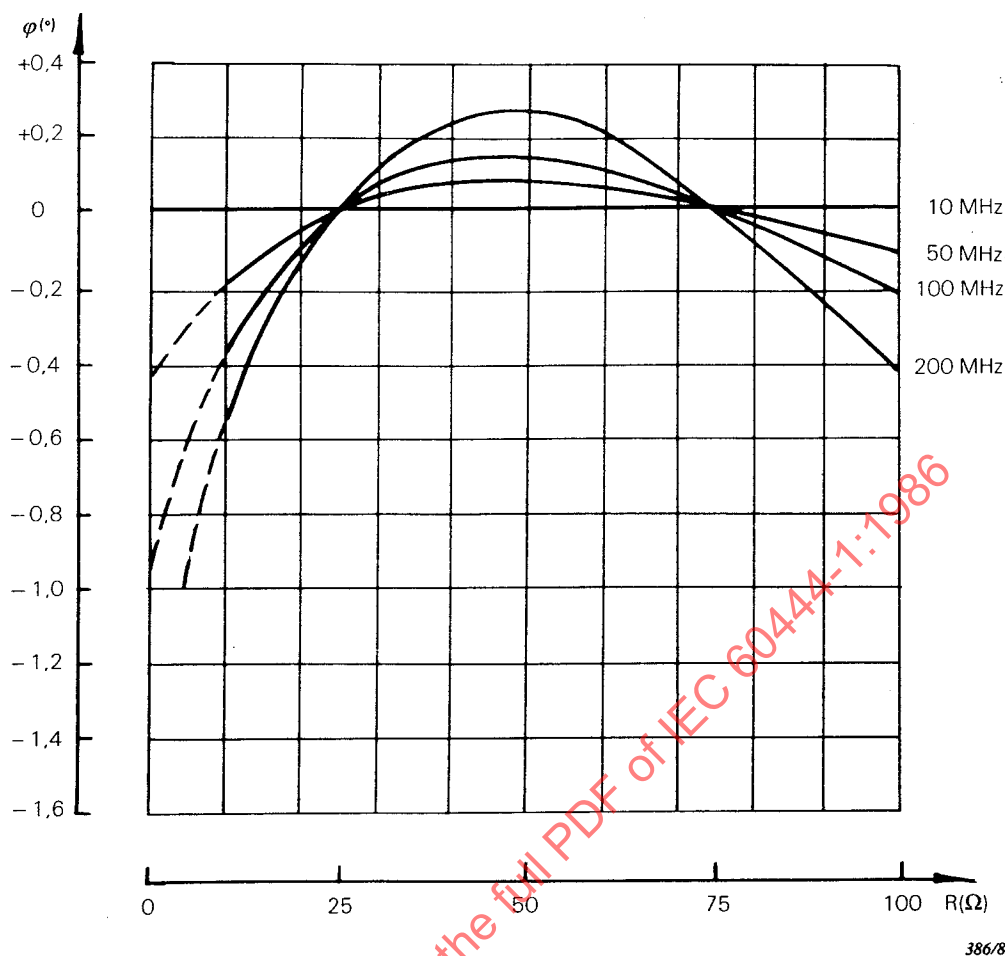


FIG. 3. – Graphique de la différence de phase par rapport à la phase mesurée à 25 Ω en fonction de la valeur des résistances de référence de 0 à 100 Ω , mesurée aux fréquences de 10 MHz, 50 MHz, 100 MHz et 200 MHz. Circuit de mesure conforme à celui de la figure 1, page 8.

- 5.1.1.5 A tous les niveaux d'excitation compris entre 5 μ W et 5 mW la phase mesurée avec une résistance de 25 Ω ne doit pas varier de plus de $\pm 0,5^\circ$, dans la gamme de fréquence de 1 MHz à 200 MHz, par rapport à la phase mesurée à 0,5 mW dans le circuit de mesure représenté à la figure 1.
- 5.1.1.6 A toutes les fréquences comprises entre 1 MHz et 200 MHz, la résistance de la résistance de référence de 25 Ω ne doit pas dévier de plus de 2 % par rapport à la valeur mesurée à la fréquence de 1 MHz dans le circuit de mesure représenté à la figure 1.
- 5.1.1.7 A la fréquence de 200 MHz, le coefficient de réflexion mesuré avec une lame court-circuit, ayant les dimensions définies au paragraphe 5.2.2, doit être inférieur à 5 % dans toute la gamme de températures de référence de -55°C à $+105^\circ\text{C}$. L'entrée et la sortie doivent être adaptées sur 50 Ω .
- 5.1.1.8 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 $29,6 \pm 0,3$ dB.
- 5.1.1.9 La capacité parasite entre les lames de contact doit être inférieure à 0,05 pF.

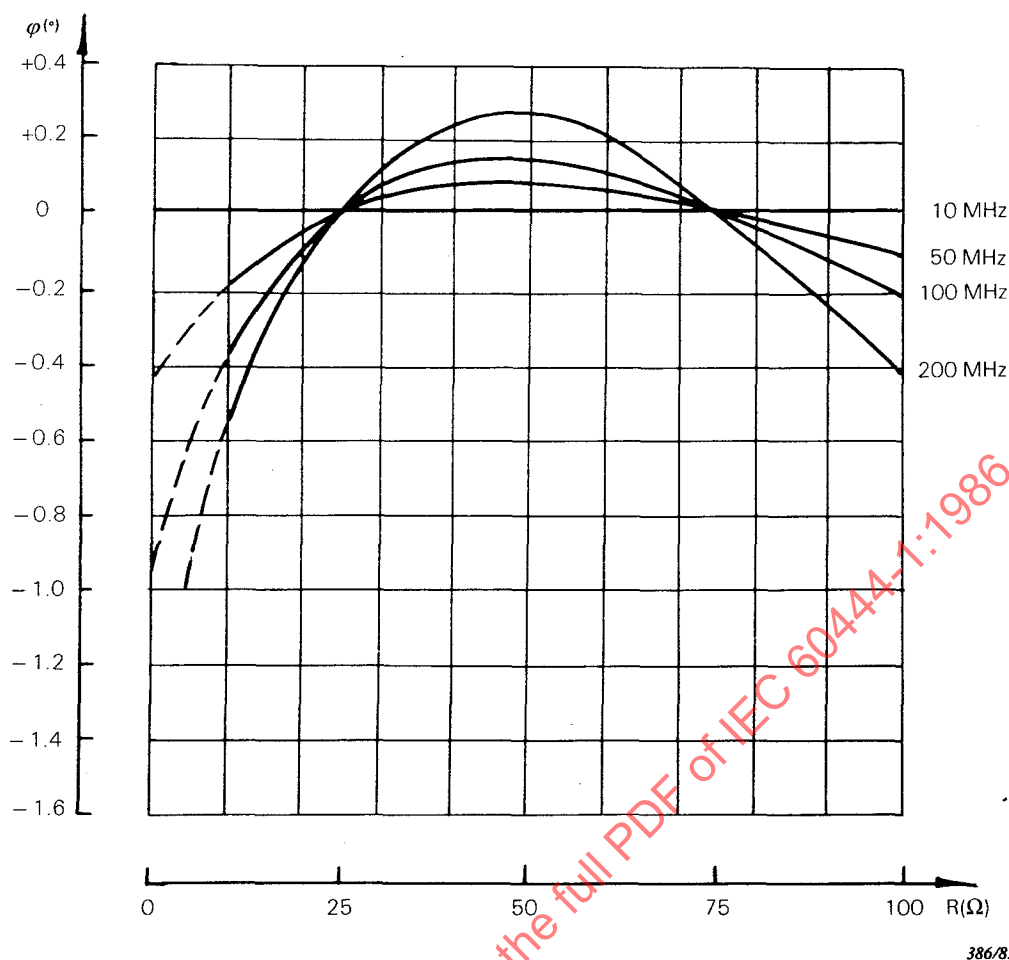


FIG. 3. – Plot showing the phase change from the value at 25 Ω versus reference resistor values from 0 to 100 Ω at 10 MHz, 50 MHz, 100 MHz and 200 MHz. Measuring circuit according to Figure 1, page 9.

