

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60679-2

Première édition
First edition
1981-01

Oscillateurs pilotés par quartz

**Deuxième partie:
Guide pour l'utilisation des oscillateurs
pilotés par quartz**

Quartz crystal controlled oscillators

**Part 2:
Guide to the use of quartz crystal
controlled oscillators**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60679-2: 1981

LICENSED TO MECON Limited - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

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

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

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60679-2

Première édition
First edition
1981-01

Oscillateurs pilotés par quartz

**Deuxième partie:
Guide pour l'utilisation des oscillateurs
pilotés par quartz**

Quartz crystal controlled oscillators

**Part 2:
Guide to the use of quartz crystal
controlled oscillators**

© IEC 1981 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

CHAPITRE III: GUIDE POUR L'UTILISATION DES OSCILLATEURS PILOTÉS PAR QUARTZ

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Termes et définitions	6
3. Caractéristiques des oscillateurs pilotés par quartz	8
3.1 Considérations générales	8
3.2 Types des oscillateurs pilotés par quartz	10
3.2.1 Oscillateur à quartz en boîtier (PXO)	10
3.2.2 Oscillateur à quartz à compensation de température (TCXO)	12
3.2.3 Oscillateur à quartz commandé par une tension (VCXO)	20
3.2.4 Oscillateur à quartz à enceinte à température régulée (OCXO)	22
4. Spécification et mesures des caractéristiques de fonctionnement d'un oscillateur	30
4.1 Influence de l'environnement	30
4.2 Variations de fréquence aléatoires	34
5. Spécification des paramètres d'oscillateur	38
5.1 Temps de stabilisation	38
5.1.1 Oscillateur à quartz en boîtier (PXO)	40
5.1.2 Oscillateur à quartz à compensation de température (TCXO)	40
5.1.3 Oscillateur à quartz à enceinte à température régulée (OCXO) (enceinte à un étage)	40
5.1.4 Oscillateur à quartz à enceinte à température régulée (OCXO) (enceinte à deux étages)	42
5.2 Gamme d'ajustage de la fréquence	42
5.2.1 Oscillateur à quartz en boîtier (PXO)	42
5.2.2 Oscillateur à quartz à compensation de température (TCXO)	44
5.2.3 Oscillateur à quartz à enceinte à température régulée (OCXO) (enceinte à un étage)	44
5.2.4 Oscillateur à quartz à enceinte à température régulée (OCXO) (enceinte à deux étages)	44
5.3 Stabilité de fréquence dans les conditions de température en régime permanent	44
6. Liste de contrôle des caractéristiques des oscillateurs pilotés par quartz à spécifier dans les feuilles particulières	48
BIBLIOGRAPHIE	56

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
 CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF QUARTZ CRYSTAL CONTROLLED OSCILLATORS	
Clause	
1. Scope	7
2. Terms and definitions	7
3. Characteristics of crystal controlled oscillators	9
3.1 General considerations	9
3.2 Types of crystal controlled oscillators	11
3.2.1 Packaged crystal oscillator (PXO)	11
3.2.2 Temperature compensated crystal oscillator (TCXO)	13
3.2.3 Voltage-controlled crystal oscillator (VCXO)	21
3.2.4 Oven-controlled crystal oscillator (OCXO)	23
4. Specification and measurement of oscillator performance	31
4.1 Environmental effects	31
4.2 Random frequency variations	35
5. Specification of oscillator parameters	39
5.1 Stabilization time	39
5.1.1 Packaged crystal oscillator (PXO)	41
5.1.2 Temperature compensated crystal oscillator (TCXO)	41
5.1.3 Oven-controlled crystal oscillator (OCXO) (single-stage oven)	41
5.1.4 Oven-controlled crystal oscillator (OCXO) (two-stage oven)	43
5.2 Frequency adjustment range	43
5.2.1 Packaged crystal oscillator (PXO)	43
5.2.2 Temperature compensated crystal oscillator (TCXO)	45
5.2.3 Oven-controlled crystal oscillator (OCXO) (single-stage oven)	45
5.2.4 Oven-controlled crystal oscillator (OCXO) (two-stage oven)	45
5.3 Frequency stability under steady-state temperature conditions	45
6. Check list of crystal-controlled oscillator characteristics to be specified in article sheets	49
 BIBLIOGRAPHY	 56

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

OSCILLATEURS PILOTÉS PAR QUARTZ

Deuxième partie: Guide pour l'utilisation des oscillateurs pilotés par quartz

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 CEI: Dispositifs piézoélectriques pour la commande et le choix de la fréquence.

Elle constitue la deuxième partie qui comprend le chapitre III de la norme de la CEI concernant les oscillateurs pilotés par quartz.

La première partie, comprenant les chapitres I et II: Informations générales, conditions et méthodes d'essai, est parue comme Publication 679-1 de la CEI.

La troisième partie, comprenant le chapitre IV: Encombrements normalisés, paraîtra comme Publication 679-3 de la CEI.

Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Tokyo en 1975. A la suite de cette réunion, un projet révisé, document 49(Bureau Central)116, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1978.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication des articles 1 à 5:

Afrique du Sud (République d')	Etats-Unis d'Amérique
Allemagne	France
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Danemark	Suisse
Egypte	Turquie
Espagne	Yougoslavie

Un projet de l'article 6 fut discuté lors de la réunion tenue à Zurich en 1979. A la suite de cette réunion, un projet révisé, document 49(Bureau Central)139, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juin 1980.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de cet article:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Nouvelle-Zélande
Belgique	Royaume-Uni
Bulgarie	Suède
Canada	Suisse
Egypte	Turquie
Espagne	Union des Républiques Socialistes
France	Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications n°s 314: Enceintes à température régulée pour les quartz.
 679-1: Oscillateurs pilotés par quartz,
 Première partie: Informations générales, conditions et méthodes d'essai.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

QUARTZ CRYSTAL CONTROLLED OSCILLATORS**Part 2: Guide to the use of quartz crystal controlled oscillators**

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.

It forms Part 2 which contains Chapter III of the IEC standard for quartz crystal controlled oscillators.

Part 1, containing Chapters I and II: General Information, Test Conditions and Methods, has been issued as IEC Publication 679-1.

Part 3, containing Chapter IV: Standard Outlines, will be issued as IEC Publication 679-3.

