

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 184

Première édition — First edition

1965

**Méthodes de spécification des caractéristiques relatives aux transducteurs
électromécaniques destinés aux mesures de chocs et de vibrations**

**Methods for specifying the characteristics of electro-mechanical
transducers for shock and vibration measurements**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60184-1:1965

Withdawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 184

Première édition — First edition

1965

**Méthodes de spécification des caractéristiques relatives aux transducteurs
électromécaniques destinés aux mesures de chocs et de vibrations**

**Methods for specifying the characteristics of electro-mechanical
transducers for shock and vibration measurements**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6
Articles	
1. Domaine d'application	8
2. Objet	8
3. Définitions	8
3.1 Capteurs de chocs et de vibrations	8
3.2 Vibration	8
3.3 Choc mécanique	8
3.4 Déplacement vibratoire	10
3.5 Vitesse vibratoire	10
3.6 Accélération vibratoire	10
3.7 Système sismique	10
3.8 Système sismique amorti	10
3.9 Fréquence propre (en l'absence d'amortissement)	10
3.10 Fréquence naturelle de vibration (en l'absence d'excitation)	12
3.11 Fréquence de résonance	12
3.12 Décrément logarithmique	12
3.13 Taux de décroissance	12
3.14 Facteur de surtension Q	12
3.15 Rapport d'amortissement	12
4. Spécifications	12
4.1 Généralités	12
4.2 Type	12
4.3 Fixation	14
4.4 Type de mouvement	14
4.5 Masse, moment d'inertie	14
4.6 Dimensions hors tout	14
4.7 Position de l'élément mobile	14
4.8 Montage	14
4.9 Liaisons	14
4.10 Température et humidité	14
4.11 Élément sensible	16
4.12 Source d'énergie	16
4.13 Nature du signal de sortie	16
4.14 Appareillage auxiliaire	16
4.15 Déplacement (accélération) maximal admissible	18
4.16 Déplacement (accélération) minimal mesurable	18
4.17 Efficacité et courbe de réponse	18
4.18 Gamme utile de fréquences	18
4.19 Courbe de réponse en phase	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7
Articles	
1. Scope	9
2. Object	9
3. Definitions	9
3.1 Shock and vibration transducers	9
3.2 Vibration	9
3.3 Mechanical shock	9
3.4 Vibration displacement	11
3.5 Vibration velocity	11
3.6 Vibration acceleration	11
3.7 Seismic system	11
3.8 Damped seismic system	11
3.9 Undamped natural frequency	11
3.10 Damped natural frequency (without excitation)	13
3.11 Resonance frequency	13
3.12 Logarithmic decrement	13
3.13 Rate of decay	13
3.14 Quality factor Q (magnification factor)	13
3.15 Damping ratio	13
4. Specifications	13
4.1 General	13
4.2 Type	13
4.3 Attachment	15
4.4 Type of motion	15
4.5 Mass, moment of inertia	15
4.6 Over-all dimensions	15
4.7 Position of moving element	15
4.8 Mounting	15
4.9 Connections	15
4.10 Temperature and humidity	15
4.11 Sensing element	17
4.12 Energy source	17
4.13 Nature of output	17
4.14 Auxiliary equipment	17
4.15 Limits for maximum-motion (acceleration)	19
4.16 Limits for minimum motion (acceleration)	19
4.17 Sensitivity, response and response curve	19
4.18 Frequency range	19
4.19 Phase response curve	21

4.20	Amortissement	20
4.21	Orientation	20
4.22	Indication de la direction sensible	20
4.23	Directivité	20
4.24	Impédance électrique	20
4.25	Champs perturbateurs électromagnétiques et acoustiques	20
4.26	Courants telluriques	20

ANNEXE A: CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

A-1	Classes des capteurs de vibrations	22
A-1.1	Capteurs d'accélération (accéléromètres)	22
A-1.2	Capteurs de vitesse	24
A-1.3	Capteurs de déplacement.	26
A-2	Éléments sensibles	26
A-2.1	Fil résistant sensible à la contrainte	26
A-2.2	Potentiomètre à résistance	28
A-2.3	Capacité variable	28
A-2.4	Inductance variable	28
A-2.5	Générateur électromagnétique	30
A-2.6	Générateur piézoélectrique	30
FIGURES		32

With IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60184-1:1965

4.20	Damping	21
4.21	Orientation	21
4.22	Indication of sensitive direction	21
4.23	Direction discrimination	21
4.24	Electrical impedance	21
4.25	Disturbing electromagnetic and acoustic fields	21
4.26	Earth currents	21

APPENDIX A: GENERAL CONSIDERATIONS

A-1	Classes of vibration transducers	23
A-1.1	Acceleration transducers (accelerometers)	23
A-1.2	Velocity transducers	25
A-1.3	Displacement transducers	27
A-2	Sensing elements	27
A-2.1	Strain-sensitive resistance wire	27
A-2.2	Resistive potentiometer	27
A-2.3	Variable capacitance	29
A-2.4	Variable inductance	29
A-2.5	Electromagnetic	31
A-2.6	Piezoelectric	31
FIGURES		33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES DE SPÉCIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES
RELATIVES AUX TRANSDUCTEURS ÉLECTROMÉCANIQUES
DESTINÉS AUX MESURES DE CHOCS ET DE VIBRATIONS**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 29 de la C E I : Electroacoustique.

Les travaux ont commencé lors de la réunion tenue à Rapallo en 1960, par la discussion d'un premier projet présenté par le Comité National des Etats-Unis. Un nouveau projet fut discuté lors de la réunion tenue à Helsinki en 1961. A la suite de cette dernière réunion, un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1962.

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

Allemagne	Norvège
Belgique	Portugal
Danemark	Roumanie
Etats-Unis d'Amérique	Suède
Finlande	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Italie	Turquie
Japon	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS FOR SPECIFYING THE CHARACTERISTICS OF
ELECTRO-MECHANICAL TRANSDUCERS
FOR SHOCK AND VIBRATION MEASUREMENTS**

FOREWORD

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

PREFACE

This Recommendation was prepared by IEC Technical Committee No. 29, Electro-acoustics.

Work was started at a meeting held in Rapallo in 1960, where a preliminary draft prepared by the United States National Committee was discussed. A new draft was then discussed at a meeting held in Helsinki in 1961. As a result of these discussions, a final draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1962.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Norway
Czechoslovakia	Portugal
Denmark	Romania
Finland	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Italy	Union of Soviet Socialist Republics
Japan	United States of America

MÉTHODES DE SPÉCIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES RELATIVES AUX TRANSDUCTEURS ÉLECTROMÉCANIQUES DESTINÉS AUX MESURES DE CHOCS ET DE VIBRATIONS

1. Domaine d'application

La présente recommandation fournit des spécifications pour la présentation des renseignements concernant les caractéristiques des transducteurs électromécaniques (capteurs) destinés à la mesure des chocs et des vibrations et susceptibles de produire des signaux électriques qui sont des fonctions connues des accélérations, vitesses ou déplacements, soit linéaires (dans une ou plusieurs directions), soit angulaires, des objets dont on veut mesurer les mouvements.

La présente recommandation n'a pas pour dessein de spécifier les performances des capteurs.

2. Objet

La présente recommandation donne des méthodes pour spécifier les caractéristiques importantes des capteurs de chocs et de vibrations. Elle a pour but de permettre, d'une part, aux constructeurs, d'indiquer les caractéristiques de leurs capteurs, d'autre part, aux utilisateurs, de choisir un type particulier de capteur, ou d'établir un cahier des charges.

L'exactitude des renseignements donnés dépend de conditions ambiantes comme la température, de caractéristiques de fabrication comme la fréquence naturelle et de grandeurs intrinsèques comme la masse.

Le but de cette recommandation est de s'assurer que l'utilisateur possède une description complète des caractéristiques de n'importe quel capteur.

Des spécifications concernant un capteur déterminé pourront être élaborées dans le cadre général de cette recommandation.

Dans ce qui suit, les transducteurs destinés à la mesure des chocs et des vibrations seront dénommés «capteurs».

3. Définitions

3.1 *Capteurs de chocs et de vibrations*

Un capteur de vibrations est un dispositif permettant de transformer le mouvement mécanique (vibration ou choc) à mesurer en un signal ou un oscillogramme électrique, optique, hydraulique, mécanique ou autre. (On ne considérera ici que les capteurs fournissant un signal électrique.)