- 5.1.1.5 At all levels of drive between 5 μW and 5 mW the phase measured at 25 Ω shall not deviate by more than $\pm 0.5^{\circ}$ over the frequency range 1 MHz to 200 MHz from the phase measured at 0.5 mW in the measuring circuit according to Figure 1.
- 5.1.1.6 At all frequencies between 1 MHz and 200 MHz the resistance of the 25 Ω reference resistor shall not deviate by more than 2% from the value measured at 1 MHz in the measuring circuit according to Figure 1.
- 5.1.1.7 At a frequency of 200 MHz, the reflection coefficient measured with the shorting blank having the dimensions of Sub-clause 5.2.2 shall be less than 5% within the reference temperature range -55°C to $+105^{\circ}\text{C}$. The output and input shall be terminated within 50 Ω .
- 5.1.1.8 Measured with the shorting metal blank of Sub-clause 5.2.2 in the π -network, the insertion attenuation over the specified frequency range shall be 29.6 ± 0.3 dB.
- 5.1.1.9 The stray capacitance between contact plates shall be smaller than 0.05 pF.

5.1.1.10 Avec la résistance de référence de $25\ \Omega$ décrite au paragraphe 5.2.1, insérée dans le circuit en π du banc de mesure de la figure 1, page 8, la phase est mesurée à 200 MHz et dans la gamme de températures de $-55\ ^\circ\text{C}$ à $+105\ ^\circ\text{C}$. Une différence de $\pm 0,2^\circ$ est autorisée par rapport à la valeur obtenue à $+25\ ^\circ\text{C}$.

5.1.1.11 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 des tolérances sur R_2 à R_7 (figure 2, page 10).

5.1.2 Spécifications mécaniques

Les circuits en π typiques qui répondent aux spécifications électriques du paragraphe 5.1.1 se composent des éléments suivants (voir figures A9 à A13, pages 36 à 42).

- Deux atténuateurs résistifs ($14,8\ \text{dB}$ chacun) dans un corps métallique, comprenant les résistances R_2 à R_7 (voir figure 2).
- Deux fiches coaxiales ($50\ \Omega$) avec une résistance de contact suffisamment basse.
- Deux plaques de contact contre lesquelles sont pressés les broches ou fils de sortie du résonateur à quartz. Le contact des fils ou broches du résonateur à quartz s'effectuera au sommet des lames de contact définissant le plan de référence.
- Deux ressorts logés dans les blocs de plastique.
- Cale d'épaisseur en matière plastique servant à déterminer le plan de référence.
- Diélectrique.
- Deux condensateurs de précision, à air, ajustables, haute fréquence, ayant une valeur de $0,5\ \text{pF}$ à $5\ \text{pF}$, C_{t1} et C_{t2} (voir figure 2).

5.2 Accessoires du circuit en π

5.2.1 Résistances de référence

Les résistances utilisées pour l'étalonnage sont indiquées à la figure 4, page 16.

Les valeurs des résistances pour l'étalonnage initial sont les suivantes: $15\ \Omega$, $25\ \Omega$, $50\ \Omega$, $75\ \Omega$ et $100\ \Omega$. Tolérance courant continu de la résistance: $\pm 1\%$.

5.2.2 Lame court-circuit

La lame court-circuit est une plaque métallique aux dimensions suivantes: $12\ \text{mm} \times 10\ \text{mm} \times 1\ \text{mm}$ (voir figure 4).

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 qui est relative à la fréquence de réglage, doit être inférieure d'au moins 60 dB au niveau de sortie.

Le niveau des oscillations 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: $-40\ \text{dB}$). La résolution et la stabilité de fréquence du générateur doivent être suffisantes de façon à permettre la mesure d'un résonateur à quartz à haut facteur de qualité (valeur typique meilleure que $1 \cdot 10^{-7}$).

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 avec un résonateur à quartz à haut facteur de qualité ($Q > 500\ 000$) inséré dans le circuit en π . Le bruit de phase ne doit pas être supérieur à $0,2^\circ$.

5.1.1.10 With the 25 Ω reference resistor of Sub-clause 5.2.1 in the π -network set-up as 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 200 MHz. The permissible difference is $\pm 0.2^{\circ}$ with reference to the value at $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.1.1.11 The resistance between the contact plates and the body of the terminated π -network shall be 12.5 Ω . The tolerance is defined by the tolerances of R_2 to R_7 (Figure 2, page 11).

5.1.2 Mechanical specification

Typical π -networks which meet the requirements of Sub-clause 5.1.1 consist of the following parts (see Figures A9 to A13, pages 37 to 43).

- a) Two resistive attenuators (14.8 dB each) in a metal body, consisting of resistors R_2 to R_7 (see Figure 2).
- b) Two coaxial connectors (50 Ω) 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 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.
- g) Two high-frequency precision air trimmers 0.5 pF to 5 pF C_{t1} and C_{t2} (see Figure 2).

5.2 Accessories of the π -network

5.2.1 Reference resistors

The resistors used for calibration are as shown in Figure 4, page 17.

Resistance values for initial calibration are 15 Ω , 25 Ω , 50 Ω , 75 Ω and 100 Ω . D.C. resistance tolerance: $\pm 1\%$.

5.2.2 Shorting blank

The shorting blank is a metal plate with dimensions 12 mm $\times$ 10 mm $\times$ 1 mm (see Figure 4).

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 oscillations and harmonics from the generator shall be sufficiently low for the accuracy of the phasemeter 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 $1 \cdot 10^{-7}$).