A draft was discussed at the meeting held in Tokyo in 1975. As a result of this meeting, a revised draft, Document 49(Central Office)116, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1978.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of Clauses 1 to 5:

Belgium	Spain
Canada	Sweden
Denmark	Switzerland
Egypt	Turkey
France	United Kingdom
Germany	United States of America
South Africa (Republic of)	Yugoslavia

A draft of Clause 6 was discussed at the meeting held in Zurich in 1979. As a result of this meeting, a revised draft, Document 49(Central Office)139, was circulated to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in June 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication of this clause:

Belgium	South Africa (Republic of)
Bulgaria	Spain
Canada	Sweden
Egypt	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist
Italy	Republics
New Zealand	United Kingdom

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos: 314: Temperature Control Devices for Quartz Crystal Units.
 679-1: Quartz Crystal Controlled Oscillators,
 Part 1: General Information, Test Conditions and Methods.

OSCILLATEURS PILOTÉS PAR QUARTZ

Deuxième partie: Guide pour l'utilisation des oscillateurs pilotés par quartz

CHAPITRE III: GUIDE POUR L'UTILISATION DES OSCILLATEURS PILOTÉS PAR QUARTZ

1. Domaine d'application

Les oscillateurs pilotés par quartz sont généralement utilisés pour fournir les fréquences stables requises pour les télécommunications et les systèmes de navigation et de traitement de l'information. La stabilité de fréquence procurée par les oscillateurs pilotés par quartz varie d'environ 1×10^{-4} à 1×10^{-10} en fonction de la fréquence de fonctionnement, des conditions ambiantes et de la façon particulière dont l'oscillateur est conçu. La spécification et/ou la description des caractéristiques de fonctionnement des oscillateurs à quartz restent une source de malentendu et d'insatisfaction non seulement pour le fabricant, mais aussi pour l'utilisateur. L'objectif de ce guide, conjointement avec la Publication 679-1 de la CEI: Première partie: Informations générales, conditions et méthodes d'essai, est de résumer quelques-unes des caractéristiques de fonctionnement des oscillateurs à quartz et de suggérer les paramètres importants qu'il convient d'introduire dans chaque spécification couvrant ces dispositifs.

Ce guide décrit les propriétés générales des oscillateurs à quartz et les caractéristiques de fonctionnement qui peuvent être obtenues avec ces dispositifs. Par commodité, les oscillateurs à quartz ont été classés de façon plutôt arbitraire en quatre groupes généraux: oscillateurs à quartz en boîtier (PXO), oscillateurs à quartz à compensation de température (TCXO), oscillateurs à quartz commandés par la tension (VCXO) et oscillateurs à quartz à enceinte à température régulée (OCXO).

Note. — Certains acronymes communément utilisés, comme VCXO, sont indiqués dans cet article et utilisés dans le reste de la présente norme par souci de concision. Cela s'applique aussi à l'utilisation du terme «oscillateur» à la place de «oscillateur piloté par quartz».

Il est évident que les variations possibles de l'importance des moyens de commande et de la combinaison de ces moyens sont presque illimitées; c'est pourquoi il peut être difficile de faire entrer des dispositifs particuliers dans ces catégories. Il est utile, cependant, d'examiner les principes de fonctionnement des dispositifs dans ces catégories générales afin d'estimer les caractéristiques qui peuvent être obtenues avec différentes combinaisons.

Cette norme comporte aussi un exposé général des spécifications et des mesures de la stabilité de fréquence utiles pour évaluer le fonctionnement d'un oscillateur et également un exposé de certaines conditions de fonctionnement qui sont souvent mal comprises et même incorrectement spécifiées.

2. Termes et définitions

Les termes spéciaux utilisés dans cette norme sont définis dans la Publication 679-1 de la CEI.

QUARTZ CRYSTAL CONTROLLED OSCILLATORS

Part 2: Guide to the use of quartz crystal controlled oscillators

CHAPTER III: GUIDE TO THE USE OF QUARTZ CRYSTAL CONTROLLED OSCILLATORS

1. Scope

Crystal controlled oscillators are commonly used to provide the stable frequencies required for telecommunications, navigation and data processing systems. Depending upon the frequency of operation, ambient conditions and specific oscillator design, crystal controlled oscillators are capable of providing frequency stability varying from about 1×10^{-4} to 1×10^{-10} . The specification and/or description of the performance characteristics of crystal controlled oscillators has remained a source of misunderstanding and dissatisfaction for both manufacturer and user. It is the objective of this guide, in conjunction with IEC Publication 679-1: Part 1: General Information, Test Conditions and Methods, to summarize some of the performance characteristics of crystal controlled oscillators and to suggest the important parameters which should be included in any crystal oscillator specification.

This guide describes the general properties of, and performance characteristics to be obtained with quartz crystal controlled oscillators. For convenience, crystal controlled oscillators have been rather arbitrarily categorized in four general groups: packaged crystal oscillators (PXO), temperature compensated crystal oscillators (TCXO), voltage-controlled crystal oscillators (VCXO) and oven-controlled crystal oscillators (OCXO).

Note. — Certain commonly used acronyms such as VCXO, are noted in this clause and used elsewhere in this standard for purposes of brevity. This also applies to the use of the term “oscillator” instead of “crystal controlled oscillator”.

Clearly, almost unlimited variation in both degree and combination of design is possible, so that it may be difficult to fit particular devices into these categories. However, it is useful to consider the principles of operation and performance capabilities of devices in these general categories in order to estimate the characteristics which may be possible with various combinations.

Also included is a general discussion of the specification and measurement of frequency stability which is useful in evaluating oscillator performance, as well as a discussion of some of the important performance factors which are often misunderstood and even incorrectly specified.

2. Terms and definitions

Special terms used in this standard are defined in IEC Publication 679-1.

3. Caractéristiques des oscillateurs pilotés par quartz

3.1 Considérations générales

En termes très généraux, un oscillateur piloté par quartz peut être décrit comme consistant en un amplificateur ou circuit de gain, avec un circuit à réaction positive. Un circuit typique d'oscillateur est représenté à la figure 1.