3.2 *Vibration*

Une vibration est le mouvement des particules d'un milieu élastique de part et d'autre d'une position d'équilibre (Vocabulaire Electrotechnique International 08-05-005).

3.3 *Choc mécanique*

On dit qu'il y a «choc mécanique» lorsque la position d'un système est notablement modifiée dans un temps relativement court d'une manière non périodique. Ce choc est caractérisé par des déplacements brusques et donne lieu à des forces internes notables dans le système.

METHODS FOR SPECIFYING THE CHARACTERISTICS OF ELECTRO-MECHANICAL TRANSDUCERS FOR SHOCK AND VIBRATION MEASUREMENTS

1. Scope

This Recommendation provides specifications for the presentation of information about the characteristics of electro-mechanical vibration and shock transducers (pick-ups) the electrical outputs of which are known functions of the uniaxial, multiaxial or angular accelerations, velocities or displacements of objects whose motions are being measured.

It is not the intention of the Recommendation to offer a performance specification for the transducers.

2. Object

This Recommendation gives methods of specifying the important characteristics of shock and vibration transducers. It is intended as a guide to instrument manufacturers for indicating the characteristics of their transducers and as a help to users in selecting a particular type of transducer or preparing performance specifications.

The accuracy of the information provided depends on environmental effects such as temperature, on design characteristics such as natural frequency and on inherent factors such as mass.

The Recommendation is intended to ensure that the user receives an adequate description of the characteristics of any particular transducer.

Specifications for a particular transducer can be written, if necessary, within the general framework of the Recommendation.

In what follows shock and vibration transducers will be referred to simply as transducers.

3. Definitions

3.1 *Shock and vibration transducers*

A vibration pick-up is a device for converting the mechanical motion to be measured (vibration or shock) into an electrical, optical, hydraulic, mechanical or other signal or record. (Only pick-ups with an electrical output are considered in this Recommendation.)

3.2 *Vibration*

Vibration is defined as the movement of particles in an elastic medium about an equilibrium position (International Electrotechnical Vocabulary 08-05-005).

3.3 *Mechanical shock*

Mechanical shock is said to occur when the position of a system is significantly changed in a relatively short time in a non-periodic manner. It is characterized by the suddenness of the displacements and develops significant internal forces in the system.

Un tel mouvement peut être analysé sous forme d'un spectre continu en fréquence. Cela suppose qu'un choc mécanique ne peut être transformé fidèlement à l'aide d'un capteur en signal ou en enregistrement électrique ou autre, que si la réponse du capteur s'étend sans distorsion sur une bande de fréquence qui comprend la partie essentielle du spectre ci-dessus. Il faut alors que le capteur soit linéaire dans tout le domaine de variation d'amplitude du signal, que sa réponse en amplitude soit indépendante de la fréquence et que la rotation de phase soit proportionnelle à la fréquence dans tout le domaine comprenant la partie essentielle du spectre de choc.

3.4 *Déplacement vibratoire*

Le déplacement vibratoire, linéaire ou angulaire, est la modification de la position d'un corps, ou d'un point lié à ce corps, par rapport à un système de référence spécifié. Lorsqu'on ne spécifie pas de système de référence, on sous-entend que le système de référence est un système sismique.

Dans le cas d'un mouvement sinusoïdal, l'amplitude du déplacement est la valeur maximale du déplacement par rapport à sa valeur moyenne. L'amplitude du déplacement crête à crête est égale au double de l'amplitude du déplacement et est quelquefois désignée sous le nom d'amplitude double ou d'excursion totale. Dans le cas d'un mouvement de choc, le déplacement de crête est égal à la valeur maximale du déplacement.

3.5 *Vitesse vibratoire*

La vitesse vibratoire est la dérivée par rapport au temps du déplacement.

Dans le cas d'un mouvement sinusoïdal, l'amplitude de la vitesse est la valeur maximale de la vitesse. Pour les mouvements de choc, la vitesse de crête est égale à la valeur maximale de la vitesse.

3.6 *Accélération vibratoire*

L'accélération vibratoire est la dérivée par rapport au temps de la vitesse.

Dans le cas d'un mouvement sinusoïdal, l'amplitude de l'accélération est la valeur maximale de l'accélération. Pour les mouvements de choc, l'accélération de crête est la valeur maximale de l'accélération.

L'unité d'accélération est prise égale à l'accélération de la pesanteur. La valeur généralement adoptée pour cette accélération dans la technique des vibrations est de $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$. On exprime les amplitudes des accélérations en prenant g_n comme unité.

3.7 *Système sismique*

Un système sismique est un élément de mesure comportant essentiellement une masse suspendue élastiquement, au moyen d'un ressort par exemple, par rapport à un système de référence rigide. Dans un capteur sismique, ce système est constitué par le socle du capteur. Le mouvement de la masse par rapport au système peut être amorti.

3.8 *Système sismique amorti*

On entend par amortissement dans cette recommandation, la caractéristique de dissipation d'énergie d'un système sismique qui tend à ramener le système au repos lorsque l'excitation s'arrête.

3.9 *Fréquence propre (en l'absence d'amortissement)*

On entend dans cette recommandation par fréquence propre (en l'absence d'amortissement) d'un système sismique, la fréquence d'excitation sinusoïdale du système de référence pour laquelle la différence algébrique entre les mouvements de la masse et du système de référence change de signe.

Such a motion can be analyzed into a continuous frequency spectrum. A transducer can faithfully convert the mechanical shock into an electrical or other kind of signal or record, however, only if it responds without distortion over a frequency range which includes the significant part of the above spectrum. This requires that the transducer be linear throughout the amplitude range of the signal, that its amplitude response be independent of frequency and that the phase shift be proportional to frequency over the significant part of the shock-motion spectrum.

3.4 *Vibration displacement*

Vibration displacement, translational or angular, is the change in spatial location of a body, or a point therein, with respect to a specified reference frame. When no reference frame is specified, an inertial reference frame is to be understood.

For sinusoidal motion, the displacement amplitude is the maximum magnitude of the displacement measured from its mean value. The peak-to-peak displacement amplitude is double the displacement amplitude and is sometimes referred to as the double-amplitude or the total excursion. In the case of shock-motion, the peak displacement is the maximum magnitude of the displacement.

3.5 *Vibration velocity*

Vibration velocity is the time rate of change of displacement.

For sinusoidal motion, the velocity amplitude is the maximum magnitude of the velocity. For shock-motion, the peak velocity is the maximum magnitude of the velocity.

3.6 *Vibration acceleration*

Vibration acceleration is the time rate of change of velocity.

For sinusoidal motion, the acceleration amplitude is the maximum magnitude of the acceleration. For shock motion, the peak acceleration is the maximum magnitude of the acceleration.

The unit of acceleration is the acceleration due to gravity g_n . Its value is normally taken as 9.80665 m/s^2 for vibration work. Vibration acceleration magnitudes are expressed as multiples of g_n .

3.7 *Seismic system*

A seismic system is a measuring element consisting essentially of a mass flexibly mounted within a rigid reference frame, for example by means of a spring. In a seismic transducer the frame becomes the base for the transducer. The motion of the mass relative to the frame may be damped.

3.8 *Damped seismic system*

Damping, for the purpose of this Recommendation, is that energy-dissipating characteristic of a seismic system which tends to bring the system to rest when the stimulus is removed.

3.9 *Undamped natural frequency*

For the purpose of this Recommendation, the undamped natural frequency of a seismic system is the frequency of sinusoidal excitation of the frame at which the algebraic difference between the motions of the mass and the frame changes sign.

3.10 *Fréquence naturelle de vibration (en l'absence d'excitation)*

On entend dans cette recommandation, par fréquence naturelle de vibration d'un système sismique, la fréquence de sa vibration libre amortie.

3.11 *Fréquence de résonance*

On entend dans cette recommandation par fréquence de résonance d'un système sismique, la fréquence d'excitation sinusoïdale du système de référence à amplitude constante pour laquelle on obtient l'amplitude maximale du mouvement relatif de la masse par rapport à ce système.