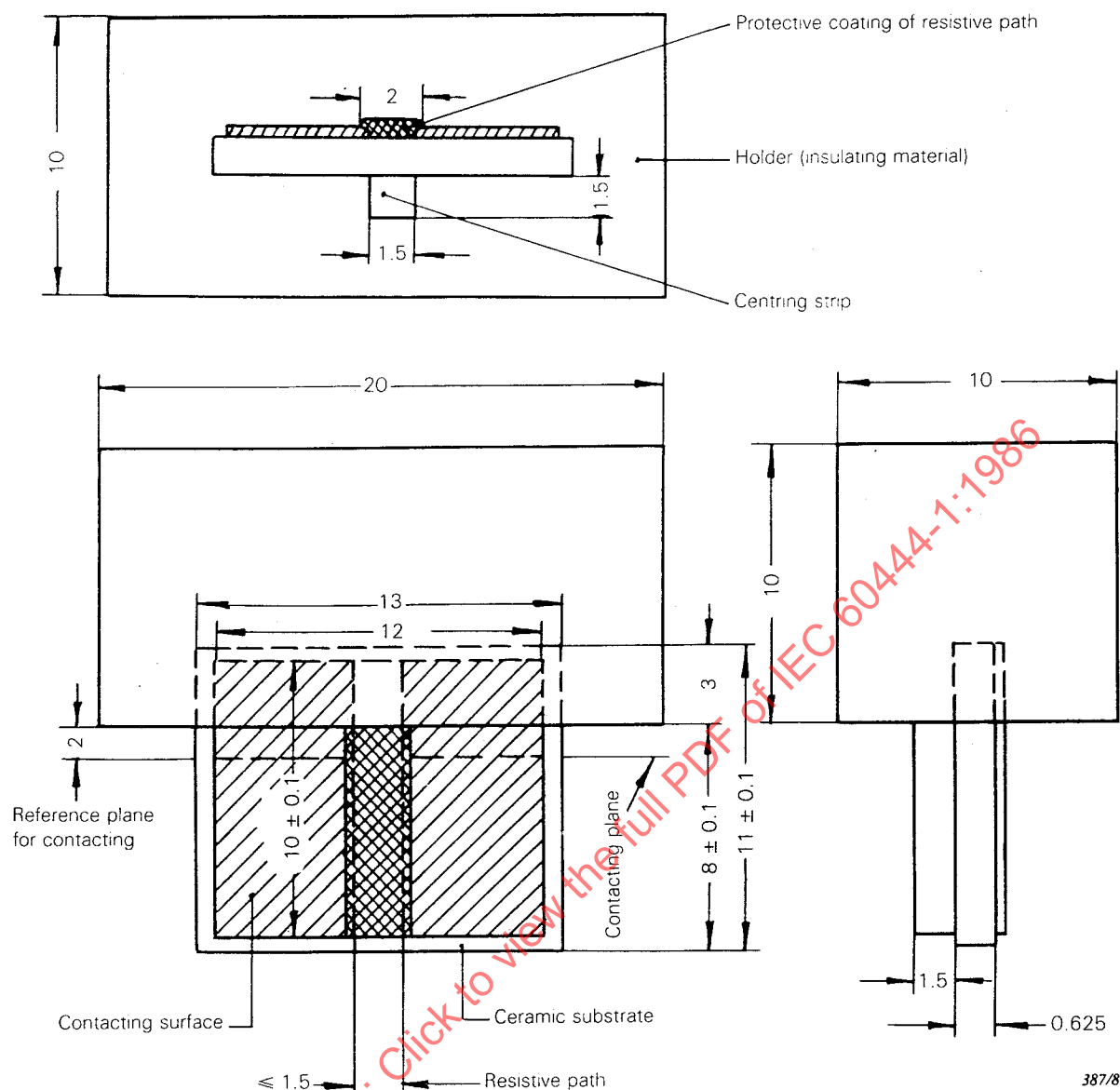
5.3.1.2 The phase noise is measured at resonance frequency in the set-up of Figure 1 with a high Q crystal ($Q > 500\,000$) in the π -network. The indicated phase jitter shall be less than 0.2° .



2. – La lame court-circuit et les résistances de référence sont identiques par rapport aux dimensions et emplacements des plans de référence et de contact.

FIG. 4. — Résistances de référence et lame court-circuit.

L'atténuateur variable peut être incorporé au générateur; il est nécessaire seulement pour ajuster le niveau d'excitation.



387/85

Notes 1. – All dimensions are in millimetres and critical dimensions are given with tolerances.

2. – The shorting blank and the reference resistors are identical in respect of dimensions and locations of the reference and contacting planes.

FIG. 4. – Reference resistors and shorting blank.

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 Ω .

5.3.2 Variable attenuator (50 Ω)

The variable attenuator may be incorporated in the generator. Required for drive level adjustment only.

5.3.3 Circuit en dérivation

Le circuit en dérivation peut être incorporé au circuit en π .

Les deux types de circuits en dérivation peuvent être utilisés dans le circuit en π (voir figures 5a et 5b). Avec celui qui est indiqué à la figure 5a on mesure l'onde incidente, tandis qu'avec celui qui est indiqué à la figure 5b on mesure non seulement l'onde incidente, mais aussi l'onde réfléchie.

Dans la pratique, les figures 5a et 5b donnent une combinaison des ondes incidentes aussi bien que des ondes réfléchies; cela n'influence pas de façon significative les résultats de mesure dans le circuit en π .

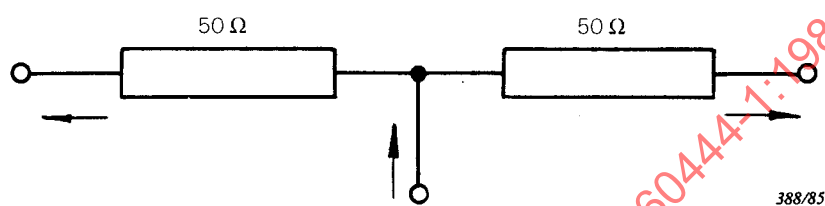


FIGURE 5a

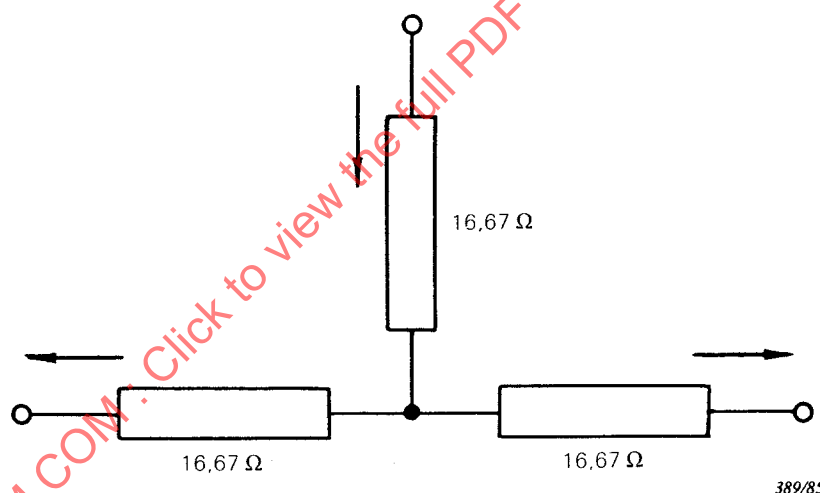


FIGURE 5b

5.3.4 Phasemètre et voltmètre

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

Les caractéristiques sont décrites aux paragraphes 5.3.4.1 à 5.3.4.4.

5.3.4.1 L'erreur de phase à la lecture du zéro, en fonction du temps (dérive du zéro) et en fonction d'une variation de tension dans un rapport de 1 à 5 au point B, doit être inférieure à 0,2°.

Note. — Il convient que toutes les précautions soient prises pour que les harmoniques n'affectent pas la précision de lecture de phase.

5.3.3 Power splitter

A power splitter may be incorporated in the π -network.

Two types of power splitter may be used in a π -network (see Figures 5a and 5b). With that illustrated in Figure 5a the incident wave is measured and with that in Figure 5b both incident and reflected waves are measured.

In practice Figure 5a and Figure 5b give a combination of incident as well as reflected waves; this has little effect on the results of measurements in the π -network.

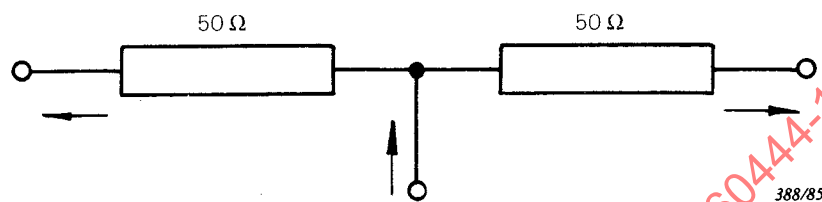


FIGURE 5a

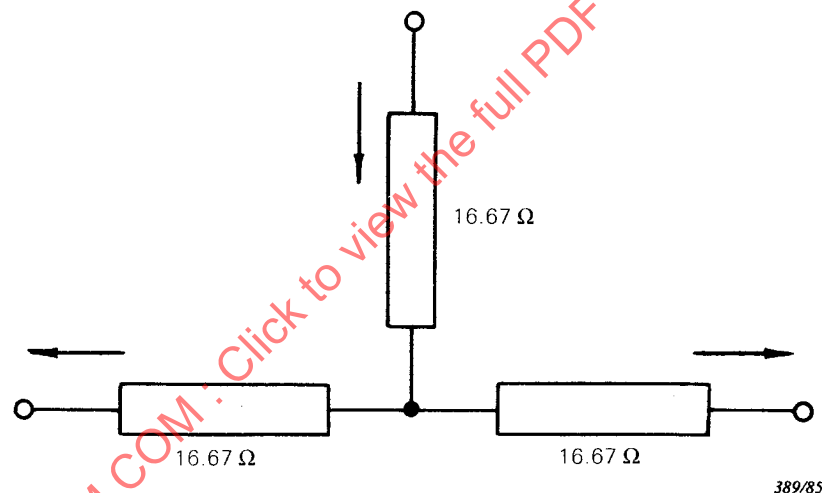


FIGURE 5b

5.3.4 Phasemeter and voltmeter

The phasemeter serves as an indicator. From the voltmeter reading the resonance 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 should be taken that harmonics do not affect the accuracy of the phase reading.

