

RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT

CEI
IEC

60444-3

Première édition
First edition
1986-06

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

**Partie 3: Méthode fondamentale pour la mesure des
paramètres à deux pôles des résonateurs à quartz à la
fréquence jusqu'à 200 MHz par la technique de phase
dans le circuit en π avec compensation de la capacité
parallèle C_0**

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

**Part 3: Basic method for the measurement of
two-terminal parameters of quartz crystal units
up to 200 MHz by phase technique in a π -network
with compensation of the parallel capacitance C_0**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60444-3: 1986

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

RAPPORT
TECHNIQUE

TECHNICAL
REPORT

CEI
IEC

60444-3

Première édition
First edition
1986-06

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

**Partie 3: Méthode fondamentale pour la mesure des
paramètres à deux pôles des résonateurs à quartz à la
fréquence jusqu'à 200 MHz par la technique de phase
dans le circuit en π avec compensation de la capacité
parallèle C_0**

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

**Part 3: Basic method for the measurement of
two-terminal parameters of quartz crystal units
up to 200 MHz by phase technique in a π -network
with compensation of the parallel capacitance C_0**

© IEC 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 photo-
copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

Q

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Circuit de compensation de C_0	6
2.1 Caractéristiques électriques	6
2.2 Caractéristiques mécaniques	10
3. Paramètres des résonateurs à quartz avec et sans compensation de C_0	12
3.1 Fréquence de résonance série f_s et fréquence de résonance f_r	12
3.2 Résistance dynamique R_1 et résistance de résonance R_r	14
3.3 Capacité dynamique C_1 et inductance dynamique L_1	14
4. Circuit d'essai	14
4.1 Circuit en π	16
4.2 Accessoires du circuit en π	16
4.3 Appareils de mesure associés	16
4.4 Circuit de compensation	16
5. Méthode de mesure	18
5.1 Etalonnage initial du circuit en π	18
5.2 Ajustage du circuit de compensation	18
5.3 Mesures de la fréquence et de la résistance	20
5.4 Calcul de la capacité dynamique C_1 et de l'inductance dynamique L_1	22
ANNEXE A — Analyse de la différence de f , R , C_1 et L_1 comme résultat des méthodes de mesure avec et sans compensation de C_0	24
ANNEXE B — Informations supplémentaires relatives à la précision	28
ANNEXE C — Informations supplémentaires relatives aux composants du circuit donnés dans les figures 4a) et 4b)	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. C_0 compensation circuit	7
2.1 Electrical specifications	7
2.2 Mechanical specification	11
3. Crystal unit parameters with and without C_0 compensation	13
3.1 Series resonance frequency f_s and resonance frequency f_r	13
3.2 Motional resistance R_1 and resonance resistance R_r	15
3.3 Motional capacitance C_1 and motional inductance L_1	15
4. Test circuit	15
4.1 The π -network	17
4.2 Accessories of the π -network	17
4.3 Associated equipment	17
4.4 Compensation circuit	17
5. Method of measurement	19
5.1 Initial calibration of the π -network	19
5.2 Tuning of the compensation circuit	19
5.3 Frequency and resistance measurement	21
5.4 Evaluation of the motional capacitance C_1 and motional inductance L_1	23
APPENDIX A — Analysis of the difference of f , R , C_1 and L_1 as result of measurement methods with and without compensation of C_0	25
APPENDIX B — Additional information on accuracy	29
APPENDIX C — Additional information on circuit components given in Figures 4a) and 4b)	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Troisième partie: Méthode fondamentale pour la mesure des paramètres à deux pôles des résonateurs à quartz à la fréquence jusqu'à 200 MHz par la technique de phase dans le circuit en π avec compensation de la capacité parallèle C_0

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

Il constitue la troisième partie de la série des publications de la CEI sur les méthodes de mesure par la technique de phase et comprend la méthode fondamentale pour la mesure des paramètres à deux pôles des résonateurs à quartz à la fréquence jusqu'à 200 MHz par la technique de phase dans le circuit en π avec compensation de la capacité parallèle C_0 .