3.12 *Décrément logarithmique*

Le décrément logarithmique A est le logarithme naturel du rapport de deux amplitudes quelconques, consécutives et de même signe, d'une oscillation amortie à fréquence unique :

$$A = \log_e \frac{A_n}{A_{n+1}}$$

3.13 *Taux de décroissance*

Le taux de décroissance est la dérivée de l'amplitude du mouvement vibratoire par rapport au temps, en un point donné, et à un instant donné. Une unité utilisée couramment est le décibel par seconde.

3.14 *Facteur de surtension Q*

Le facteur de surtension Q mesure l'acuité de la résonance ou la sélectivité en fréquence d'un système vibratoire résonant à un seul degré de liberté. Si f_r est la fréquence de résonance et Δf la largeur de bande séparant les deux fréquences correspondant à la puissance moitié de la puissance délivrée à la résonance, on a :

$$Q = \frac{f_r}{\Delta f}$$

3.15 *Rapport d'amortissement*

Le rapport d'amortissement est donné par :

$$\Theta = \frac{1}{2Q} = \frac{A}{2\pi} \cdot \frac{T_0}{T_d}$$

où T_0 est la période propre du système en l'absence d'amortissement et T_d la période naturelle du système amorti.

4. **Spécifications**

4.1 *Généralités*

Les renseignements suivants peuvent être utiles aux utilisateurs de capteurs. On recommande aux constructeurs de fournir, autant que possible, ces renseignements, en tout ou partie, dans leur documentation ainsi que dans la notice descriptive livrée avec le capteur.

4.2 *Type*

Le constructeur indiquera si le signal de sortie du capteur est sensiblement proportionnel au déplacement, à la vitesse ou à l'accélération vibratoires.

3.10 Damped natural frequency (without excitation)

For the purpose of this Recommendation, the damped natural frequency of a seismic system is the frequency of its damped free vibration.

3.11 Resonance frequency

For the purpose of this Recommendation, the resonance frequency of a seismic system is the frequency of sinusoidal excitation of the frame at constant amplitude, at which the maximum amplitude of the mass with respect to the frame occurs.

3.12 Logarithmic decrement

The logarithmic decrement Δ is the natural logarithm of the ratio of any two successive amplitudes of the same sign, in the decay of a single-frequency oscillation:

$$\Delta = \log_e \frac{A_n}{A_{n+1}}$$

3.13 Rate of decay

The rate of decay is the time rate at which the vibration amplitude decreases at a given point and at a given time. A commonly used unit is the decibel per second.

3.14 Quality factor Q (magnification factor)

The quality factor Q is a measure of the sharpness of resonance, or frequency selectivity, of a resonant vibratory system having a single degree of freedom. For the purpose of this document when f_r is the resonance frequency and Δf is the bandwidth between half-power points then:

$$Q = \frac{f_r}{\Delta f}$$

3.15 Damping ratio

The damping ratio is defined as:

$$\Theta = \frac{1}{2Q} = \frac{\Delta}{2\pi} \cdot \frac{T_o}{T_d}$$

where T_o is the periodic time of the undamped and T_d of the damped system.

4. Specifications

4.1 General

The following information may be helpful to the user of transducers. It is recommended that, where applicable, the manufacturer furnish this information, in full or in part, in his literature and in the descriptive leaflet supplied with the transducer.

4.2 Type

The manufacturer shall state whether the output of the transducer is substantially proportional to the displacement, velocity or acceleration of the vibration.

4.3 *Fixation*

On indiquera :

- 1) si l'instrument est destiné à être fixé à la surface vibrante par des boulons, des attaches ou à l'aide d'un ciment adhésif, comme dans le cas d'une sonde ou quelquefois dans le cas d'un capteur sismique ;
- 2) s'il peut être tenu à la main, dans le cas d'un capteur sismique ;
- 3) s'il relie deux systèmes de référence.

4.4 *Type de mouvement*

Le constructeur indiquera la nature du mouvement auquel le capteur est sensible, par exemple :

- 1) déplacement dans une direction ;
- 2) déplacement dans plusieurs directions ;
- 3) déplacement angulaire (arbre fixe ou rotatif).

4.5 *Masse, moment d'inertie*

On donnera la masse du capteur, dans le cas de capteurs sensibles au déplacement linéaire, et le moment d'inertie, par rapport à un axe déterminé, dans le cas de capteurs sensibles au déplacement angulaire.

Le câble de liaison ne devra pas augmenter sensiblement la masse effective du capteur.

4.6 *Dimensions hors tout*

Les dimensions extérieures du capteur seront données par un schéma ou un dessin.

4.7 *Position de l'élément mobile*

L'emplacement du centre de gravité de l'élément mobile sera donné si possible. (Ce renseignement est nécessaire dans le cas où on étalonne l'accéléromètre à l'aide d'un dispositif centrifuge, et dans d'autres applications où il peut y avoir un gradient d'espace ou une combinaison de mouvements linéaires et angulaires dans la quantité à mesurer.)

4.8 *Montage*

On indiquera le procédé de fixation du capteur, ainsi que l'emplacement et la dimension des trous ou des ergots de fixation. Lorsque le capteur est relié par des courroies au système dont il faut étudier le mouvement, on indiquera les dimensions, la raideur, la longueur, la composition de la courroie, la dimension des poulies, et le réglage de la tension.

4.9 *Liaisons*

Si le capteur doit être relié à un dispositif auxiliaire par des liaisons électriques, on indiquera leur longueur, leur poids, la nature de leur protection, leur mode de raccordement au boîtier, leur sensibilité aux chocs mécaniques et à la pression, ainsi que le type de prise de raccordement s'il y a lieu.

On indiquera également l'impédance du câble, lorsque cela est nécessaire pour l'interprétation des résultats (voir aussi le paragraphe 4.24).

4.10 *Température et humidité*

On indiquera le domaine de température pour lequel les variations de la sensibilité et de l'amortissement du capteur par rapport à leur valeur nominale ne dépassent pas un certain taux, ou

4.3 *Attachment*

It shall be indicated whether the instrument:

- 1) is bolted, clamped, cemented, etc. to the vibrating surface as, sometimes, for a seismic transducer;
- 2) may be hand-held, as, for a probe type, or, sometimes, for a seismic unit;
- 3) bridges two reference locations.

4.4 *Type of motion*

The manufacturer shall indicate the nature of the motion to which the transducer will respond, such as:

- 1) uniaxial;
- 2) multiaxial;
- 3) angular (stationary or rotating shaft).

4.5 *Mass, moment of inertia*

For uniaxial vibration transducers, the mass should be given and for angular vibration transducers the moment of inertia, referred to a defined axis.

The cable should not appreciably increase the effective mass of the transducer.

4.6 *Over-all dimensions*

Outline dimensions of the transducer shall be given in a diagram or drawing.

4.7 *Position of moving element*

If applicable, the location of the centre of gravity of the moving element shall be given. (This information is needed in the calibration of accelerometers on a centrifuge and in other applications where there may be a spatial gradient or a combination of uniaxial and rotational motion in the quantity being measured.)

4.8 *Mounting*

The method of mounting and the location and size of the mounting holes or the studs in the transducer shall be given. If the transducer is connected by belts to the system whose motion is being measured, the belt size, stiffness, length, material, pulley size and tension adjustments shall be stated.

4.9 *Connections*

If electrical connections between the transducer and auxiliary equipment are required for its use, their length, weight, shielding, connection to case, susceptibility to mechanical shock and pressure and type of connectors (if any) shall be stated.

If it is necessary to know the impedance of the cable in order to interpret the results, this shall be stated (see also Sub-clause 4.24).

4.10 *Temperature and humidity*

The operating temperature range over which the transducer sensitivity and damping do not vary by more than a stated percentage from their rated values shall be given, or the change of

bien les variations de ces paramètres en fonction de la température seront données par un graphique. Les températures minimales et maximales de stockage seront également données. On indiquera la température pour laquelle le capteur risque d'être endommagé. Si le capteur peut être endommagé pour un degré d'humidité élevé, on mettra l'utilisateur en garde à ce sujet. On précisera également toute influence d'un degré d'humidité élevé sur le fonctionnement du capteur.