5.3.4.2 La sensibilité de mesure en voie 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 Ω.

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 ou de préférence des lignes coaxiales complètement métalliques (50 Ω) qui peuvent fonctionner dans la gamme de températures de –55 °C à +105 °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, mais pas essentiel, de choisir des câbles reliant la sortie du circuit en dérivation à l'entrée du circuit en π d'une longueur telle que, avec une résistance de référence de 25 Ω 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 de 1 MHz à 200 MHz, n'excède pas ±0,5°. Pour faciliter l'alignement on peut utiliser un extenseur de ligne de longueur variable avec l'impédance constante.

5.3.6 Fréquence-mètre

La précision et la stabilité du fréquence-mètre doivent être supérieures à $1 \cdot 10^{-8}$.

6. Méthode de mesure

6.1 Etalonnage initial du circuit en π

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

6.1.2 Ajuster le générateur de signaux à la fréquence de 100 MHz et ajuster le niveau de sortie de sorte que la lecture de la tension V_{Bs} de la voie B soit 100 mV.

6.1.3 Enlever la lame court-circuit.

6.1.4 Relever la tension V_{Bo} lue en voie B.

6.1.5 Calculer:

$$a_c = 20 \log \frac{V_{Bs}}{V_{Bo}}$$

a_c doit être ≥ 60 dB.

6.1.6 Ajuster les condensateurs d'appoint C_1 et C_2 du circuit en π à la valeur maximale.

6.1.7 Insérer la résistance de référence de 25 Ω dans le circuit en π.

6.1.8 Ajuster le générateur de signaux à la fréquence de 200 MHz et ajuster le niveau de sortie de telle sorte que le niveau d'excitation soit de 0,5 mW.

6.1.9 Ajuster la lecture du phasemètre à zéro.

6.1.10 Remplacer la résistance de référence de 25 Ω par la résistance de référence de 75 Ω.

6.1.11 Ajuster les condensateurs d'appoint simultanément jusqu'à ce que la lecture du phasemètre soit à zéro.

6.1.12 Répéter les points 7 à 11 jusqu'à ce que la différence entre les positions de phase zéro aux points 9 et 11 soit $\varphi \leq \pm 0,1^\circ$.

5.3.4.2 The sensitivity on channel B shall be at least crystal drive level -25 dB.

5.3.4.3 The reflection coefficients at A and B-channel terminals shall be less than 2%. Impedance is 50 Ω .

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 or preferably full metal coaxial lines (50 Ω) capable of withstanding the temperature range -55 °C to +105 °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 but not essential to choose the length of the cables connecting the output of the power splitter to the input of the π -network so that, with reference resistor of 25 Ω inserted in the π -network, the phase shift between channels A and B at all frequencies within the range of 1 MHz to 200 MHz is not more than $\pm 0.5^\circ$. For ease of alignment use can be made of a line stretcher of variable length of constant impedance.

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 the π -network

6.1.1 Insert the shorting blank in the π -network.

6.1.2 Adjust the signal generator to a frequency of 100 MHz and adjust the output level so that the voltage reading V_{Bs} of the B-channel is 100 mV.

6.1.3 Remove the shorting blank.

6.1.4 Record the voltage reading V_{Bo} of the B-channel.

6.1.5 Calculate:

$$a_c = 20 \log \frac{V_{Bs}}{V_{Bo}}$$

a_c shall be ≥ 60 dB.

6.1.6 Adjust the trimming capacitors C_1 and C_2 of the π -network to the maximum value.

6.1.7 Insert the 25 Ω reference resistor in the π -network.

6.1.8 Adjust the signal generator to a frequency of 200 MHz and adjust the output level so that the level of drive is 0.5 mW.

6.1.9 Adjust the phasemeter to zero reading.

6.1.10 Replace the 25 Ω reference resistor by the 75 Ω reference resistor.

6.1.11 Adjust the trimming capacitors simultaneously until the phasemeter reading is zero.

6.1.12 Repeat steps 7 to 11 until the difference between the zero phase positions at steps 9 and 11 is $\varphi \leq \pm 0.1^\circ$.

- 6.1.13 S'assurer que la phase correspond aux exigences décrites dans le paragraphe 5.1.1.4.
- 6.1.14 Ajuster le générateur de signaux à la fréquence de 1 MHz.
- 6.1.15 Insérer la résistance de référence de 25 Ω dans le circuit en π .
- 6.1.16 Ajuster la lecture de phase à zéro.
- 6.1.17 Ajuster le générateur de signaux à la fréquence de 150 MHz.
- 6.1.18 Ajuster l'extenseur/égaliseur de ligne de telle manière que la lecture de phase soit $\pm 0,1^\circ$ de la lecture obtenue au point 16.

Note. — Les procédures décrites aux paragraphes 6.1.14 à 6.1.18 sont préférables mais ne sont pas essentielles. Cependant, si elles sont suivies, le circuit aura une phase presque constante dans une large gamme de fréquences (voir figure A8, page 34) et l'étalonnage fréquent décrit aux paragraphes 6.2.2.1 et 6.2.2.2 pourra ne pas être nécessaire.

- 6.1.19 S'assurer que la variation de la phase en fonction de la fréquence répond aux exigences décrites au paragraphe 5.1.1.4.
- 6.1.20 S'assurer que la variation de la phase avec une variation du niveau d'excitation répond à l'exigence décrite au paragraphe 5.1.1.5.
- 6.1.21 S'assurer que la déviation de la résistance exigée par le paragraphe 5.1.1.6 est satisfaite.
- 6.1.22 Pour contrôler le système, il est de bonne pratique d'effectuer les mesures du circuit en π dans les deux directions, c'est-à-dire en inversant les connexions d'entrée et celles de sortie.

6.2 Mesures de la fréquence et de la résistance

6.2.1 Etalonnage préalable

- 6.2.1.1 Insérer une résistance de référence de 25 Ω dans le circuit en π .
- 6.2.1.2 Ajuster le générateur de signaux à la fréquence nominale $\pm 0,1\%$ et ajuster le niveau de sortie de manière que le niveau d'excitation soit 0,5 mW, sauf spécification contraire.

Note. — Une explication complémentaire est donnée au paragraphe A2.1 de l'annexe A.

- 6.2.1.3 Relever les tensions lues dans les voies A et B, V_{An} et V_{Bn} respectivement.

Calculer:

$$K_n = \frac{V_{Bn}}{V_{An}}.$$

6.2.2 Mesures

- 6.2.2.1 Insérer une résistance de référence de 25 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 résonateur à 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 de résonance peut être calculée par la formule:

$$R_r = (2K_n \frac{V_{Ac}}{V_{Bc}} - 1) 25 \Omega.$$

- 6.1.13 Ensure that the phase complies with the requirements described in Sub-clause 5.1.1.4.
- 6.1.14 Adjust the signal generator to a frequency of 1 MHz.
- 6.1.15 Insert the 25 Ω reference resistor in the π -network.
- 6.1.16 Adjust the phase meter to zero reading.
- 6.1.17 Adjust the signal generator to a frequency of 150 MHz.
- 6.1.18 Adjust the line stretcher/line equalizer so that the phase reading is within $\pm 0.1^\circ$ of that obtained at step 16.