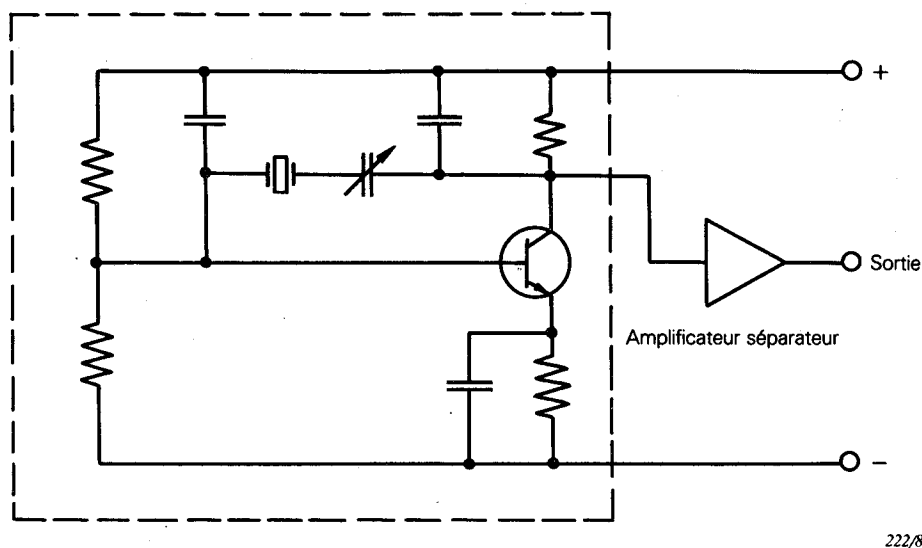


FIG. 1. – Schéma de base d'un oscillateur piloté par quartz.

L'oscillation propre d'un tel circuit se produira à condition que le gain de boucle soit supérieur à l'unité, à une fréquence pour laquelle la phase totale de boucle est égale à $2n\pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$). Le niveau du signal d'oscillation dépendra des caractéristiques du circuit de gain, alors que la fréquence d'oscillation sera déterminée par des considérations de phase. Le spectre du signal de sortie dépendra du niveau d'oscillation, du bruit électrique introduit par les éléments de circuit et des largeurs de bande des circuits. En général, la largeur du spectre est extrêmement faible et, pour la plupart des applications, on ne considère que l'allure de la fréquence centrale ou de la fréquence moyenne. Si l'on néglige l'altération de la pureté du signal par le bruit électrique, on peut dire que la fréquence moyenne d'oscillation est toujours déterminée par les conditions requises par la phase de boucle. Toute perturbation dans la phase de boucle entraîne une déviation de fréquence. On considère généralement que ces perturbations sont de deux classes, soit:

- a) les écarts dans les paramètres du circuit électrique;
- b) les écarts dans les caractéristiques du quartz.

La classe a) comprend des facteurs tels que les coefficients de température des condensateurs, inductances, résistances et transistors; le vieillissement de ces dispositifs, leurs caractéristiques de tension et de courant et leur sensibilité aux perturbations mécaniques. Quelle qu'en soit la cause, la perturbation de phase ($\Delta\theta_N$) dans le circuit de transfert de phase provoquera une variation de la fréquence moyenne d'oscillation:

$$\Delta f = f_o \frac{\Delta\theta_N}{2Q_x}$$

où:

f_o est la fréquence nominale d'oscillation et Q_x est le Q effectif du quartz à bande étroite

3. Characteristics of crystal controlled oscillators

3.1 General considerations

In very general terms, a crystal controlled oscillator may be described as consisting of an amplifier, or gain circuit, together with a positive feedback network. A typical oscillator circuit is shown in Figure 1.

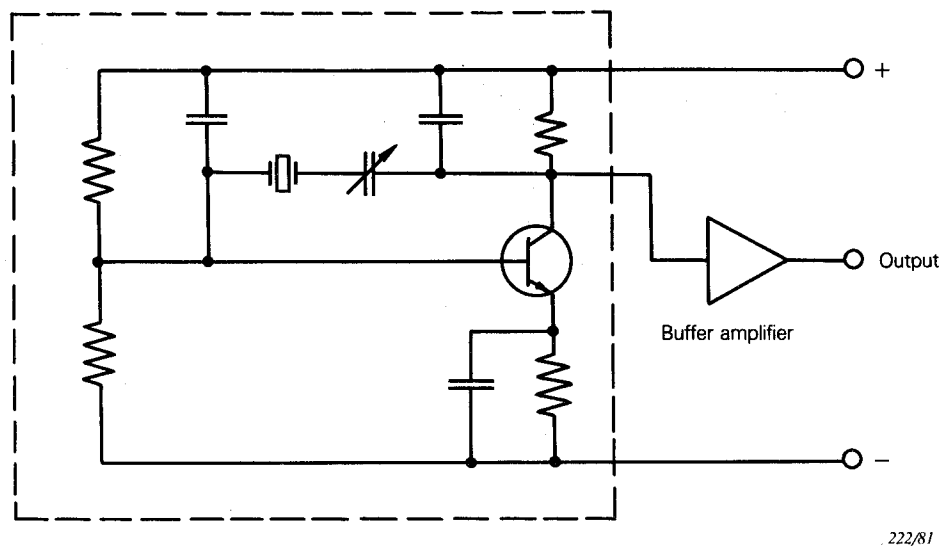


FIG. 1. - Basic crystal controlled oscillator circuit.

Self-oscillation of such a circuit will occur provided the loop gain exceeds unity at some frequency for which the total loop phase is $2n\pi$ ($n = 0, 1, 2, \dots$). The level of the oscillating signal will depend on circuit gain characteristics, while the frequency of oscillation will be determined by phase considerations. The output signal spectrum will depend upon the level of oscillation, the electrical noise introduced by circuit elements and the bandwidths of the circuits. Generally, the spectral width is extremely small and, for a majority of applications, only the centre or average frequency behaviour need be considered. Disregarding for the moment the degradation of a signal purity by electrical noise, the average frequency of oscillation will always be determined by the loop phase requirement. Deviations in frequency will result whenever any perturbation of loop phase occurs. These perturbations may be generally considered to be of two classes, namely:

- a) deviations in electrical circuit parameters;
- b) deviations in the crystal unit.

In class a) are included such factors as the temperature coefficients of capacitors, inductors, resistors and transistors; the ageing of these devices; their voltage and current characteristics and their susceptibility to mechanical disturbance. Whatever the cause, a phase perturbation ($\Delta\phi_N$) in the circuit transfer phase will cause a change in the average frequency of oscillation:

$$\Delta f = f_0 \frac{\Delta\phi_N}{2Q_X}$$

where:

f_0 is the nominal frequency of oscillation and Q_X is the effective Q of the narrow-band crystal network

Les écarts de la classe *b*) comprennent les variations des caractéristiques du quartz provoquées par la température, le gradient de température, le niveau d'excitation, «le vieillissement de fréquence» et l'environnement mécanique (chocs, accélération et vibrations).