4.11 *Elément sensible*

On indiquera la nature de l'élément sensible, tel que :

1. Fil résistant sensible à la contrainte, fixé ou non
2. Potentiomètre à résistance
3. Capacité variable
4. Inductance variable
5. Transformateur différentiel
6. Élément électromagnétique
7. Élément piézoélectrique
8. Tube électronique
9. Élément photoélectrique
10. Élément électrocinétique

4.12 *Source d'énergie*

Le constructeur indiquera si le capteur est auto-générateur et, sinon, il précisera la nature de la source d'alimentation ou de polarisation.

4.13 *Nature du signal de sortie*

La nature du signal donné par le capteur doit être indiquée; diverses indications peuvent être utiles, par exemple:

- 1) que le signal de sortie est une tension, ou encore qu'il est une tension de modulation d'une fréquence porteuse modulée en amplitude, ou une tension modulée en fréquence;
- 2) que le signal de sortie est une fonction linéaire, logarithmique, ou une autre fonction de la vibration d'entrée.

4.14 *Appareillage auxiliaire*

Le constructeur indiquera le type ou les caractéristiques de tout appareillage auxiliaire prescrit, tels que:

- 1) une impédance d'entrée spécifiée. Cela est nécessité pour les appareillages auxiliaires tels que les dispositifs cathodynes ou autres, de façon à assurer une bande passante déterminée ou une impédance convenablement adaptée;
- 2) un dispositif démodulateur, pour éliminer la fréquence porteuse;
- 3) un filtre, pour éliminer les signaux parasites;
- 4) une tension de polarisation ou un dispositif en pont, pour annuler le signal de sortie en l'absence de vibration;
- 5) certains dispositifs non linéaires, pour corriger la non-linéarité du signal de sortie;
- 6) des dispositifs intégrateurs et différentiateurs, en précisant leur domaine de fréquences.

On donnera le schéma des liaisons permettant de relier le capteur à l'appareillage auxiliaire.

these quantities with temperature shall be shown graphically. Minimum and maximum storage temperatures shall be given. The temperature limits beyond which the transducer might be damaged shall also be given. If high humidity might damage the transducer, a warning to this effect shall be given. Any effect of high humidity on the operation shall also be stated.

4.11 *Sensing element*

The type of sensing element shall be indicated, e.g.:

1. Strain-sensitive resistance wire, bonded or unbonded
2. Resistive potentiometer
3. Variable capacitance
4. Variable inductance
5. Differential transformer
6. Electromagnetic generating element
7. Piezoelectric element
8. Electronic tube
9. Photoelectric element
10. Electrokinetic element

4.12 *Energy source*

The manufacturer shall state whether the transducer is self-generating and, if not, shall indicate the nature of the energizing or polarizing source.

4.13 *Nature of output*

The nature of the output of the transducer shall be indicated; various indications may be useful, e.g.:

- 1) that the output is a voltage; or further that it is a modulated carrier voltage or a frequency-modulated voltage;
- 2) that the output is linearly, logarithmically or otherwise related to the input vibration.

4.14 *Auxiliary equipment*

The manufacturer shall state the type of any required auxiliary equipment, or certain relevant characteristics e.g.:

- 1) a specified input impedance. This may be required for such auxiliary equipment as a cathode follower or other similar circuit, for providing a specified frequency range or for providing a suitable impedance termination;
- 2) a demodulator, used to eliminate the carrier frequency;
- 3) a filter, used to remove undesired signals;
- 4) a biasing voltage or bridge network, used to obtain zero output when a zero value of the motional function is applied;
- 5) certain non-linear devices, used to correct for non-linearity of the output signal;
- 6) integrating and differentiating circuits, their frequency range being stated.

A wiring diagram shall be given to enable the transducer to be correctly connected to the auxiliary equipment.

4.15 Déplacement (accélération) maximal admissible

On donnera les amplitudes limites de déplacement correspondant à une utilisation normale et une indication fidèle. Les limites peuvent être de quatre types: amplitudes correspondant à une précision donnée en tenant compte de la perte de linéarité; amplitudes excédant la position des butées; amplitudes ne permettant plus à la sonde de suivre fidèlement le mouvement; amplitudes risquant d'endommager le capteur. On spécifiera le type de limite envisagé. Si les limites ne sont pas égales de chaque côté, on les indiquera toutes les deux. Si ces limites sont fonction de la fréquence, elles seront données par un graphique.

4.16 Déplacement (accélération) minimal mesurable

On indiquera l'amplitude minimale pouvant être mesurée. Citons comme exemples de facteurs agissant sur cette limite inférieure: le pouvoir de résolution d'un élément sensible de type potentiomètre, le collage par frottement, le bruit thermique et le bruit de fond pour les dispositifs électroniques d'intégration.

4.17 Efficacité et courbe de réponse

Le signal de sortie sera donné en fonction du signal d'entrée, et pour une fréquence donnée dans la gamme d'utilisation, sous forme de diagramme. Pour les capteurs dont le signal de sortie est proportionnel au signal d'entrée, le facteur de proportionnalité sera donné comme efficacité nominale. La variation de l'efficacité en fonction de la fréquence sera représentée graphiquement. On précisera toujours, pour tout ce qui concerne l'efficacité, la valeur de l'impédance de charge. Pour les capteurs qui requièrent une tension d'alimentation alternative ou continue, une tension porteuse, ou une tension de polarisation, l'efficacité nominale sera, soit la valeur obtenue lorsque la tension est celle qui est recommandée par le constructeur, soit la valeur obtenue lorsque cette tension est ramenée à 1 volt. On indiquera la valeur recommandée pour la tension de polarisation.

La relation entre les signaux d'entrée et de sortie devra être donnée en unités cohérentes, par exemple volts (valeur efficace) en liaison avec vitesse efficace, ou volts (valeur de crête) en liaison avec vitesse de crête, et non pas volts (valeur efficace) en liaison avec vitesse de crête. Quelques unités appropriées sont données dans le tableau suivant:

Quantité mesurée	Unité du signal de sortie *)	Unité du signal d'entrée *)
Déplacement linéaire	volt	m
Vitesse linéaire	»	m/s
Accélération linéaire	»	m/s ² , g_n^{**}
Déplacement angulaire	»	degré, radian
Vitesse angulaire	»	deg/s, rad/s
Accélération angulaire	»	deg/s ² , rad/s ²

*) On utilisera de préférence, dans la pratique, les sous-multiples correspondant à des puissances de 10^3 , par exemple μ (micron) pour le déplacement.

**) g_n est l'accélération de la pesanteur (voir paragraphe 3.6).

4.18 Gamme utile de fréquences

La gamme de fréquences, pour laquelle la variation d'efficacité du capteur ne dépasse pas un certain pourcentage de l'efficacité nominale, sera indiquée. On indiquera la fréquence de résonance sismique et les fréquences de résonance parasites qui perturbent le signal de sortie. On indiquera, si possible, le facteur de surtension approximatif pour chaque fréquence de résonance.

4.15 Limits for maximum-motion (acceleration)

The maximum motion for safe operation and for reliable indication shall be given. The limits may be of four types: motions within a specified accuracy which could lead to loss of linearity, motions exceeding the setting of stops; motions exceeding the ability of a probe to follow faithfully; and motions which would damage the transducer. The type of limit shall be specified. If the limits on either side of the zero point are unequal, both shall be given. If these limits are functions of frequency, they may be given graphically.

4.16 Limits for minimum-motion (acceleration)

The minimum motion that can be measured shall be given. Examples of factors affecting this lower limit are: the resolving power of a potentiometer-type sensing element, sticking where rubbing friction is present, thermal noise and background noise in integrating electronic equipment.

4.17 Sensitivity, response and response curve

A plot shall be given of output against input for a specified frequency in the operating range. For pick-ups whose output is proportional to input, the proportionality factor shall be given in the form of a rated sensitivity. The effect of frequency on sensitivity shall be presented graphically by plotting the sensitivity as a function of frequency. The terminating impedance which applies to this presentation, as well as to other sensitivity presentations, shall always be specified. In transducers requiring an energizing voltage (alternating or direct) a carrier voltage or a biasing voltage, the rated sensitivity shall be either the value obtained when the recommended voltage is applied or the value obtained per volt. The recommended value of the biasing voltage shall be stated.