Note. — The procedures in Sub-clauses 6.1.14 to 6.1.18 are preferable but not essential. However, if they are carried out, then the network will have nearly constant phase over a wide frequency range (see Figure A8, page 35), and frequent recalibration as set out in Sub-clauses 6.2.2.1 and 6.2.2.2 may not be necessary.

- 6.1.19 Ensure that the variation of phase with frequency complies with the requirement described in Sub-clause 5.1.1.4.
- 6.1.20 Ensure that the variation of phase with drive level complies with the requirement described in Sub-clause 5.1.1.5.
- 6.1.21 Ensure that the resistance deviation required by Sub-clause 5.1.1.6 is satisfied.
- 6.1.22 To check the system, it is good practice to make π -network measurements in both directions, i.e. by reversing input and output connections.

6.2 Frequency and resistance measurement

6.2.1 Initial calibration

- 6.2.1.1 Insert the 25 Ω reference resistor in the π -network.
- 6.2.1.2 Adjust the signal generator to nominal frequency $\pm 0.1\%$ and adjust the output level so that the level of drive is 0.5 mW, unless otherwise specified.

Note. — Further explanation is given in Sub-clause A2.1 of Appendix A.

- 6.2.1.3 Record the A and B channel voltage readings, V_{An} and V_{Bn} respectively.

Calculate:

$$K_n = \frac{V_{Bn}}{V_{An}}.$$

6.2.2 Measurement

- 6.2.2.1 Insert the 25 Ω reference resistor in the π -network.
- 6.2.2.2 Adjust the phasemeter to zero phase reading.
- 6.2.2.3 Replace the reference resistor by the crystal unit to be measured and earth the metal enclosure 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 resonance resistance can be calculated from the formula:

$$R_r = (2K_n \frac{V_{Ac}}{V_{Bc}} - 1) 25 \Omega.$$

ANNEXE A

INFORMATION SUPPLÉMENTAIRE RELATIVE À LA PRÉCISION

A1. Analyse de la mesure

A1.1 Le résonateur à quartz piézoélectrique est considéré comme un circuit à trois bornes.

En général, un réseau tripôle (voir figure A1) peut être déterminé par une matrice d'admittance comme suit:

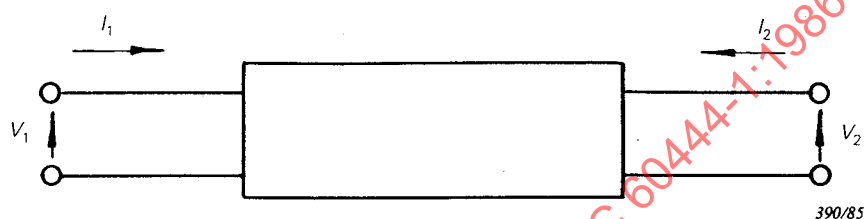


FIGURE A1

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

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

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

Si le réseau est un π (voir figure A2), la matrice devient:

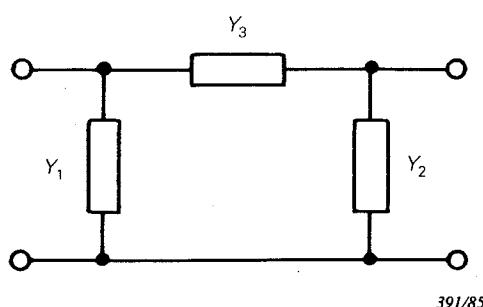


FIGURE A2

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

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

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

APPENDIX A

ADDITIONAL INFORMATION ON ACCURACY

A1. Analysis of the measurement

A1.1 A piezoelectric quartz crystal unit can be considered as a 3-terminal network.

In general, a 3-terminal network (see Figure A1) can be described by the admittance matrix:

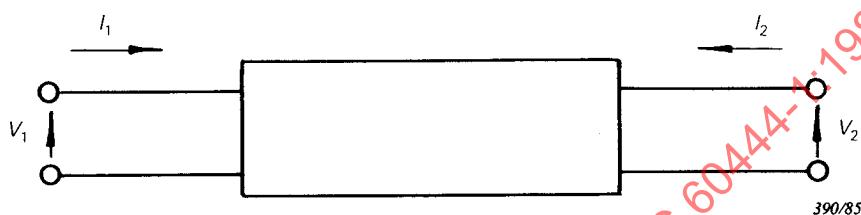


FIGURE A1

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

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

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

If the network is a π (see Figure A2), the matrix is:

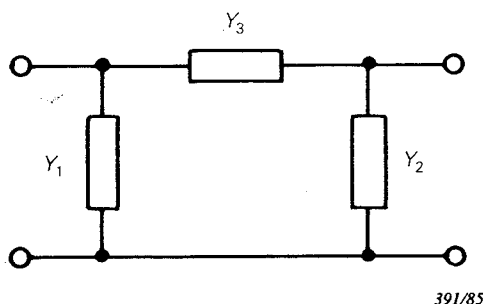


FIGURE A2

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

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

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

Appliqué à un quartz piézoélectrique, le réseau devient:

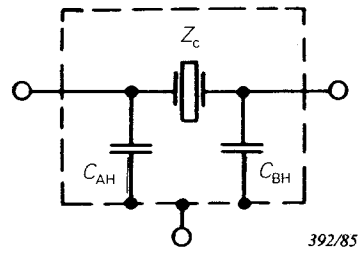


FIGURE A3

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

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

$$Y_3 = 1/Z_c$$

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

A1.2 Réseau en π

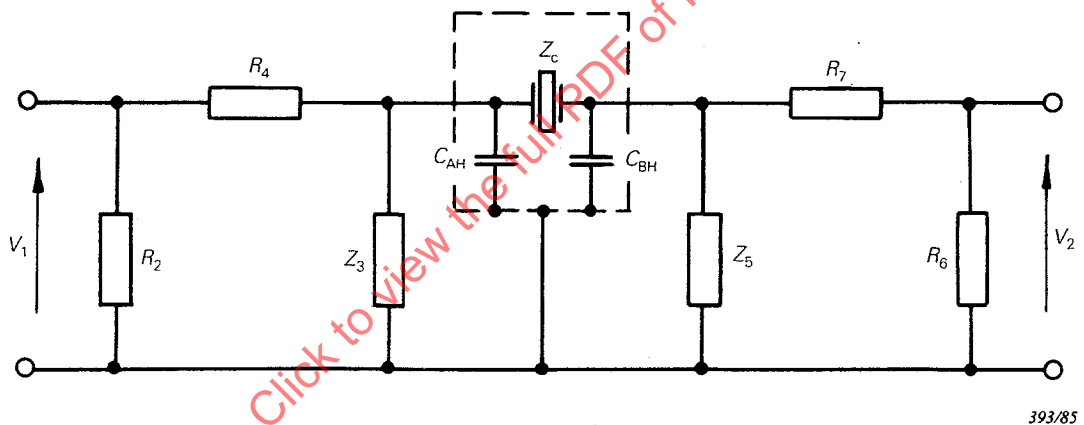


FIGURE A4

La tension de transfert est:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_6}{R_6 + R_7} \cdot \frac{1}{R_4 \cdot A_2 \cdot A_4} \cdot \frac{1}{Z_c + \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_4}}$$

dans laquelle:

$$A_2 = \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{R_4} + j\omega C_{AH} \text{ et } A_4 = \frac{1}{Z_5} + \frac{1}{R_6 + R_7} + j\omega C_{BH}.$$

Apparemment le quartz est chargé par une impédance série.

$$\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_4} = Z_s.$$

Pour les besoins de la présente norme, toutes les réactances parasites ont été considérées comme étant réparties dans les impédances Z_3 et Z_5 .