Le circuit de l'oscillateur à quartz est généralement réalisé de manière que la bande de son circuit de gain soit aussi large que le permet la technique afin de réduire autant que possible la sensibilité de phase du réseau. D'autre part, le circuit de réaction est généralement conçu de telle façon que la bande de transmission soit aussi étroite que possible afin que la fréquence d'oscillation ne dépende essentiellement que des caractéristiques du quartz. Lorsque l'ajustage de la fréquence est nécessaire, il est réalisé de préférence en introduisant une réactance variable qui modifie la fréquence de transmission du circuit du quartz sans élargir la bande de transmission. Lorsque l'on suit ces règles générales, la stabilité de fréquence de l'oscillateur dépend principalement des caractéristiques du quartz; il convient de le choisir de façon que:

- a) il possède un facteur de surtension élevé;
- b) il présente une faible variation de la fréquence dans la gamme de fonctionnement prévue;
- c) il ait une faible variation de la fréquence en fonction du niveau d'excitation;
- d) sa sensibilité aux chocs mécaniques, à l'accélération et aux vibrations soit faible, et
- e) il présente un faible «vieillissement de la fréquence».

3.2 Types des oscillateurs pilotés par quartz

3.2.1 Oscillateur à quartz en boîtier (PXO)

La plupart des équipements électroniques doivent fonctionner dans une certaine gamme de températures ambiantes, c'est-à-dire de 0°C à 60°C, ou de -40°C à +80°C. Par conséquent, la caractéristique fréquence-température d'un quartz est habituellement le facteur le plus important pour déterminer la stabilité de la fréquence des oscillateurs à quartz en boîtier.

On peut s'attendre à des écarts de l'ordre de $\pm 1 \times 10^{-4}$ pour les quartz basse fréquence vibrant en mode de flexion ou d'extension, tandis que pour les quartz vibrant en cisaillement d'épaisseur (fréquences supérieures à 1 MHz environ) les écarts peuvent être de l'ordre de $\pm 2 \times 10^{-5}$ dans une gamme de températures de -40°C à +90°C.

Lorsqu'une meilleure stabilité de fréquence est requise, il est nécessaire de fournir un circuit de compensation de la température, ou de placer le quartz dans un environnement à température stable au moyen d'un système régulateur de température.

Les caractéristiques particulières des oscillateurs de ces types sont considérées dans les articles suivants.

La tenue en fréquence d'un quartz en fonction de la température est caractérisée par les dimensions de la lame de quartz, le mode de vibration, le métal et l'épaisseur des électrodes, les modes de suspension utilisés et, principalement, l'orientation de la lame par rapport aux axes cristallographiques. Les caractéristiques qui peuvent être obtenues pour des orientations différentes d'un résonateur à quartz de coupe AT sont présentées à la figure 2, page 12 [1]*. Un exposé plus complet des caractéristiques des quartz en fonction de la température peut être trouvé dans [2]*.

* [1] et [2], voir la bibliographie, page 56.

Class *b*) deviations include changes in crystal unit characteristics caused by temperature, temperature gradient, drive level, “frequency ageing” and mechanical environment (shock, acceleration and vibration).

The crystal oscillator circuit is generally designed to use a gain circuit having as broad a band as practicable, in order to reduce the network phase sensitivity as much as possible. The crystal feedback network, on the other hand, is usually designed to have as narrow a transmission band as can be obtained so as to make the frequency of oscillation depend essentially only on the crystal unit characteristics. When frequency adjustment is required, it is preferably accomplished by introducing a variable reactance which changes the transmission frequency of the crystal network without widening the transmission band. When these general practices are followed, the oscillator frequency stability will depend primarily upon the characteristics of the crystal unit, which should be chosen so as to:

- a) have a high Q -factor;
- b) exhibit a small change of frequency over the intended operating temperature range;
- c) have a low drive-level coefficient of frequency;
- d) provide low sensitivity to mechanical shock, acceleration and vibration, and
- e) exhibit a small frequency drift due to ageing.

3.2 *Types of crystal controlled oscillators*

3.2.1 *Packaged crystal oscillator (PXO)*

Most electronic equipment is required to operate over a range of ambient temperatures, i.e. 0 °C to 60 °C, or –40 °C to +80 °C. Consequently, the frequency-temperature characteristic of the crystal unit is usually the most important factor in determining the frequency stability of packaged crystal oscillators.

For low-frequency crystal units vibrating in flexural or extensional modes, deviations as great as $\pm 1 \times 10^{-4}$ might be expected, while the thickness shear types (frequencies above about 1 MHz) could be expected to deviate by about $\pm 2 \times 10^{-5}$ over a temperature range of –40 °C to +90 °C.

When better frequency stability is required, it is necessary to provide temperature compensating circuitry, or to provide a temperature-stabilized environment for the crystal unit by means of a temperature control device.

Special characteristics of oscillators of these types are considered in later clauses.

The temperature behaviour of frequency of crystal units is dependent upon the dimensions of the quartz plate, the mode of vibration, the material and thickness of electrodes, the mounting methods employed and, mainly, the orientation of the plate with respect to the crystallographic axes. Figure 2, page 13, shows the characteristics which may be obtained for various orientations of an AT-cut quartz resonator [1]*. A more complete discussion of temperature characteristics of crystal units may be found in [2]*.

* [1] and [2], see the Bibliography, page 56.

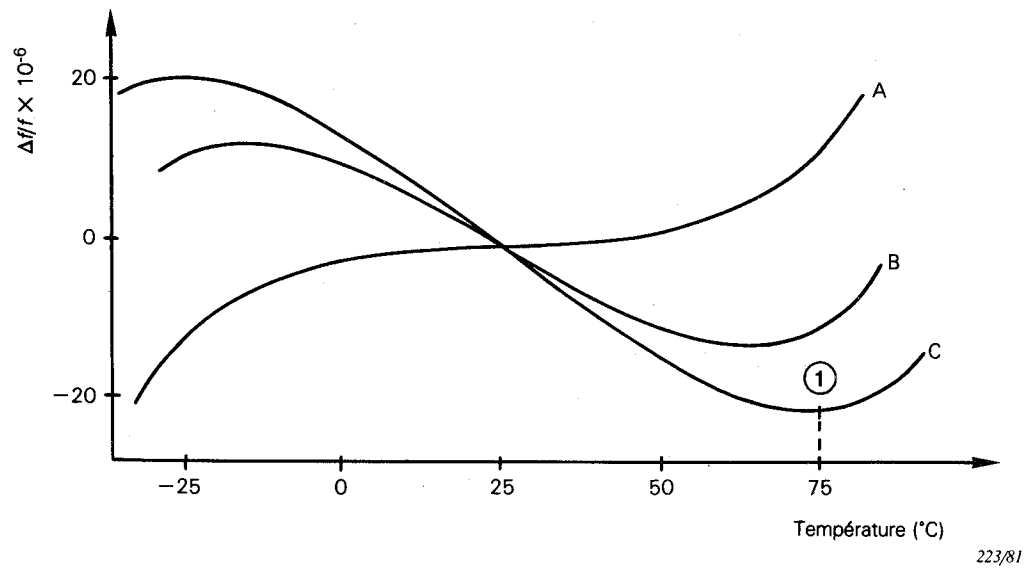


FIG. 2. - Caractéristique fréquence-température des quartz typiques de coupe AT en fonction de différents angles de coupe.