The relationship of output to input shall be given in compatible units such as r.m.s. volts in conjunction with r.m.s. velocity, or peak volts in conjunction with peak velocity, and not as r.m.s. volts with peak velocity. Some of the appropriate units are given in the following table:

Measured quantity	Output unit *)	Input unit *)
Uniaxial displacement	volt	m
Uniaxial velocity	"	m/s
Uniaxial acceleration	"	m/s ² , g_n **)
Angular displacement	"	degree, radian
Angular velocity	"	deg/s, rad/s
Angular acceleration	"	deg/s ² , rad/s ²

*) Sub-multiples, preferably in powers of 10^3 , are used in practice for convenience, e.g. μ for displacement.

**) g_n is the acceleration due to gravity (See Sub-clause 3.6).

4.18 Frequency range

The operating frequency range over which the transducer sensitivity does not vary by more than a stated percentage from the rated sensitivity shall be stated. The seismic resonance frequency, and any spurious resonance frequencies which affect the output signal, shall be stated. Where applicable, the approximate magnification (quality factor) shall be stated for each resonance frequency.

4.19 *Courbe de réponse en phase*

On donnera, pour la gamme de fréquences recommandée, le déphasage maximal ou la différence de phase entre une vibration sinusoïdale forcée et le signal de sortie résultant, la sortie étant fermée sur une impédance déterminée. On représentera également le déphasage sous forme de courbe, de manière à se rendre compte si le capteur est apte à mesurer des mouvements de choc; pour lesquels il est désirable d'avoir un déphasage proportionnel à la fréquence. Si le déphasage est nul, cela sera indiqué.

4.20 *Amortissement*

On indiquera la valeur du décrément logarithmique, du taux de décroissance, du facteur de surtension ou du rapport d'amortissement.

4.21 *Orientation*

On indiquera s'il est possible d'utiliser le capteur en position verticale, horizontale et lorsqu'il est retourné.

4.22 *Indication de la direction sensible*

La direction sensible du capteur sera indiquée par exemple à l'aide d'une flèche. Si cela est commode, on marquera un sens positif et on indiquera la polarité correspondant à un mouvement dans le sens positif à l'aide d'une marque «sortie +» sur la borne correspondante.

4.23 *Directivité*

On indiquera l'efficacité correspondant à un mouvement transversal ou autre, par exemple à un mouvement de rotation. Si l'efficacité transversale varie en fonction de l'angle que fait la direction du mouvement appliqué, avec l'axe sensible, on indiquera alors la sensibilité maximale obtenue pour tout mouvement effectué dans une direction non parallèle à l'axe sensible. On donnera des détails sur la manière dont cette efficacité transversale a été mesurée.

4.24 *Impédance électrique*

L'impédance électrique d'un capteur est le rapport entre la tension à circuit ouvert et le courant en court-circuit. Le module et la phase de cette impédance seront donnés sous forme de tableau pour plusieurs fréquences de la gamme d'utilisation, ou sous forme de courbe en fonction de la fréquence. Si cela est possible, l'impédance sera exprimée sous forme d'inductances, de résistances et de capacités équivalentes, valables pour la gamme de fréquences pour laquelle l'utilisation du capteur est recommandée.

4.25 *Champs perturbateurs électromagnétiques et acoustiques*

Lorsque cela est possible, on spécifiera l'effet des champs électromagnétiques continus et alternatifs sur le fonctionnement du capteur.

On indiquera en particulier:

- 1) l'effet des champs magnétiques continus sur l'efficacité;
- 2) l'effet de masses en fer, situées dans le voisinage, sur l'efficacité; et
- 3) l'effet de champs électromagnétiques alternatifs induisant des tensions dans le capteur et les câbles de liaison, en donnant par exemple la vibration équivalente à un champ magnétique de 79,58 A/m (1 Oe) et de fréquence déterminée, dans la direction qui produit l'effet maximal. On indiquera les effets dus à des champs acoustiques de fréquences appropriées.

4.26 *Courants telluriques*

Si le capteur comprend un dispositif de couplage isolant pour éviter l'intervention des courants telluriques, on indiquera les effets correspondants sur ses caractéristiques.

4.19 *Phase response curve*

The maximum phase shift or phase angle between an impressed sinusoidal vibration and the resulting sinusoidal output signal, with a specified output termination, shall be given for operation in the recommended frequency range. The phase shift shall also be presented graphically, to indicate the suitability of the transducer for measuring shock motions, where a phase shift proportional to frequency is desirable. If the phase shift is zero this shall be stated.

4.20 *Damping*

The logarithmic decrement, or the rate of decay, or the quality factor or the damping ratio shall be stated.

4.21 *Orientation*

The suitability of the transducer for use in vertical, horizontal and inverted mounting positions shall be stated.

4.22 *Indication of sensitive direction*

The sensitive direction of the transducer shall be indicated, for example by an arrow. If practical, the positive sense shall be marked and the polarity of output for motion in the positive sense shall be indicated by labelling the appropriate terminal “+ output”.

4.23 *Direction discrimination*

The transverse sensitivity together with any other sensitivity, e. g. rotational, shall be stated. If the transverse sensitivity varies as a function of the orientation of the direction of the applied motion relative to the sensitive axis, then the value of the transverse sensitivity shall be given for the case where maximum output results from motion in some axis not parallel to the sensitive axis. Details of the way in which this transverse sensitivity is measured shall be stated.

4.24 *Electrical impedance*

The electrical impedance of a transducer is the ratio of the open-circuit voltage to the short-circuit current. The magnitude and phase angle of this impedance shall be given in tabular form for several frequencies over the range of operation, or, alternatively, a plot of these values as a function of frequency shall be included. If applicable, the impedance shall be stated in terms of equivalent values of inductance, resistance, and capacitance, as appropriate, which apply over the range of frequencies for which the transducer is recommended.

4.25 *Disturbing electromagnetic and acoustic fields*

Where applicable, the effect of both constant and alternating electromagnetic fields on the operation of the transducer shall be stated.

This statement shall include:

- 1) the effect of constant magnetic fields on the sensitivity;
- 2) the effect of neighbouring iron masses on the sensitivity; and
- 3) the effect of alternating electromagnetic fields in generating voltages in the transducer and its connecting cable, e.g. by giving the equivalent vibration for a magnetic field of 79.58 A/m (1 Oe) and of specified frequency, in the direction which gives maximum response. Any effects of acoustic fields shall be stated for the relevant frequencies.

4.26 *Earth currents*

If an insulating coupling is provided to avoid interference from earth currents, any effect on the performance shall be stated.

ANNEXE A

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

A-1. CLASSES DES CAPTEURS DE VIBRATIONS

Cette section de l'annexe donne les caractéristiques communes à chaque classe de capteurs de vibration. On notera qu'un capteur donné peut être utilisé pour plusieurs types de mesures, puisque le signal fourni peut être utilisé directement ou bien peut être intégré ou différentié.

A-1.1 Capteurs d'accélération (accéléromètres)

A-1.1.1 Principe de fonctionnement

Un capteur d'accélération (dénommé «capteur» dans ce qui suit) comprend essentiellement une masse reliée sismiquement à un système (corps, boîtier), et guidée pour éviter les mouvements dans des directions autres que la direction sismique. Dans la gamme de fréquences d'utilisation, c'est à dire en dessous de la résonance, la masse est soumise à une accélération presque égale à celle du système. La masse exerce sur le support sismique une force qui est directement proportionnelle à la valeur de l'accélération correspondante. Le déplacement relatif de la masse par rapport au système est donc presque proportionnel à l'accélération et, si l'élément utilisé produit un signal proportionnel à ce déplacement, le signal de sortie est une fonction connue de cette force.

A-1.1.2 Gamme de fréquences

L'hypothèse selon laquelle un capteur d'accélération se comporte comme un système rigide est suffisamment exacte lorsque la fréquence d'excitation est considérablement plus basse que n'importe quelle fréquence de résonance du capteur. La fréquence de résonance la plus basse du capteur est en général celle du système sismique. Si on se limite à une précision de 5% environ, on peut utiliser des capteurs non amortis pour mesurer des accélérations ayant des fréquences allant jusqu'au cinquième environ de la fréquence propre du système sismique. Les capteurs présentant un rapport d'amortissement d'environ 0,6 peuvent être utilisés avec la même précision, pour des fréquences allant jusqu'aux deux tiers de la fréquence propre. Les fréquences limites supérieures correspondant à d'autres valeurs d'amortissement peuvent être évaluées d'après la figure A-1. Une fréquence limite inférieure est parfois imposée par les caractéristiques du dispositif sensible ou de l'appareillage électronique associé. Lorsqu'on ne dispose pas d'excitateur de vibration convenable, on peut repérer parfois les fréquences naturelles en montant le capteur sur une base rigide relativement petite et en observant le signal de sortie lorsque le système est excité par chocs. En procédant convenablement, les fréquences naturelles des éléments constitutifs apparaîtront dans le signal.