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

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

La quatrième partie, comprenant la méthode pour la mesure de la fréquence de résonance à la charge f_L , 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 fréquence $\Delta f_{L1, L2}$ et de la sensibilité de fréquence relative S , paraîtra comme Publication 444-4 de la CEI.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
49(BC)154	49(BC)172

Pour de plus ample 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 3: Basic method for the measurement of two-terminal parameters of quartz crystal units up to 200 MHz by phase technique in a π -network with compensation of the parallel capacitance C_0

FOREWORD

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

PREFACE

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

It forms Part 3 of the series of IEC publications on phase measuring methods, and contains the 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 .

Part 1, containing a basic method for the measurement of resonance frequency and resonance resistance of quartz crystal units by zero phase technique in a π -network, is issued as IEC Publication 444-1 (second edition, 1986).

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

Part 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 report is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
49(CO)154	49(CO)172

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

Troisième partie: Méthode fondamentale pour la mesure des paramètres à deux pôles des résonateurs à quartz à la fréquence jusqu'à 200 MHz par la technique de phase dans le circuit en π avec compensation de la capacité parallèle C_0

1. Domaine d'application

Le présent rapport définit une méthode pour la mesure des paramètres des résonateurs à quartz à l'aide d'une inductance pour compenser les effets de C_0 à la fréquence du résonateur à quartz, avec une exactitude en fonction du type de quartz pour:

- a) la fréquence avec une précision relative se situant entre 10^{-6} et 10^{-8} ;
- b) la résistance avec une précision relative se situant entre 2% et 5%;
- c) la capacité dynamique et l'inductance dynamique avec une précision relative se situant entre 3% et 7%.

Ce rapport est fondé sur le circuit en π décrit dans la Publication 444-1: 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 .

Sa particularité nouvelle est la compensation de la capacité parallèle C_0 du résonateur à quartz par une inductance à la fréquence du résonateur.

Dans ce rapport, deux circuits possibles pour la compensation de C_0 sont exposés en détail. Les circuits de compensation peuvent être aussi faits de différentes manières, par exemple avec inductance et capacité discrètes ou avec ligne résonante ayant une lame court-circuit mobile. Les exigences pour le circuit de compensation et pour la méthode de mesure sont les mêmes.

2. Circuit de compensation de C_0

2.1 Caractéristiques électriques

Au voisinage immédiat de la fréquence de résonance, un résonateur à quartz peut être traité comme le circuit montré à la figure 1, page 8, où l'effet de C_0 est éliminé par une inductance variable L_p . Cette inductance peut être réalisée par un circuit résonant parallèle qui peut être électroniquement ajusté.

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

Part 3: Basic method for the measurement of two-terminal parameters of quartz crystal units up to 200 MHz by phase technique in a π -network with compensation of the parallel capacitance C_0

1. Scope

This report specifies a method for the measurement of the parameters of quartz crystal units using an inductance to compensate for the effects of C_0 at the frequency of the crystal unit with accuracy depending on the type of crystals for:

- a) frequency with a fractional accuracy ranging between 10^{-6} and 10^{-8} ;
- b) resistance with a fractional accuracy ranging between 2% and 5%;
- c) motional capacitance and motional inductance with a fractional accuracy ranging between 3% and 7%.

This report is based on the π -network described in IEC Publication 444-1. 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.

Essentially new is the compensation of parallel capacitance C_0 of the crystal unit by an inductance at the frequency of the crystal unit.

In the report, two possible circuits for compensation of C_0 are discussed in detail. The compensation circuits can also be constructed in different ways; for example: with discrete inductance and capacitance or with a resonant line with a moving shorting link. The requirements for the compensation circuit and the measurement method are the same.

2. C_0 compensation circuit

2.1 Electrical specifications

Close to its resonance frequency a crystal unit can be treated as the circuit of Figure 1, page 9, where the effect of C_0 is eliminated by a variable inductor L_p . This inductor can be realized by a parallel resonant circuit which may be electronically tuned.