Applied to a crystal unit, the network is:

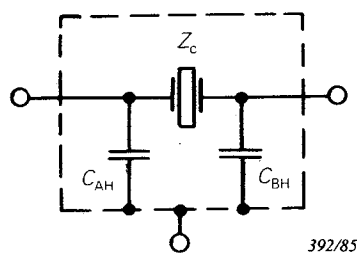


FIGURE A3

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

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

$$Y_3 = 1/Z_c$$

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

A1.2 π -network

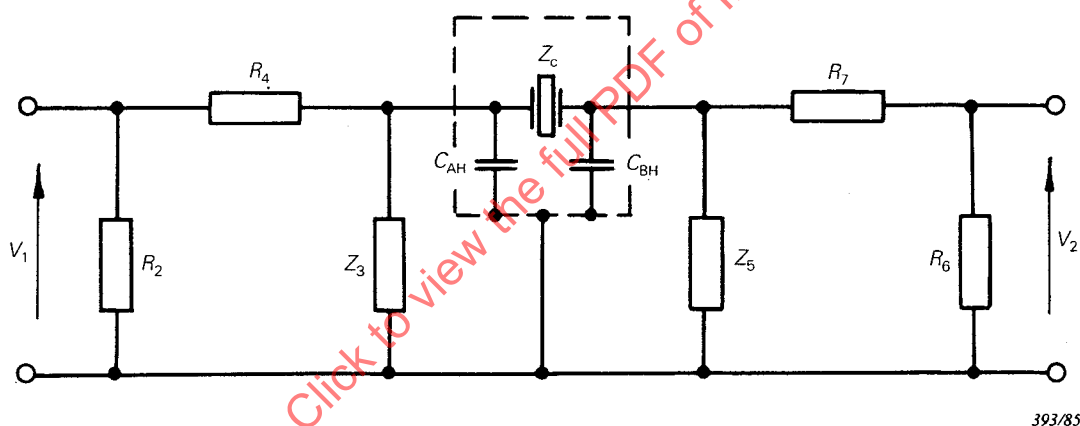


FIGURE A4

The voltage transfer is:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_6}{R_6 + R_7} \cdot \frac{1}{R_4 \cdot A_2 \cdot A_4} \cdot \frac{1}{Z_c + \frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_4}}$$

in which:

$$A_2 = \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{R_4} + j\omega C_{AH} \text{ and } A_4 = \frac{1}{Z_5} + \frac{1}{R_6 + R_7} + j\omega C_{BH}.$$

Apparently the crystal unit is loaded with a series impedance.

$$\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_4} = Z_s.$$

For the purpose of this standard, all the stray reactances have been considered to be lumped in impedances Z_3 and Z_5 .

A2. Précision de la mesure

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

A2.1 Variation du niveau d'excitation

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

Cependant, les caractéristiques du circuit en π sont telles qu'une variation de la résistance de résonance influence très peu le niveau d'excitation (voir figure A5).

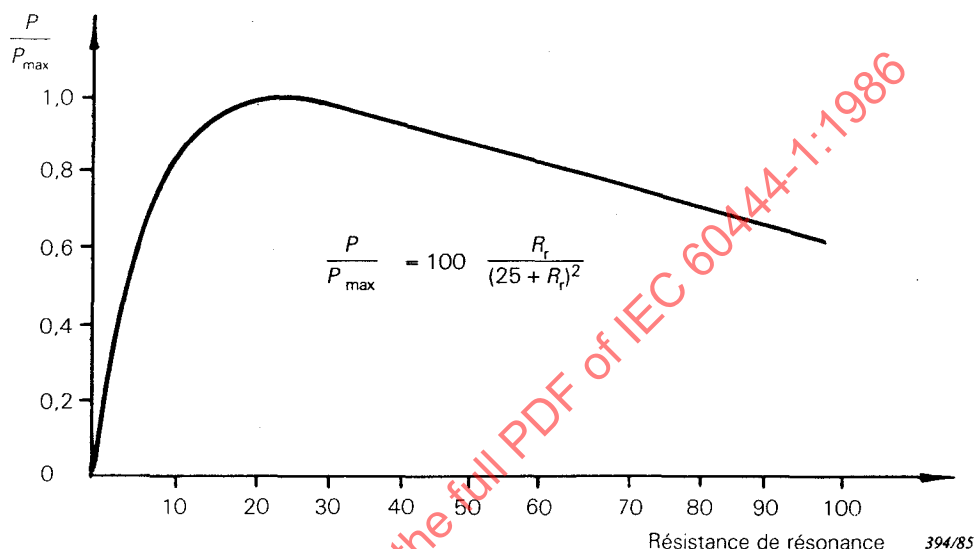


FIGURE A5

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

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

A2.2 Variations de phase

A proximité de la fréquence de résonance, la phase de:

$$Z_c + Z_s \text{ est } \varphi = \frac{2\Delta f}{f} \cdot Q_{\text{eff}},$$

φ en radians.

$$\Delta f = f - f_r \text{ et } Q_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi f_r (R_3 + R_5 + R_r) C_1},$$

d'où:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\varphi}{2Q_{\text{eff}}}.$$

Par exemple, pour un quartz de 60 MHz et un facteur de qualité efficace (Q_{eff}) de 40 000, l'erreur relative de fréquence résultant d'une erreur de phase résiduelle de 0,45° est de 1.10^{-7} .

A2. Accuracy of the measurement

Although the set-up has been designed to give a very good accuracy, there remain three sources of minor errors:

A2.1 Variation of drive level

In general, the resonance frequency and resonance resistance of a crystal unit are dependent on the level of drive. The magnitude of this effect is determined by the crystal unit under test.

However, the design of the π -network is such that a change of resonance resistance does not seriously affect the drive level (see Figure A5).

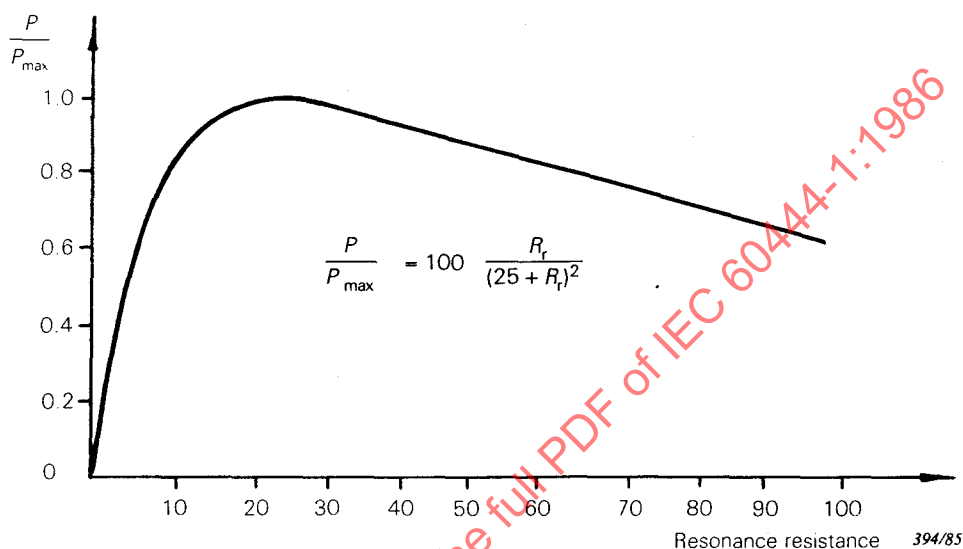


FIGURE A5

For example, a change of resonance resistance from 9.5 Ω to 65.5 Ω results in a change of power level of 20%. In most cases, this is acceptable.

For crystals with a very high or very low resonance resistance, the drive level may be adjusted according to Figure 10, if required.