A-1.1.3 Distorsion de phase

Une perturbation à caractère transitoire sera déformée, à moins que les différentes fréquences constituant la perturbation ne soient pas retardées, ou soient différées du même laps de temps. Cette condition, nécessaire à l'absence de déformation, est réalisée si le déphasage est nul ou proportionnel à la fréquence. Les capteurs d'accélération peu amortis introduisent un déphasage négligeable dans le domaine de fréquences d'utilisation. Les

APPENDIX A

GENERAL CONSIDERATIONS

A-1. CLASSES OF VIBRATION TRANSDUCERS

This section of the Appendix discusses factors common to each class of vibration transducers. It should be noted that a given transducer may be used for more than one class of measurements, since its output may appear directly or may be integrated or differentiated.

A-1.1 Acceleration transducers (accelerometers)

A-1.1.1 Principle of operation

An acceleration transducer (abbreviated in what follows to "transducer") consists essentially of a mass supported seismically with respect to a frame (body, case) and guided to prevent motion in directions other than the seismic direction. In its operating frequency range, i. e., below resonance, the mass experiences nearly the same acceleration as the frame. The mass exerts a force on the seismic support directly proportional to the magnitude of the relevant acceleration. Hence the displacement of the mass relative to the frame is nearly proportional to the acceleration and, if the element produces a signal proportional to this displacement, the output will be a known function of the force.

A-1.1.2 Frequency range

The assumption that an acceleration transducer is a rigid structure is sufficiently accurate for an exciting frequency lying considerably below any resonance frequency of the transducer. The lowest resonance frequency of the transducer is usually that of the seismic system. To an accuracy of about 5%, undamped transducers can be used to measure accelerations having frequencies up to about one-fifth of the seismic undamped natural frequencies. Transducers having a damping ratio of about 0.6 can be used with similar accuracy up to some two thirds of the undamped natural frequency. The upper frequency limits for other damping values can be assessed from Figure A-1. A lower frequency limit is sometimes imposed by the limitations of the sensing means or of the associated electronic equipment. In the absence of a suitable vibration exciter, the natural frequencies can sometimes be located by mounting the transducer on a relatively small rigid base and observing the output when the assembly is shock-excited by impact. With appropriate procedure, the natural frequencies of the structural elements will be prominent in the output.

A-1.1.3 Phase distortion

A transient disturbance will be distorted unless all frequency components constituting the disturbance are either undelayed or are delayed by the same lapse of time. This condition for absence of distortion is realized if the phase shift is either zero or proportional to the frequency. Transducers having negligible damping introduce negligible phase shift throughout their acceptable range. Transducers having a damping ratio of about 0.65 have

capteurs d'accélération dont le rapport d'amortissement est d'environ 0,65 présentent un déphasage qui est presque proportionnel à la fréquence dans leur gamme de fréquences d'utilisation (voir figure A-2). Les autres valeurs d'amortissement sont moins désirables au point de vue distorsion de phase. La distorsion de phase peut être compensée par un circuit électrique.

A-1.1.4 Montage

Le montage doit être suffisamment rigide pour éviter tout mouvement relatif appréciable entre le capteur et la structure. Par exemple, pour mesurer avec moins de 1 % d'erreur une accélération de $10 g_n$ à la fréquence f (Hz), le mouvement relatif entre le capteur et la structure doit avoir une amplitude inférieure à $25/f^2$ mm, c'est-à-dire inférieure à 0,0025 mm à 100 Hz, et à 0,000 025 mm à 1 000 Hz.

A-1.1.5 Inertie

La masse du capteur et du dispositif de fixation réunis, ainsi que leur moment d'inertie, doivent être suffisamment petits pour ne pas perturber de manière appréciable le mouvement à mesurer.

A-1.2 Capteurs de vitesse

A-1.2.1 Principe de fonctionnement

Un capteur de vitesse (dénommé dans ce qui suit «capteur») engendre une tension proportionnelle à la vitesse relative de deux éléments principaux du système. Ces deux éléments comprennent en général une bobine et un dispositif pour produire un champ magnétique.

A-1.2.2 Type

Dans les capteurs de type sismique, un des éléments est suspendu élastiquement par rapport au système de référence (corps, boîtier), de façon à constituer un système à un seul degré de liberté et à basse fréquence de résonance, alors que l'autre élément fait partie de ce système. Lorsque le système est fixé à une structure en vibration, l'élément suspendu élastiquement reste sensiblement fixe dans l'espace et la tension de sortie est une fonction de la vitesse de vibration de la structure.

Dans les capteurs de type «à sonde», le mouvement relatif entre les deux éléments est donné par une sonde qui traverse le boîtier. Une extrémité de la sonde est fixée à l'élément mobile du capteur, tandis que l'autre extrémité est fixée ou maintenue par un ressort à la structure dont on veut mesurer la vibration. Lorsque le capteur à sonde est tenu à la main, le boîtier reste sensiblement fixe dans l'espace et la tension de sortie est une fonction du mouvement de la structure en vibration. Lorsque le boîtier du capteur à sonde est fixé à un élément vibrant, tandis que la sonde est en contact avec un autre, la tension de sortie est une fonction de la vitesse relative instantanée entre ces deux éléments.

A-1.2.3 Gamme de fréquences

Le domaine d'utilisation d'un capteur à sonde est limité en accélération aux valeurs qui permettent à la sonde de maintenir le contact avec l'élément vibrant. Le domaine de fréquences d'utilisation d'un capteur de type sismique est situé au-delà de la fréquence propre. Pour mesurer des vibrations permanentes avec une précision meilleure que 5 % à l'aide d'un capteur ayant un rapport d'amortissement de 0,6, la limite inférieure d'utilisation est d'environ 1,3 fois la fréquence propre (voir figure A-3).

phase shifts almost proportional to frequency throughout their acceptable frequency range (see Figure A-2). Other values of damping ratio are less desirable from the standpoint of phase distortion. Phase distortion may be compensated by the electrical circuit.

A-1.1.4 *Mounting*

The mounting shall be sufficiently rigid to prevent appreciable relative motion between the transducer and the structure. For example, to indicate within 1% an acceleration of $10 g_n$ at a frequency of f Hz (c/s), the relative motion between the transducer and the structure must have an amplitude less than $25/f^2$ mm, i. e., less than 0.0025 mm at 100 Hz (c/s) and less than 0.000 025 mm at 1 000 Hz (c/s).

A-1.1.5 *Inertia*

The combined mass of the transducer and its mounting, or their moment of inertia, shall be sufficiently small so that the inertia of the acceleration transducer will not appreciably disturb the motion being measured.

A-1.2 **Velocity transducers**

A-1.2.1 *Principle of operation*

A velocity transducer (abbreviated in what follows to "transducer") generates a voltage proportional to the relative velocity of the two principal elements of the device. These two elements are frequently a wire coil and a means of creating a magnetic field.

A-1.2.2 *Type*

In a seismic type of transducer, one of the elements is seismically supported from the frame (body, case), so as to constitute a low frequency system having one degree of freedom, while the other element is integral with the frame. If the frame be attached to a vibrating structure, the seismically supported element remains essentially fixed in space, and the output voltage is a function of the vibration velocity of the structure.

In a probe type of velocity transducer, the relative motion between the two elements is derived from a probe which extends through the case. One end of the probe is permanently attached to the movable element of the transducer while the other end is in either rigid or spring-loaded contact with the structure whose vibration is to be measured. If the probe-type transducer is hand-held, the frame remains essentially fixed in space and the output voltage is a function of the vibration of the structure. If the frame of the probe transducer is attached to one vibrating member while the probe is in contact with another, the output voltage is a function of the instantaneous relative velocity between the members.