La variation de fréquence en fonction du temps, communément désignée sous le terme de «vieillessement», est déterminée en premier lieu par le cristal de quartz [2]. Le vieillissement typique pour les quartz à 10 MHz sur le mode fondamental est de 1×10^{-7} par semaine, tandis que les quartz fonctionnant en modes partiels et les quartz bien vieillis présentent des valeurs inférieures à celui-ci. Le vieillissement ne présente généralement pas d'importance dans les applications où de simples oscillateurs en boîtier sont utilisés, car il est faible en comparaison des écarts de fréquence causés par les variations de la température.

3.2.2 Oscillateur à quartz à compensation de température (TCXO)

On peut utiliser un oscillateur à compensation de température (TCXO) pour obtenir une stabilité meilleure que celle qui est possible avec un simple oscillateur en boîtier. Cette meilleure stabilité peut être obtenue au prix d'une complexité accrue des circuits d'un format plus important, d'une consommation plus grande de puissance et d'un coût plus élevé.

Un circuit additionnel requis pour une compensation analogique de température est représenté en trait gras sur la figure 3, page 14. Une diode à capacité variable et un réseau thermistance-résistance ont été ajoutés à l'oscillateur de base (figure 1, page 8). Un régulateur de tension a été aussi introduit pour fournir la tension de référence de grande stabilité requise pour le circuit de compensation. Afin de réduire les effets des charges extérieures sur la fréquence d'oscillateur, un amplificateur séparateur plus complexe est aussi requis habituellement.

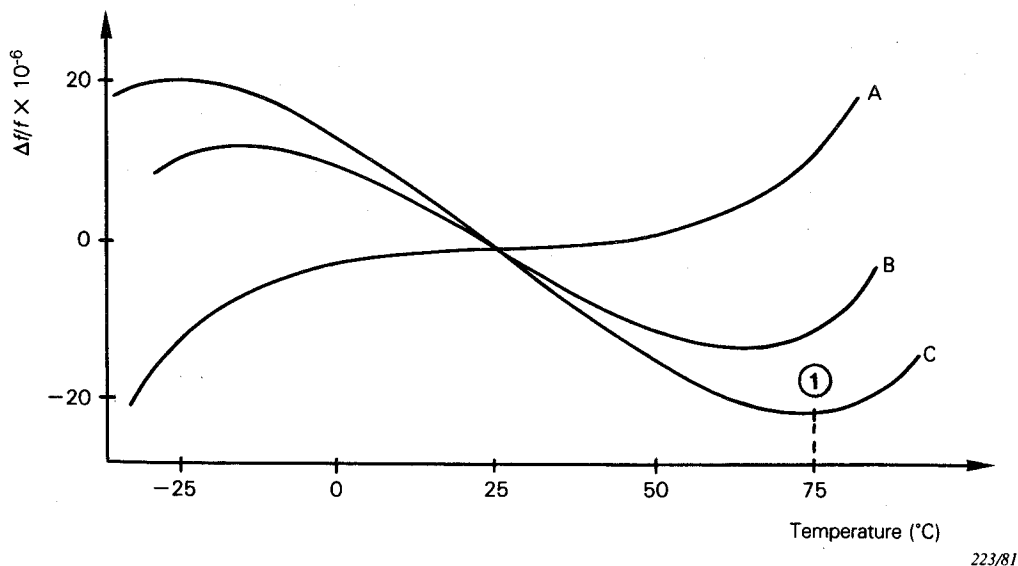


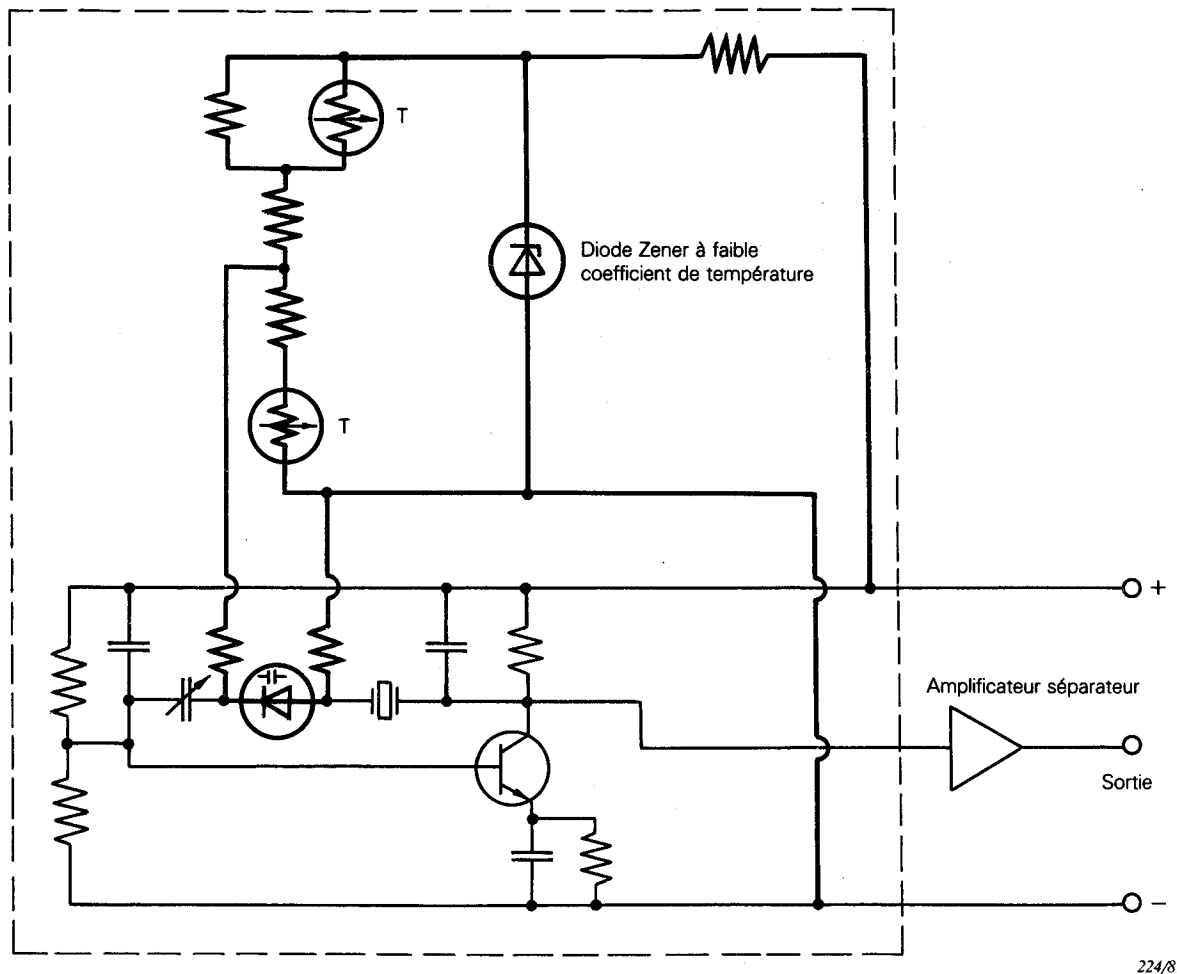
FIG. 2. – Frequency-temperature characteristics of typical AT-cut crystals with different orientation angles.