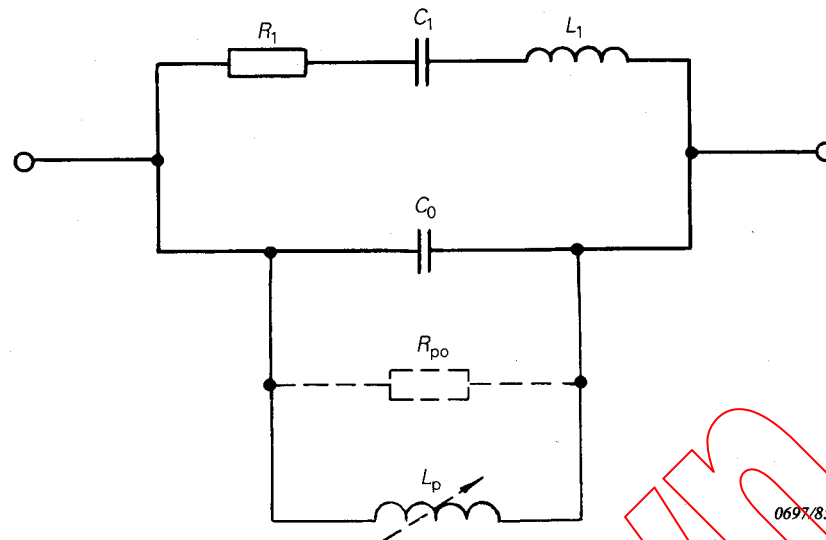
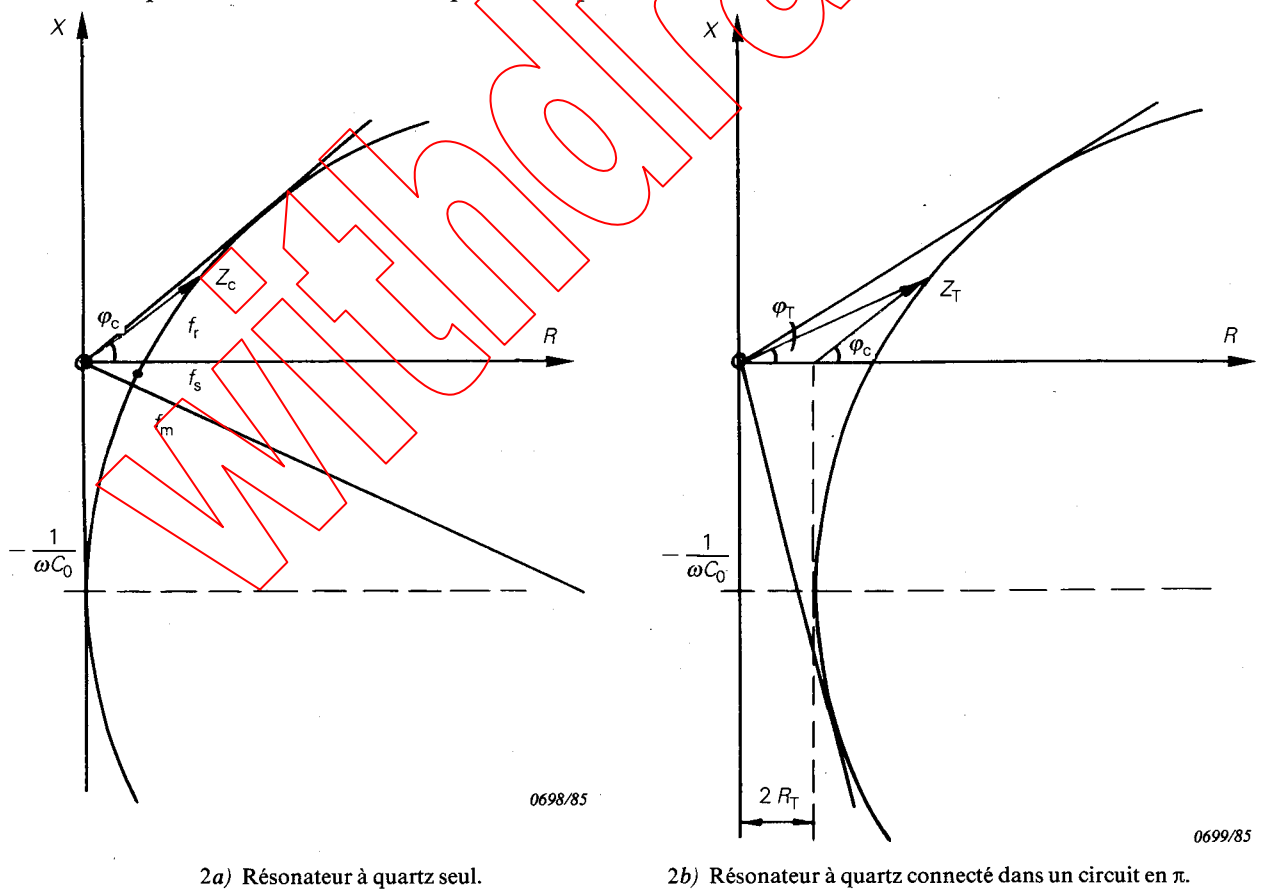