A-1.2.3 *Frequency range*

The operating range of a probe-type transducer is limited in acceleration to values which permit the probe to maintain contact with the vibrating part. The operating frequency range of a seismic-type velocity transducer is above the undamped natural frequency. To measure steady-state vibrations to an accuracy better than 5% with a transducer having a damping ratio of 0.6, the lower limit of the operating range should be about 1.3 times the undamped natural frequency (See Figure A-3).

Il est difficile de maintenir l'amortissement à une valeur bien définie; aussi une précision de 5 % n'est-elle généralement atteinte que pour des fréquences de l'ordre de deux fois la fréquence propre. En l'absence d'amortissement, la fréquence limite inférieure est environ égale à trois fois la fréquence propre. La limite supérieure de la gamme de fréquences d'utilisation du capteur est déterminée, soit par la fréquence de résonance de ses éléments constitutifs, soit par ses caractéristiques d'amortissement. Les fréquences naturelles (résonances) peuvent être parfois repérées en montant le capteur sur une base rigide relativement petite, et en observant le signal de sortie lorsque le système est excité par chocs. En procédant convenablement, les fréquences de résonance des éléments constitutifs apparaîtront dans le signal. Les capteurs du type sismique destinés à mesurer des phénomènes transitoires ne devront pas être amortis, car l'amortissement entraînerait une distorsion de phase excessive.

A-1.2.4 *Distorsion de phase*

La distorsion de phase pour un capteur de type sismique est la quantité dont la phase diffère par rapport à 180° (voir figure A-2). Pour des capteurs pratiquement non amortis (coefficient d'amortissement d'environ 5 % de la valeur critique), la distorsion de phase est inférieure à 4° environ pour un domaine de fréquences situé au-dessus d'une fréquence égale à deux fois environ la fréquence propre. Pour les capteurs présentant un amortissement égal à une fraction importante de l'amortissement critique, l'expérience montre que la distorsion de phase ne devient jamais négligeable.

A-1.2.5 *Inertie*

Les exigences relatives aux capteurs d'accélération, paragraphe A-1.1.5, s'appliquent également aux capteurs de vitesse.

A-1.3 **Capteurs de déplacement**

A-1.3.1 *Principe de fonctionnement*

Un capteur de déplacement (dénommé dans ce qui suit «capteur») engendre un signal qui est une fonction connue du déplacement relatif de deux éléments actifs. La construction mécanique et le comportement des capteurs de déplacement de type à sonde et sismique sont les mêmes que ceux qui sont donnés dans les paragraphes A-1.2.2 à A-1.2.5 et relatifs aux capteurs de vitesse de type à sonde et sismique, si ce n'est que la réponse de l'élément sensible est proportionnelle au déplacement et non à la vitesse.

A-2. **ÉLÉMENTS SENSIBLES**

Cette section de l'annexe donne certaines propriétés caractéristiques des éléments sensibles couramment utilisés dans les capteurs de vibrations et de chocs.

A-2.1 **Fil résistant sensible à la contrainte**

Les dispositifs à résistance utilisant des fils sensibles à la contrainte comportent fréquemment quatre éléments actifs reliés de manière à former les bras d'un pont de Wheatstone.

La résistance de chaque bras est de l'ordre de plusieurs centaines d'ohms. Le pont doit être alimenté par une source extérieure fournissant une tension de l'ordre de 10 V en général. La tension à circuit ouvert et à pleine déviation est d'environ 30 mV. Ce dispositif est principale-

It is difficult to maintain a definite value of damping, so results correct to within 5% are generally attained only for frequencies down to about twice the undamped natural frequency. With no damping, the lower limit of the frequency range is about three times the undamped natural frequency. The upper limit of the frequency range of the transducer is determined either by the resonance frequency of its structural elements or by its damping characteristics. The natural (resonance) frequencies can sometimes be located by mounting the transducer on a relatively small rigid base and observing the output when the assembly is shock-excited by impact. With appropriate procedure, the resonance frequencies of the structural elements will be prominent in the output. Seismic-type velocity transducers for measuring transient motion should be undamped, since damping would here lead to excessive phase distortion.

A-1.2.4 *Phase distortion*

Phase distortion in velocity transducers is the amount by which the phase angle differs from 180° (See Figure A-2.) For typical undamped seismic-type transducers (damping about 5% of critical) the phase distortion is less than about 4° over a frequency range above about twice the undamped natural frequency. For transducers having a large fraction of critical damping, experimental evidence indicates that phase distortion never becomes negligible.

A-1.2.5 *Inertia*

The requirements for acceleration transducers in Sub-clause A-1.1.5 also apply to velocity transducers.

A-1.3 **Displacement transducers**

A-1.3.1 *Principle of operation*

A displacement transducer (abbreviated in what follows to “transducer”) generates an output voltage which is a known function of the relative displacement between its two operating elements. The mechanical construction and behaviour of displacement transducers of the probe and seismic types are the same as those given in Sub-clauses A-1.2.2 to A-1.2.5 for probe type and seismic type velocity transducers except that the response of the sensing means is proportional to displacement rather than to velocity.

A-2. SENSING ELEMENTS

This section of the Appendix discusses certain characteristic properties of sensing elements widely used in shock and vibration transducers.

A-2.1 **Strain-sensitive resistance wire**

Resistive sensing elements using strain-sensitive wire frequently operate with four active elements electrically connected to form a Wheatstone bridge.

The resistance of each bridge arm is of the order of several hundred ohms. An external voltage source usually of the order of 10 V is required to activate the bridge. Open-circuit full-scale voltage output is about 30 mV. This sensing means is primarily useful in acceleration

ment avantageux pour les capteurs d'accélération. Les caractéristiques de ce dispositif qui sont intéressantes dans la plupart des applications comprennent : une très bonne linéarité du signal de sortie en fonction du signal d'entrée ; une insensibilité aux changements extérieurs lorsqu'on opère avec quatre éléments actifs montés en pont ; une faible impédance et un étalonnage fidèle. Des caractéristiques qui peuvent être trouvées gênantes pour certaines applications sont, d'une part, la faible tension de sortie et d'autre part, la nécessité d'utiliser une source de tension extérieure pour alimenter l'élément. Grâce à sa faible résistance interne, ce dispositif est susceptible d'entraîner directement un galvanomètre enregistreur sensible.

A-2.2 Potentiomètre à résistance

Les dispositifs potentiométriques à résistance comportent un élément résistant avec curseur mobile. Ces dispositifs sont utilisés normalement dans les capteurs de déplacement et d'accélération. L'élément résistant peut être un fil bobiné, une bande de graphite, ou une couche conductrice. Un élément en fil bobiné est constitué par du fil résistant fin enroulé sur un gabarit ou un noyau. En choisissant convenablement la forme du noyau, on peut obtenir des éléments dont les signaux de sortie sont des fonctions linéaires ou autres du déplacement. Le pouvoir de résolution des éléments à fil bobiné dépend fortement du nombre de tours et de leur espacement et est en général meilleur que 1 % de l'échelle totale. Dans la plupart des cas, les dispositifs potentiométriques conviennent pour mesurer les déplacements compris entre 1 mm et plusieurs centimètres, et donnent une précision de l'ordre de 1 % de l'échelle totale. Les caractéristiques de ces dispositifs qui sont intéressantes pour la plupart des applications comprennent : une faible impédance interne, un signal de sortie élevé, une gamme étendue et une sensibilité négligeable aux changements de température et d'humidité. Les caractéristiques qui peuvent être trouvées gênantes pour certaines applications comportent : une fréquence de résonance relativement basse, la nécessité d'utiliser une source d'alimentation extérieure, la difficulté éventuelle de maintenir un contact convenable du curseur, et pour les éléments bobinés, un pouvoir de résolution limité.

A-2.3 Capacité variable

L'élément sensible comporte deux ou, dans quelque cas, trois plaques, formant un condensateur dont la capacité varie en fonction de leur distance relative. Cette forme d'élément est utilisée dans un montage en pont ou autre. Dans le montage en pont, utilisant une paire de plaques formant un seul condensateur, celui-ci est mis habituellement en série avec une inductance fixe dans un bras du pont et le pont est alimenté par une tension dont la fréquence correspond à la fréquence de résonance série du bras. Le signal de sortie du pont est une « fréquence porteuse supprimée » qui, après combinaison avec la tension d'alimentation convenablement déphasée et après démodulation, produit un signal électrique proportionnel au déplacement relatif des plaques. Les caractéristiques de ce dispositif qui sont intéressantes pour la plupart des applications comprennent : un pouvoir de résolution qui peut atteindre 10^{-10} m ; une gamme de fréquences s'étendant jusqu'à 30 000 Hz, avec une fréquence d'alimentation de 2 MHz, et une charge mécanique négligeable de l'objet en vibration.