The frequency change as a function of time, usually referred to as “ageing”, is primarily determined by the quartz crystal used [2]. A typical ageing rate for 10 MHz fundamental mode crystals is 1×10^{-7} per week while overtone units and well-aged units exhibit values lower than this. The ageing is usually unimportant in applications using simple packaged oscillators, since it is small compared with the frequency deviations caused by temperature variations.

3.2.2 Temperature compensated crystal oscillator (TCXO)

To obtain better stability than that possible with the simple packaged crystal oscillator, a temperature compensated crystal oscillator (TCXO) can be used. This improved stability will be obtained at the expense of added circuit complexity, increased size, higher power consumption and increased cost.

Added circuitry required for analogue temperature compensation is shown by the heavy lines in Figure 3, page 15. A varactor diode and a thermistor-resistor network have been added to the basic oscillator (Figure 1, page 9). A voltage regulator has also been added to provide the highly stable reference voltage required for the compensation network. A more sophisticated output buffer amplifier will usually be required as well, in order to reduce the effects of external loading on the oscillator frequency.



224/81

FIG. 3. – Oscillateur à quartz à compensation de température (TCXO) dans lequel la méthode analogique est utilisée.

La résistance de la thermistance dépend fortement de la température et le réseau est soigneusement conçu pour définir en fonction de la température la tension à appliquer à la diode à capacité variable. Cette tension modifie la valeur de la capacité de la diode à capacité variable et, par suite, la capacité de charge du quartz. Cette modification de la capacité de charge fait varier de façon prédéterminée la fréquence de l'oscillateur à quartz pour compenser la caractéristique fréquence-température du quartz aussi bien que toute autre variation du régulateur de tension, des composants actifs, éléments de circuit et amplificateurs séparateurs, provoquée par la température. Le choix des valeurs du réseau thermistance-résistance est difficile à faire et le calcul des paramètres du réseau exige souvent l'utilisation des techniques d'optimisation informatique.

Dans la plupart des applications, le quartz utilisé a une caractéristique fréquence-température semblable à la courbe B de la figure 2, page 12. Le choix du meilleur angle de coupe d'un quartz dépend de la stabilité exigée et de la gamme de températures. Un compromis doit être atteint entre, d'une part, le quartz ayant une pente fréquence-température d'une bonne linéarité entre points d'inversion pour une variation de fréquence d'une certaine importance et, d'autre part, le quartz ayant une variation de fréquence plus faible mais une pente de linéarité moins bonne. La pente la plus linéaire est plus facile à compenser, mais la compensation doit être plus précise en raison d'une variation plus grande de la fréquence. La localisation des points d'inversion doit aussi être prise en considération car la réalisation de la réactance de compensation est simplifiée lorsqu'un seul point d'inversion est situé dans la gamme de températures considérée.