FIG. 1 — Circuit équivalent d'un résonateur à quartz avec une compensation de C_0 .
(Les pertes de L_p sont représentées par R_{po})

L'impédance complexe $Z = R + jX$ du résonateur à quartz non compensé est donnée à la figure 2. La figure 2a) montre l'impédance du résonateur à quartz seul, tandis que la figure 2b) représente le résonateur à quartz connecté dans le circuit en π . La figure 3, page 10, montre l'impédance du résonateur à quartz compensé sous les mêmes conditions.



2a) Résonateur à quartz seul.

2b) Résonateur à quartz connecté dans un circuit en π .

FIG. 2. — Diagramme d'impédance d'un résonateur à quartz sans compensation de la capacité parallèle C_0 .

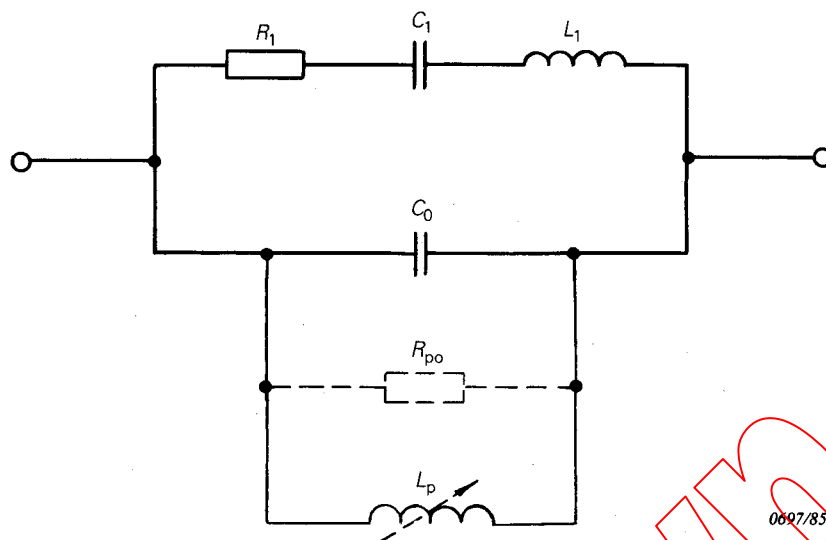
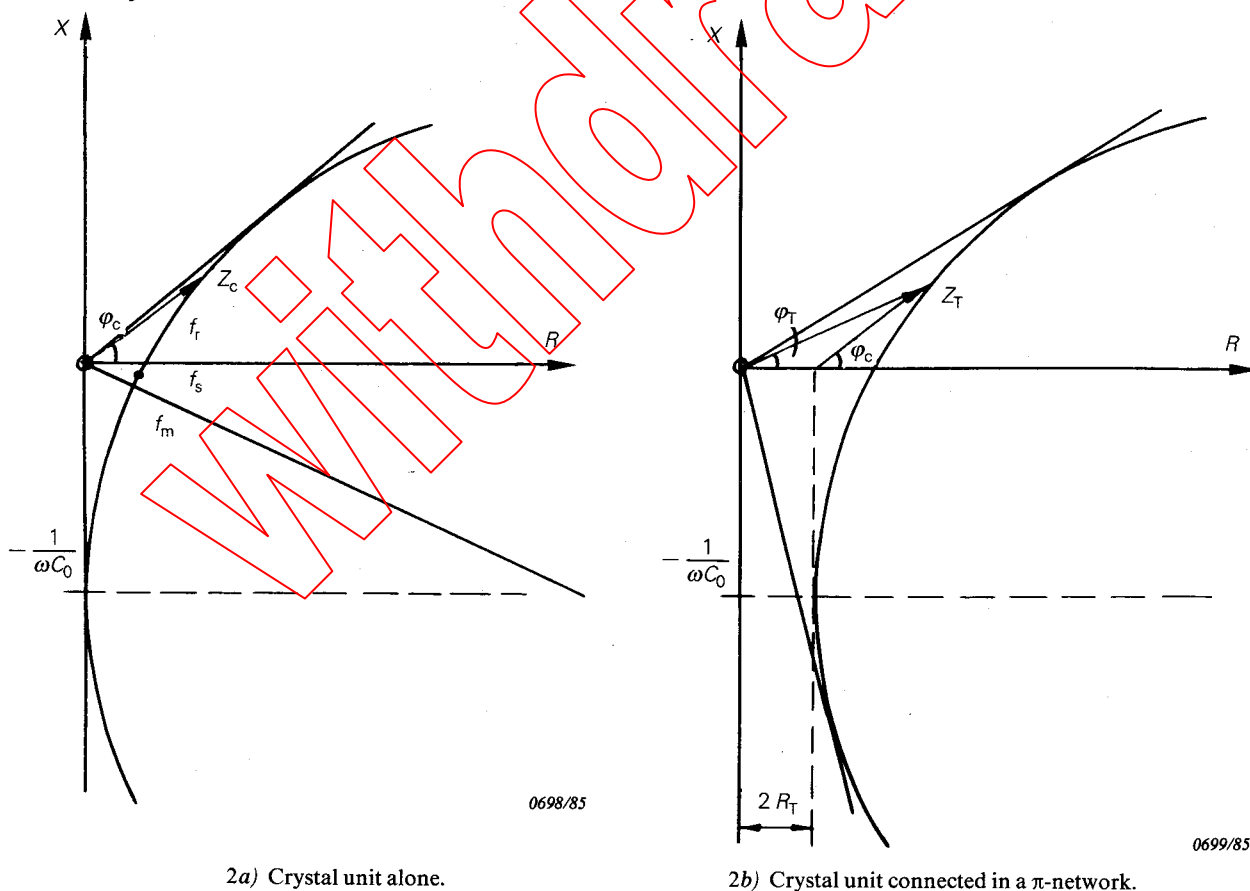


FIG. 1. — Equivalent circuit of a crystal unit with compensation of C_0 .
(The losses of L_p are represented by R_{po})