A-2.4 Inductance variable

L'élément sensible consiste dans ce cas en une ou plusieurs bobines dont l'inductance (ou quelquefois l'inductance mutuelle) varie avec le déplacement d'une armature. Cette forme d'élément est utilisée dans un pont, dans un transformateur différentiel ou dans d'autres montages et donne un signal de sortie proportionnel à la tension d'une fréquence porteuse utilisée comme source d'alimentation. Elle peut être également utilisée pour former une partie du circuit d'accord d'un oscillateur dont la variation de fréquence représente le signal de sortie. Ce type d'élément est utilisé habituellement pour mesurer des déplacements ou des

transducers. Features of this sensing means which are desirable in most applications include the following: a high degree of linearity over a range of output as a function of input; insensitivity to environmental change if operated as a Wheatstone bridge with four active arms; low internal resistance and constancy of calibration. Features which may prove undesirable in certain applications are the low voltage of the output and the need for an external energizing voltage. Because of its low internal resistance, a resistive sensing element is able to drive directly the elements of a sensitive oscillograph galvanometer.

A-2.2 Resistive potentiometer

Resistive potentiometer sensing elements use a resistance element contacted by a movable slider. This sensing means is normally used in displacement and acceleration transducers. The resistive element may be a carbon ribbon, a deposited conducting film, or may be wire-wound. A wire-wound element consists of fine resistive wire wound on a former or mandrel. By selecting differently shaped mandrels, it is possible to produce elements whose outputs are linear (or other) functions of the displacement. The resolution of wire-wound potentiometer sensing elements depends largely on the number of turns and their spacing and is usually better than 1 % of full scale. In most cases, potentiometer sensing elements are suitable for measuring motions between 1 mm and several centimetres and give accuracies of the order of 1 % of the full scale reading. The features of this sensing means which are desirable in most applications include the following: low internal impedance, high power output, wide range and insensitivity to temperature and humidity changes. Features which may prove undesirable in certain applications are: relatively low resonance frequency, need for an external energizing voltage, possible difficulty in maintaining proper slider contact and, for wire-wound elements, limited resolution.

A-2.3 Variable capacitance

The sensing element consists of two, or in some cases three, plates whose capacitance varies with changes in their relative spacing. This form of sensing element is used in a bridge and in other arrangements. In bridge arrangements with a pair of plates forming a single capacitor, the capacitance is customarily connected in series with a fixed inductance in one bridge arm and the bridge is energized by a voltage whose frequency is selected to give series resonance of this arm. The output of the bridge is a suppressed carrier which, when combined with the energizing voltage in the proper phase relationship and demodulated, produces an electrical signal proportional to the relative displacement of the plates. Features of this sensing means which are desirable in most applications include the following: resolution down to 10^{-10}m ; a frequency range up to 30 000 Hz (c/s) with a 2 MHz (Mc/s) energizing voltage and no appreciable mechanical loading of the vibrating object.

A-2.4 Variable inductance

The sensing element consists of one or more coils whose inductance (or in some cases mutual inductance) varies as the result of the motion of an armature. This form of sensing element is used in a bridge, in a differential transformer and in other arrangements to give an output proportional to an energizing carrier voltage. It can also be used to form part of the tank circuit of an oscillator whose frequency variation represents the output. This type of sensing element is usually used for measuring displacements or accelerations. Displacements from micrometres to several centimetres can be measured. Features of this sensing means

accélérations. Les déplacements peuvent être mesurés depuis quelques microns jusqu'à plusieurs centimètres. Les caractéristiques de ce dispositif qui sont intéressantes dans la plupart des applications comprennent: une efficacité élevée, une basse impédance, une sensibilité négligeable aux conditions extérieures, une utilisation possible dans une grande étendue de mesure et avec des montages variés, tels que transformateurs différentiels, ponts, etc...

A-2.5 Générateur électromagnétique

Le signal de sortie de ce type d'élément sensible est la tension engendrée dans une bobine susceptible de se mouvoir par rapport à un champ magnétique créé par un ou plusieurs aimants. Ce dispositif est le plus souvent utilisé pour mesurer la vitesse. L'amortissement électrodynamique peut être obtenu facilement avec un haut degré de stabilité en utilisant le champ magnétique existant. On peut utiliser également un fluide amortisseur. Avec les dimensions de bobine et d'aimant utilisées habituellement, la tension de sortie est de l'ordre de 4 V pour une vitesse de 1 m/s. Les caractéristiques de ce dispositif qui sont désirées dans la plupart des applications comprennent: une bonne stabilité, une faible impédance interne, une puissance de sortie élevée. De plus, lorsqu'on utilise des aimants permanents, aucune source d'alimentation n'est nécessaire. Les caractéristiques qui peuvent présenter un inconvénient pour certaines applications sont l'amplitude limitée du déplacement et l'influence des champs magnétiques extérieurs sur le signal de sortie et sur les aimants produisant le champ.

A-2.6 Générateur piézoélectrique

Les matériaux piézoélectriques engendrent des tensions électriques qui apparaissent entre certaines surfaces lorsque leurs dimensions sont modifiées sous l'action de contraintes mécaniques. Cette propriété permet leur utilisation comme éléments sensibles. La capacité du câble a une influence non négligeable sur la sensibilité, aussi est-il généralement souhaitable de relier le capteur à un préamplificateur à l'aide d'un câble court. Les caractéristiques électriques du cristal et de l'appareillage associé imposent une limite vers les basses fréquences pour le fonctionnement des capteurs piézoélectriques. Les caractéristiques de cet élément sensible qui sont intéressantes dans la plupart des applications comprennent: un fonctionnement correct pour les fréquences comprises entre 1 et 20 000 Hz environ (à condition que le boîtier soit suffisamment rigide et puisse être convenablement monté, voir paragraphe A-1.1.4); une étendue de mesure des accélérations comprise entre 0,0001 et 10 000 g_n , des dimensions réduites et une tension de sortie élevée. Les caractéristiques qui peuvent présenter un inconvénient pour certaines applications sont l'impédance interne élevée, et la nécessité fréquente d'utiliser un préamplificateur.

which are desirable in most applications include the following: high output, low impedance, insensitivity to environment, availability in a variety of ranges, and the possibility of use in a variety of circuit arrangements such as differential transformer, bridge connection, etc.

A-2.5 Electromagnetic

The output of this type of sensing element is the voltage generated in a coil so mounted as to move relative to the magnetic field created by one or more magnets. This sensing means is most often used in instruments for measuring velocity. Electrodynamic damping can be readily obtained with a high degree of stability by utilizing the existing magnetic field. Fluid damping is also used. With the coil and magnet dimensions customarily used, the output is of the order of 4 V for a velocity of 1 m/s. Features of this sensing means which are desirable in most applications include the following: good stability, low internal impedance and high power output. Furthermore, when permanent magnets are used, no external power source is needed to energize the element. Features which may prove to be undesirable in some applications are the limited displacement range and the effect of external magnetic fields on the output and on the magnets producing the internal field.

A-2.6 Piezoelectric

Piezoelectric materials produce electric potentials between certain surfaces whenever their dimensions are changed by the application of mechanical stress. This property makes them valuable as sensing elements. The effect of cable capacitance on sensitivity is significant, so that it is generally desirable to use a preamplifier connected to the transducer by a short cable. The electrical characteristics of the crystal and associated equipment impose a low frequency limit on the performance of piezoelectric transducers. Features of this sensing means which are desirable in most applications include the following: good performance at frequencies from about 1 to 20 000 Hz (c/s) (assuming that the case is sufficiently rigid and can be properly mounted, see Sub-clause A-1.1.4); acceleration magnitudes from about 0.000 1 to 10 000 g_n ; small size and high voltage output. Features which may prove to be undesirable in some applications include high internal impedance and, frequently, the need for pre-amplifiers.