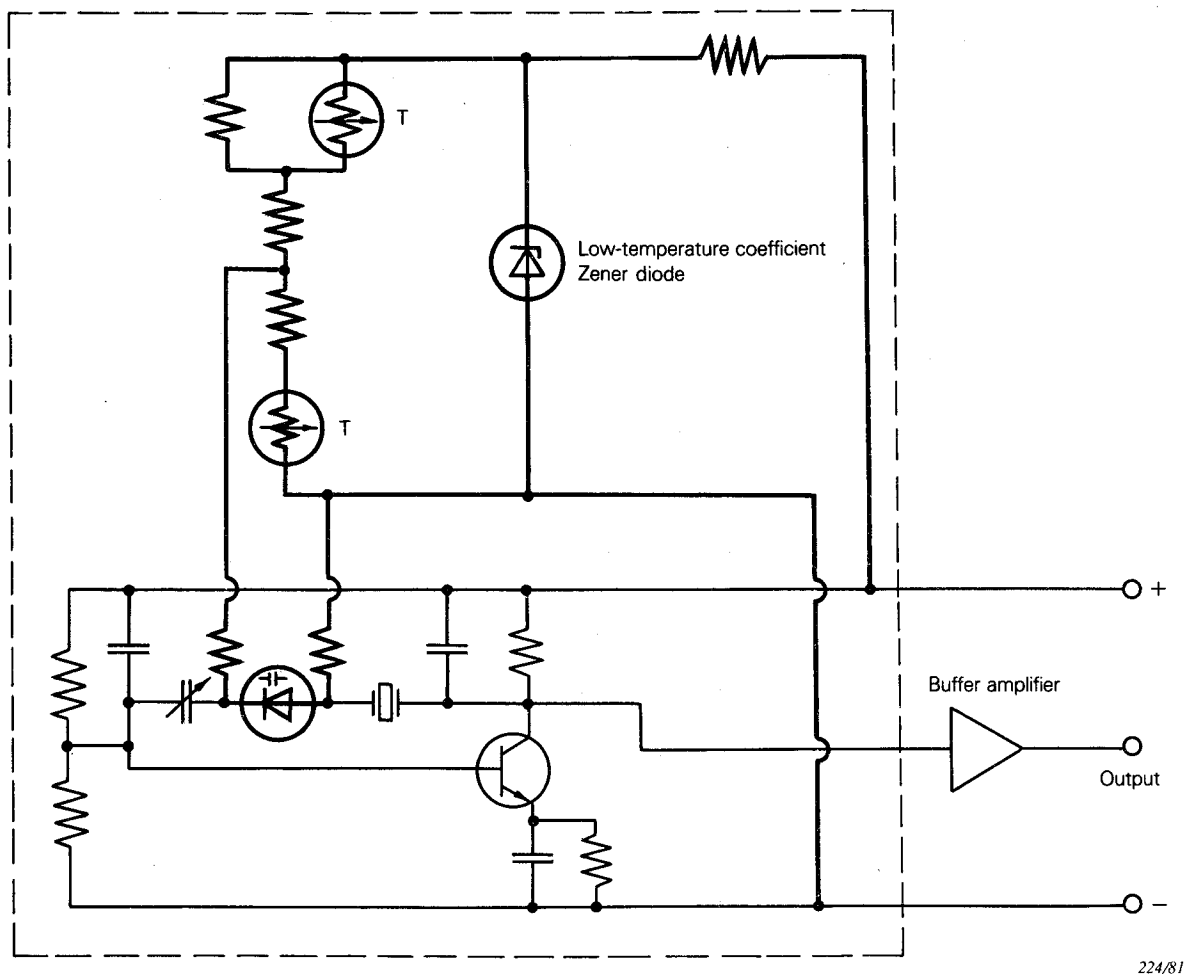


FIG. 3. - Temperature compensated crystal oscillator (TCXO) using analogue method.

The resistance of the thermistor is strongly temperature-dependent, and the network is carefully designed to synthesize a voltage, which is a function of temperature, to be applied to the varactor. This voltage changes the capacitance value of the varactor and thus the load capacitance of the crystal. This load capacitance change varies the crystal oscillator frequency in a predetermined manner to compensate for the crystal frequency-temperature characteristic, as well as any other temperature-induced changes of the voltage regulator, active device, circuit elements and buffer amplifiers. The choice of values in the thermistor-resistor network is quite complicated and often requires computer optimization techniques to determine the network parameters.

The crystal used in most applications has a frequency-temperature characteristic similar to curve B in Figure 2, page 13. The best angle of cut for the crystal depends on the stability needed and the temperature range. A compromise must be reached between the crystal with a more linear frequency-temperature slope between turning points with its greater frequency change and the crystal with a smaller frequency change but a more non-linear slope. The more linear slope is easier to compensate, but it must be compensated more precisely because of the larger frequency change. Another consideration is the location of the turnover points, since synthesis of the compensating reactance is simplified when only one turnover occurs in the temperature range of interest.

Une autre méthode, désignée sous le terme de «compensation numérique», est parfois utilisée pour les TCXO. Dans cette méthode, la température du quartz est déterminée à l'aide d'un dispositif sensible et convertie en une représentation numérique. D'après cette valeur de température, une tension de valeur binaire est envoyée à un convertisseur numérique/analogique, où elle est convertie en une tension analogique qui est appliquée à la diode à capacité variable d'ajustage. Plusieurs mises en application de cette technique sont possibles, depuis une simple recherche tabulaire des valeurs de tension accumulées dans une mémoire numérique, effectuée en permanence par l'élément thermosensible, jusqu'à l'utilisation d'un microprocesseur pour résoudre une équation de la tension en fonction de la température, équation que ce dernier conserve en mémoire. En tout cas, l'approche numérique permet de résoudre par des moyens détournés la difficulté due à une forme particulière de la caractéristique fréquence-température, car elle peut en principe s'adapter à des fonctions de tous types. La limite théorique ne réside que dans la quantification des accroissements de température et celle de la tension analogique effectuée dans le convertisseur numérique/analogique. La figure 4. présente une méthode de compensation numérique.