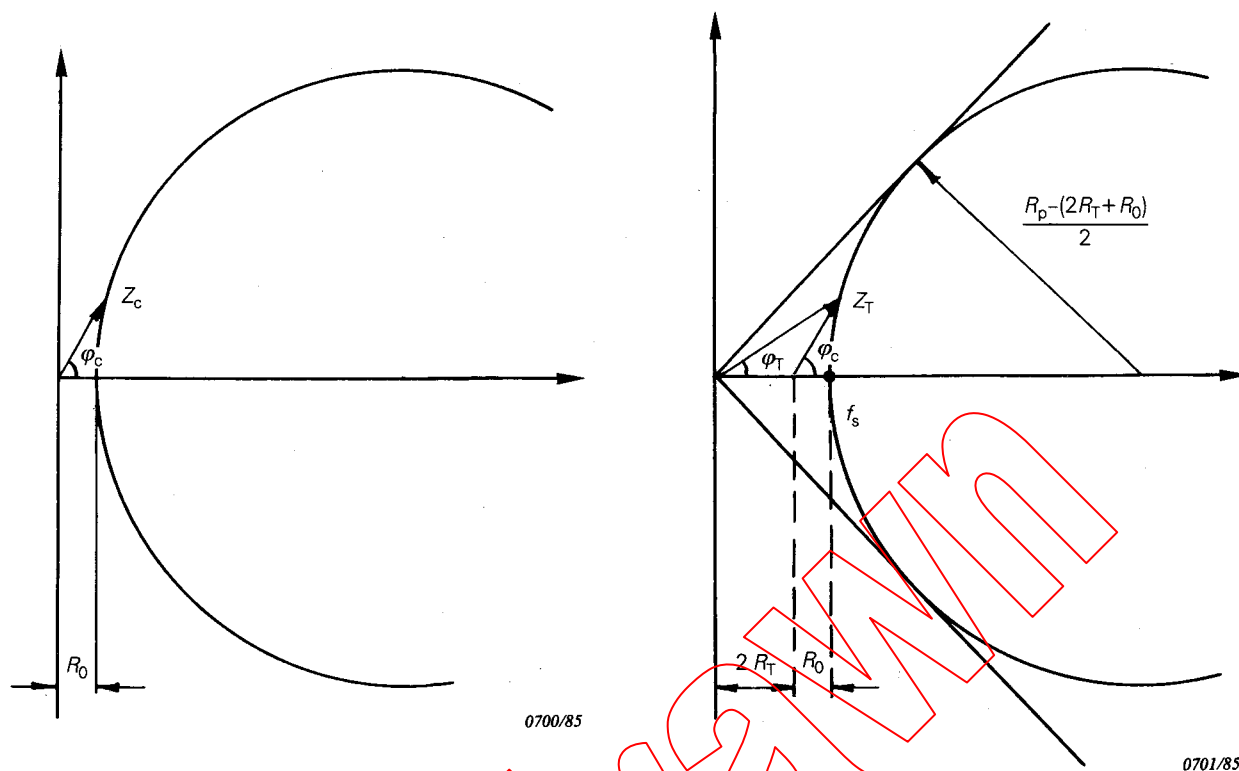
The complex impedance $Z = R + jX$ of the uncompensated crystal unit is given in Figure 2. Figure 2a) shows the impedance of the crystal unit alone, while Figure 2b) is for the crystal unit connected in the π -network. Figure 3 (page 11) shows the impedance of the compensated crystal unit under the same conditions.



2a) Crystal unit alone.

2b) Crystal unit connected in a π -network.

FIG. 2. — Impedance diagram of a crystal unit without compensation of parallel capacitance C_0 .



3a) Résonateur à quartz avec C_0 compensé.

3b) Le même résonateur connecté dans un circuit en π .

FIG. 3. — Diagramme d'impédance d'un résonateur à quartz lorsque C_0 est compensée avec un circuit de compensation proprement ajusté conformément à la figure 1.

L'angle de phase $\varphi = \varphi_T$ entre l'entrée et la sortie du circuit en π pour le résonateur à quartz chargé par la résistance $2R_T = 25 \Omega$ est donné par:

$$\tan \varphi_T = \frac{X}{R} = \frac{X}{R_1 + 2R_T} \quad (1)$$

En première approximation, pour des valeurs petites de φ_T , il peut être exprimé par:

$$\tan \varphi_T = \frac{2\Delta \omega L_1}{R_1 + 2R_T} = \frac{\Delta f}{f} \times 2Q_{\text{eff}} \quad (2)$$

$$\text{avec } Q_{\text{eff}} = \frac{\omega_0 L_1}{R_1 + 2R_T}$$

Comme on peut le voir aux figures 2 et 3, les angles de phase minimal et maximal existent dans les deux cas. Tous les deux ne sont égaux en valeur que pour la capacité parallèle C_0 compensée. De plus, l'impédance est maintenant symétrique par rapport à la fréquence de résonance série f_s .

2.2 Caractéristiques mécaniques

Deux modifications possibles du circuit en π , répondant aux prescriptions du paragraphe 2.1, sont données aux figures 4a) et 4b), page 12.