A2.2 Phase shifts

In the neighbourhood of resonance frequency, the phase of:

$$Z_c + Z_s \text{ is } \varphi = \frac{2\Delta f}{f} \cdot Q_{\text{eff}},$$

φ in radians.

$$\Delta f = f - f_r \text{ and } Q_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi f_r (R_3 + R_5 + R_r) C_1},$$

so:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\varphi}{2Q_{\text{eff}}}.$$

For example, for a crystal of 60 MHz and a $Q_{\text{eff}} = 40\,000$, the resulting relative frequency error is $1.10 \cdot 10^{-7}$ for a residual phase error of 0.45° .

A2.2.1 Erreurs de phase dues à une variation de R_r

Les erreurs de phase dues à la variation de R_r peuvent, dans la plupart des cas, être éliminées en substituant au résonateur à quartz une résistance de référence dont la valeur devra être voisine (presque idéale) de R_r (voir figure 4, page 16).

A2.2.2 Erreurs de phase dues aux dimensions des boîtiers de quartz

Les lames de contact du circuit en π donnent la possibilité d'insérer des types différents de boîtiers de quartz.

La distance entre les broches ou fils sortant du résonateur à quartz peut varier de 2,4 mm à environ 40 mm. L'erreur de phase entre un résonateur à quartz très petit et une résistance de référence peut être considérée comme nulle. Les erreurs de phase dues aux dimensions habituellement plus grandes du résonateur à quartz dépendent de la distance entre les sorties du résonateur à quartz et la distance entre les centres du disque et du barreau du circuit en π (voir figure A6). Avec les circuits utilisés à présent, ces erreurs sont presque négligeables. Par exemple, pour un résonateur à quartz de 100 MHz ayant une résistance de résonance de 50 Ω et une distance entre sorties du résonateur de 10,0 mm, l'erreur de phase apparaît être approximativement de 1,2° et pour un résonateur à quartz de 200 MHz ayant une résistance de résonance de 100 Ω et une distance entre sorties de 6 mm, l'erreur de phase apparaît être approximativement de 1,3°.

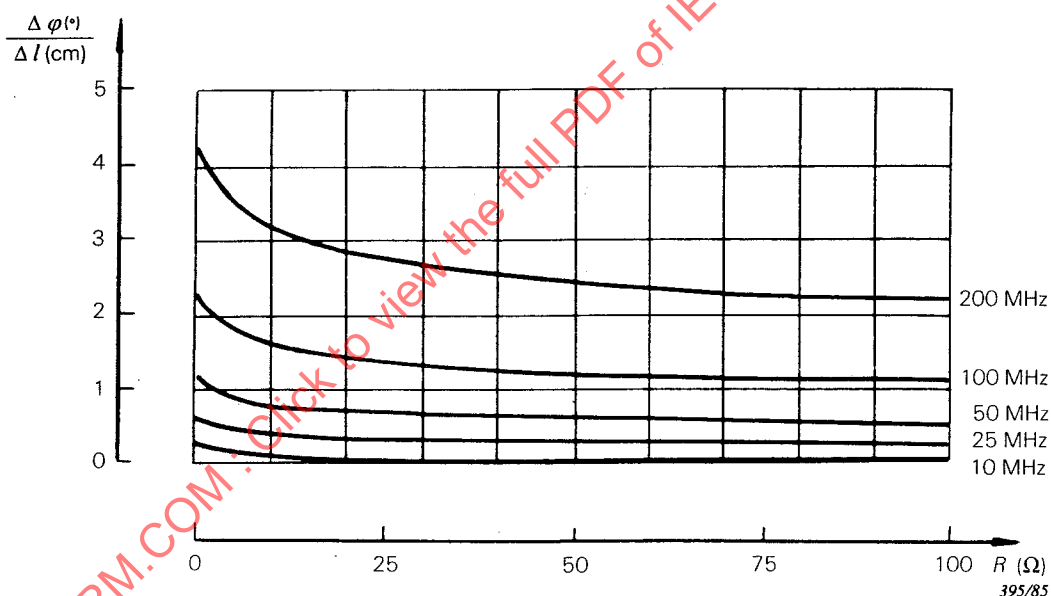


FIGURE A6

A2.3 Capacités parasites du boîtier

L'influence des capacités parasites du boîtier C_{AH} et C_{BH} sur la mesure de la fréquence de résonance est la suivante: les capacités dues au boîtier sont en parallèle avec Z_3 et Z_5 (voir figure A4, page 26):

L'impédance de l'ensemble de Z_3 et C_{AH} est:

$$Z_3' = \frac{Z_3}{1 + Z_3 j\omega C_{AH}} \text{ et de même } Z_5' = \frac{Z_5}{1 + Z_5 j\omega C_{BH}}.$$

Par exemple, si $f_r = 100$ MHz, $C_{AH} = C_{BH} = 2$ pF, $C_1 = 0,7$ fF et $Z_3 = Z_5 = 12,5 \Omega$

d'où: $Z_3' = Z_5' = 12,5 - 0,19 j$.

A2.2.1 Phase errors due to a change of R_r

The phase errors due to a change of R_r can for all practical purposes be eliminated by replacing the crystal unit by a (nearly ideal) reference resistor (see Figure 4, page 17) with a resistance approximately equal to R_r .

A2.2.2 Phase errors due to crystal enclosure dimensions

The contacting plates of the π -network enable insertion of various types of crystal enclosures.

The distance between the pins or leads emerging from the crystal unit may vary from 2.4 mm to approximately 40 mm. The phase error between a very small crystal unit and a reference resistor may be considered to be zero. The phase errors due to usual larger crystal unit dimensions depend on the distance between the crystal unit leads and the distance between the rod and disk centres of the π -network (see Figure A6). With the present network these errors are almost negligible. For example, for a 100 MHz crystal unit having a resonance resistance of 50 Ω and lead distance of 10.0 mm, the phase error appears to be approximately 1.2°, and for a 200 MHz crystal unit having a resonance resistance of 100 Ω and a lead distance of 6 mm, the phase error appears to be approximately 1.3°

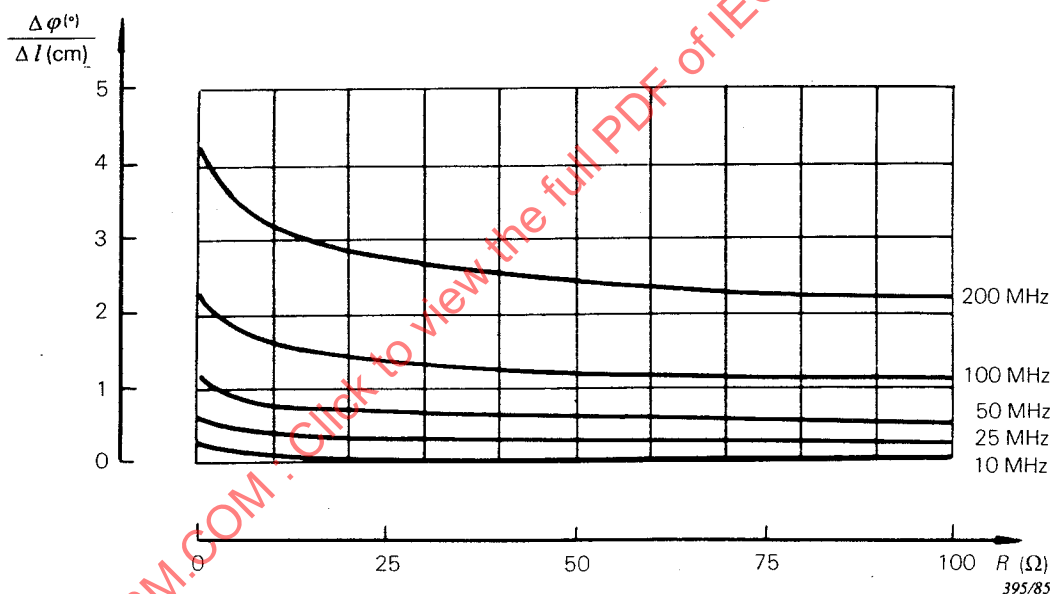


FIGURE A6

A2.3 Stray holder capacitances

The influence of the stray holder capacitances C_{AH} and C_{BH} on the measurement of resonance frequency is as follows: the holder capacitances are in parallel with Z_3 and Z_5 (see Figure A4, page 27).