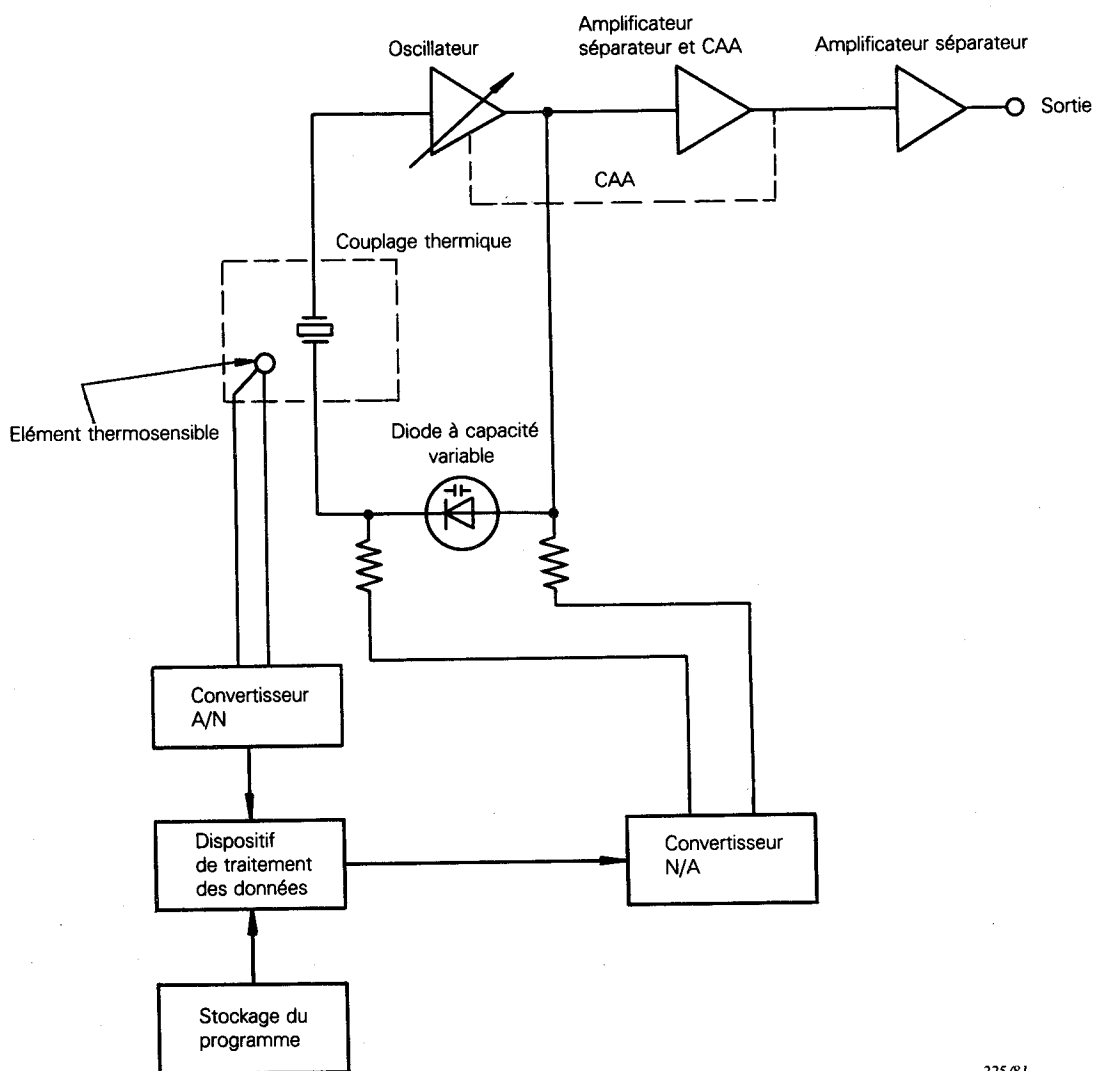


FIG. 4. - TCXO utilisant la méthode de compensation numérique.

Il est aussi possible d'utiliser une méthode hybride, dans laquelle un circuit analogique est utilisé pour obtenir une compensation approchée (soit un rapport d'amélioration de l'ordre de 10 à 20) et où ensuite la caractéristique de stabilité en fréquence est améliorée à l'aide d'une technique numé-

Another method sometimes used for TCXO's is the so-called "digital compensation method". In this method, the temperature of the crystal unit is determined with a sensing device and converted to a digital representation. Based upon this value of temperature, a calculated binary voltage value is sent to a digital-analogue converter, where it is converted to an analogue voltage, and applied to the varactor tuning element. Several implementations of this technique are possible, ranging from a simple reference table of voltage values stored in a digital memory, and indexed by the temperature sensor, to the use of a microprocessor to solve a stored equation of voltage as a function of temperature. In any case, the digital approach circumvents the problem of requiring a particular kind of frequency-temperature characteristic for the crystal unit, as any sort of function can in principle be accommodated. The theoretical limitation is only the quantization of temperature increments and of the analogue voltage produced by the digital-analogue converter. Figure 4 shows one method for digital compensation.

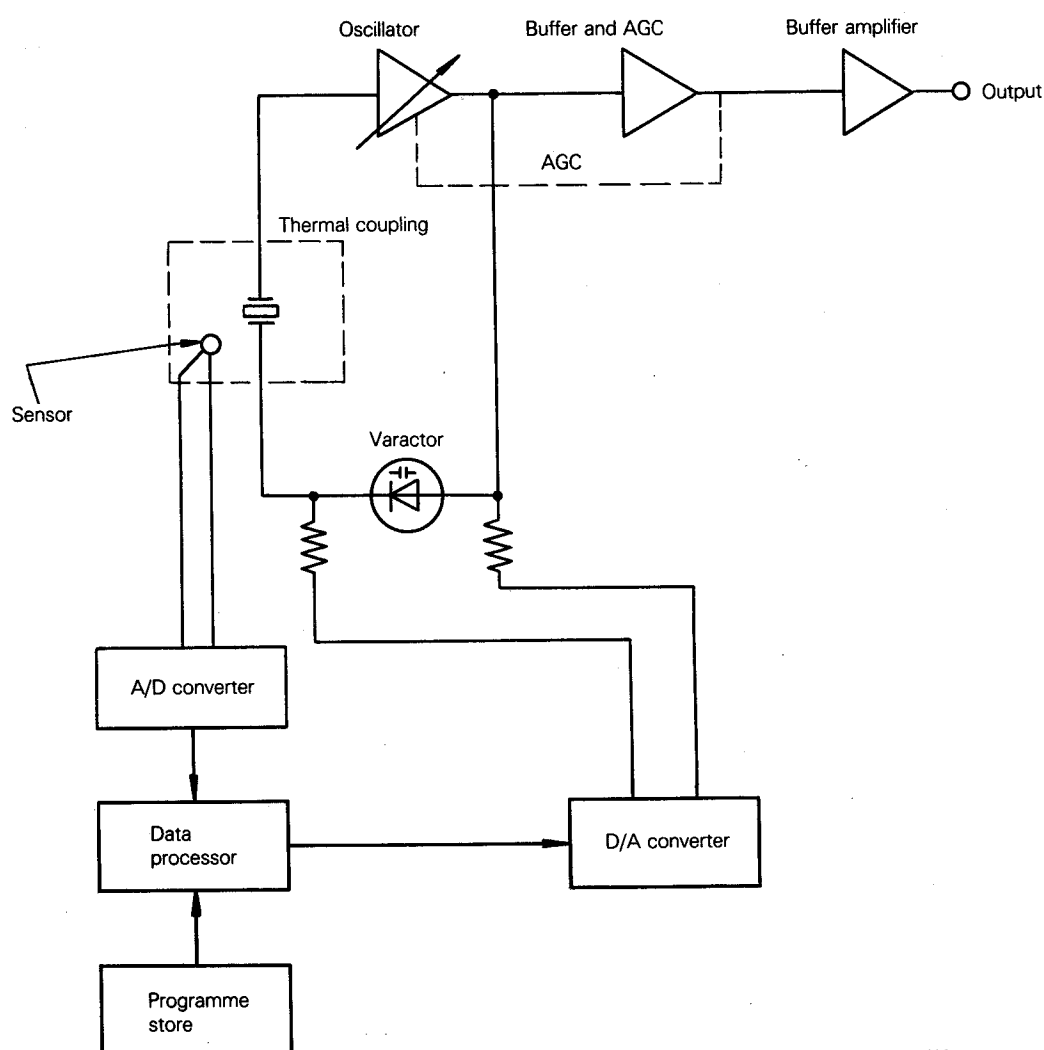


FIG. 4. - TCXO using digital compensation method.

It is also possible to use a hybrid method, in which an analogue circuit is used to obtain an approximate compensation (say, an improvement ratio of about 10 to 20), and then a digital technique of smaller dynamic voltage range is used to refine the frequency stability performance.