The impedance of the combination Z_3 and C_{AH} is:

$$Z_3' = \frac{Z_3}{1 + Z_3 j\omega C_{AH}} \text{ and similarly } Z_5' = \frac{Z_5}{1 + Z_5 j\omega C_{BH}}.$$

For example, if $f_r = 100$ MHz, $C_{AH} = C_{BH} = 2$ pF, $C_1 = 0.7$ fF and $Z_3 = Z_5 = 12.5$ Ω

then:

$$Z_3' = Z_5' = 12.5 - 0.19 j.$$

Le fait de ne pas tenir compte des capacités du boîtier produit une erreur systématique de fréquence de:

$$\frac{\Delta f}{f} = 8 \times 10^{-7} \text{ pour } Q_{\text{eff}} = 20\,000.$$

Ainsi, cette différence sera toujours la même pour tous les réseaux en π .

A3. Compensation des inductances de R_3 et R_5

En général, le circuit équivalent d'une résistance (comme Z_3 et Z_5 , figure A4, page 26) mesurée à haute fréquence est (voir figure A7 ci-dessous):

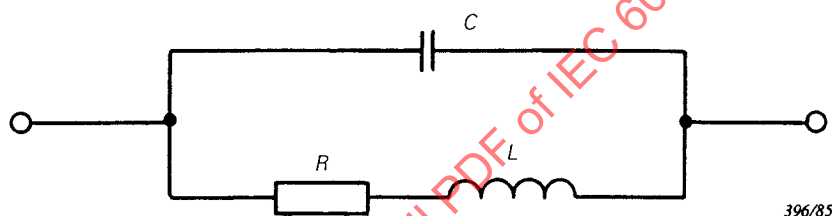


FIGURE A7

L'admittance est:

$$A = j\omega C + \frac{1}{R + j\omega L} = \frac{Rj\omega C + 1 - \omega^2 LC}{R + j\omega L}$$

A est résistif si $R^2 C = (1 - \omega^2 LC)L$.

Si $\omega^2 LC \ll 1$, il s'ensuit que $R^2 = L/C$.

La condition $\omega^2 LC \ll 1$ peut être écrite $\omega L \ll R$. La validité de cette expression sera vérifiée à une autre fréquence.

Avec les possibilités actuelles C apparaît être approximativement 10 pF pour le circuit compensé, $\omega L \ll R$.

$$\text{Avec } R = 12,5 \, \Omega, C = 10 \, \text{pF et } R^2 = \frac{L}{C},$$

$$L = 1,5 \times 10^{-9} \, \text{H}.$$

$$\text{Avec } f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}},$$

la fréquence de coupure f_c est approximativement égale à 1000 MHz. Avec $\cos$ de l'angle de phase $= 1 - 2 \left(\frac{f}{f_c} \right)^2$ la linéarité de phase sera supérieure à $\pm 0,25^\circ$ jusqu'à 250 MHz. Ainsi une compensation avec une tolérance de $\pm 0,25^\circ$ est possible jusqu'à 200 MHz (voir figure A8, page 34).

Ignoring the holder capacitances results in a systematic frequency error of:

$$\frac{\Delta f}{f} = 8 \times 10^{-7} \text{ for } Q_{\text{eff}} = 20\,000.$$

Hence, the difference will be the same for all π -networks.

A3. Compensation of inductance of R_3 and R_5

In general, the equivalent circuit of a resistor (as Z_3 and Z_5 of Figure A4, page 27) measured at high frequency is (see Figure A7, below):

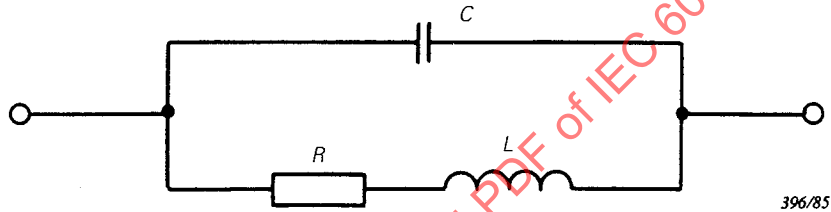


FIGURE A7

The admittance is:

$$A = j\omega C + \frac{1}{R + j\omega L} = \frac{Rj\omega C + 1 - \omega^2 LC}{R + j\omega L}$$

A is resistive if $R^2 C = (1 - \omega^2 LC)L$.

If $\omega^2 LC \ll 1$, then $R^2 = L/C$.

The condition $\omega^2 LC \ll 1$ may then be written as $\omega L \ll R$. The validity of this relation will be checked at a second frequency.

In the present state of the art, C appears to be approximately 10 pF for a compensated network, $\omega L \ll R$.

With $R = 12.5 \, \Omega$, $C = 10 \, \text{pF}$ and $R^2 = \frac{L}{C}$,

$$L = 1.5 \times 10^{-9} \, \text{H}.$$

$$\text{With } f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}},$$

the cut-off frequency f_c is approximately 1000 MHz. With the cos of phase angle $= 1 - 2 \left(\frac{f}{f_c} \right)^2$ the phase linearity will be better than $\pm 0.25^\circ$ up to 250 MHz. Hence compensation within $\pm 0.25^\circ$ is possible up to 200 MHz (see Figure A8, page 35).

A4. Valeur de l'erreur de mesure sur la résistance de résonance

La valeur de l'erreur de mesure sur la résistance de résonance est:

$$\Delta R_r = \left(\frac{\Delta V_{Bs}}{V_{Bs}} + \frac{\Delta V_{Ac}}{V_{Ac}} - \frac{\Delta V_{As}}{V_{As}} - \frac{\Delta V_{Bc}}{V_{Bc}} \right) \cdot \frac{V_{Ac}}{V_{As}} \cdot \frac{V_{Bs}}{V_{Bc}} \cdot 25,$$

où:

ΔV_{Ac} = erreur sur V_{Ac}

ΔV_{As} = erreur sur V_{As}

ΔV_{Bc} = erreur sur V_{Bc}

ΔV_{Bs} = erreur sur V_{Bs}

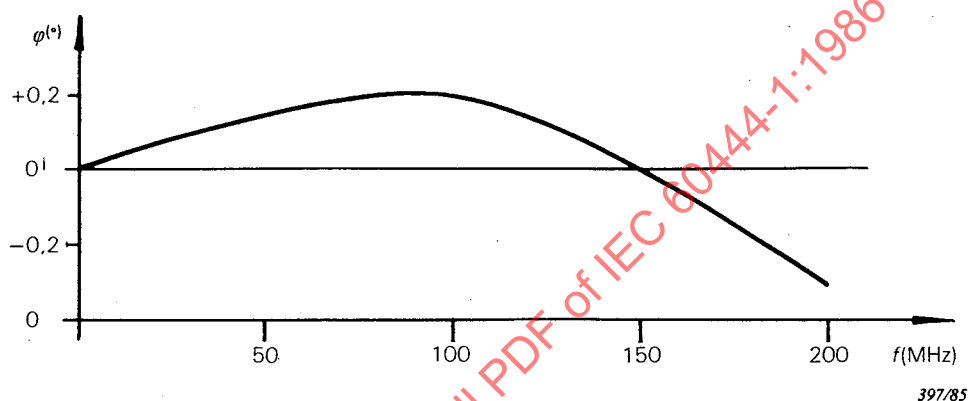


FIG. A8. — Variation typique de la réponse phase/fréquence d'un réseau en π ajusté avec une résistance de référence de 25 Ω .