

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
816**

Première édition
First edition
1984

**Guide sur les méthodes de mesure des transitoires
de courte durée sur les lignes de puissance et de
contrôle basse tension**

**Guide on methods of measurement of short
duration transients on low voltage power and
signal lines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 816: 1984

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

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

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

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
816**

Première édition
First edition
1984

**Guide sur les méthodes de mesure des transitoires
de courte durée sur les lignes de puissance et de
contrôle basse tension**

**Guide on methods of measurement of short
duration transients on low voltage power and
signal lines**

© CEI 1984 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni
utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé,
électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les
microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

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

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Caractéristiques des transitoires	8
2.1 Transitoires produits par l'environnement	8
2.2 Transitoires produits par des appareils électriques	8
2.3 Paramètres à mesurer	8
3. Caractéristiques des mécanismes de couplage entre les sources de transitoires et les systèmes potentiellement susceptibles	14
3.1 Modes de propagation	16
4. Susceptibilité/Immunité	18
4.1 Détériorations	18
4.2 Mauvais fonctionnement	20
5. Instrumentation	22
5.1 Obtention des données statistiques sur les paramètres des transitoires	22
5.2 Compteur de transitoires	24
5.3 Voltmètre de crête	24
5.4 Autres paramètres	26
5.5 Enregistrement et analyse de la forme d'onde	26
5.6 Mesure de l'énergie des transitoires	36
5.7 Mesures dans le domaine fréquentiel	38
5.8 Dispositifs de coût modique	44
6. Techniques de mesure	44
6.1 Mesure des transitoires conduits	46
6.2 Mesure des transitoires rayonnés	60
FIGURES	62
ANNEXE A — Méthode permettant de mesurer les émissions conduites de transitoires	76
ANNEXE B — Impédance d'entrée de l'équipement	82
ANNEXE C — Exemple de sonde de mesure	88
Bibliographie et références	90

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1. Scope	7
2. Characteristics of transients	9
2.1 Environment-produced transients	9
2.2 Appliance-produced transients	9
2.3 Parameters to be measured	9
3. Characteristics of mechanisms of coupling between transient sources and potentially susceptible devices	15
3.1 Propagation modes	17
4. Susceptibility/Immunity	19
4.1 Damage effects	19
4.2 Malfunction effects	21
5. Instrumentation	23
5.1 Obtaining statistical data on parameters of transients	23
5.2 Transient counter	25
5.3 Peak voltmeter	25
5.4 Other parameters	27
5.5 Waveform recording and analysis	27
5.6 Transient energy measurements	37
5.7 Frequency domain measurement	39
5.8 Special inexpensive devices	45
6. Measurement techniques	45
6.1 Measurement of conducted transients	47
6.2 Measurement of radiated transients	61
FIGURES	62
APPENDIX A — Method for measuring transient conducted emissions	77
APPENDIX B — Equipment input impedance	83
APPENDIX C — Example of a monitoring probe	89
Bibliography and references	90

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**GUIDE SUR LES MÉTHODES DE MESURE DES TRANSITOIRES
DE COURTE DURÉE SUR LES LIGNES DE PUISSANCE
ET DE CONTRÔLE BASSE TENSION**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes n° 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique entre les matériels électriques y compris les réseaux.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
77(BC)20	77(BC)21

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**GUIDE ON METHODS OF MEASUREMENT
OF SHORT DURATION TRANSIENTS
ON LOW VOLTAGE POWER AND SIGNAL LINES**

FOREWORD

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

PREFACE

This report has been prepared by IEC Technical Committee No.77: Electromagnetic Compatibility between Electrical Equipment including Networks.

The text of this report is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
77(CO)20	77(CO)21

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

GUIDE SUR LES MÉTHODES DE MESURE DES TRANSITOIRES DE COURTE DURÉE SUR LES LIGNES DE PUISSANCE ET DE CONTRÔLE BASSE TENSION

INTRODUCTION

Les transitoires apparaissant sur les lignes de puissance et de contrôle peuvent produire divers effets, allant de dégradations mineures du fonctionnement des matériels à une rupture catastrophique de l'isolant. Ils ont une grande variété de formes d'ondes qui dépendent du mécanisme de leur formation. En outre, ceux qui sont dus à l'ouverture et à la fermeture d'un circuit alternatif auront une forme qui dépend du moment exact dans le cycle où la commutation a lieu, mais ils peuvent avoir, de plus, des caractéristiques de formes d'ondes microscopiques (détaillées) et macroscopiques (globales) très compliquées.

Du fait qu'ils se produisent de façon aléatoire, il est très difficile de bien mesurer les transitoires. La découverte de nouvelles techniques pour la conception et la fabrication de systèmes a accru la volonté d'identifier avec plus de précision les effets des transitoires.

En particulier, un dispositif semi-conducteur peut être sensible à une surtension d'une durée très courte (nanosecondes). Du fait des variations des formes d'ondes, il faut mesurer un grand nombre de paramètres pour avoir une mesure précise d'un transitoire donné. Même si l'on mesure la forme d'onde exacte d'un transitoire, pour le maîtriser, il faut décrire ce transitoire à l'aide d'un nombre déterminé de paramètres.

Le choix de ces paramètres et leur plage de valeurs est encore matière à spéculations. La méthode de mesure appropriée est encore considérée par certains comme une question ouverte. Les équipements de test modernes permettent des mesures encore inexistantes dans un passé récent, mais ils doivent être utilisés avec une attention particulière.

Il est, par conséquent, nécessaire de disposer de méthodes bien définies et reconnues pour mesurer les transitoires, afin que:

- a) les mesures effectuées par différents laboratoires puissent être comparées;
- b) des limites cohérentes soient fixées aux transitoires produits par des types particuliers de matériels, ainsi qu'à la susceptibilité de certains matériels aux transitoires.

Ce guide a donc été préparé pour aider à satisfaire ces exigences. Il est à noter que ce guide ne traite que des phénomènes transitoires qui ne se rapportent pas à la fréquence du réseau et durent 40 ms au maximum. Il ne traite pas non plus de variations ni de fluctuations de tension prolongées.

1. Domaine d'application

Le présent rapport est destiné à servir de guide en ce qui concerne les méthodes de mesure des transitoires de courte durée sur les lignes de puissance et de contrôle basse tension.

GUIDE ON METHODS OF MEASUREMENT OF SHORT DURATION TRANSIENTS ON LOW VOLTAGE POWER AND SIGNAL LINES

INTRODUCTION

Transients appearing on power and signal lines are capable of producing a variety of effects ranging from minor equipment performance degradation to catastrophic insulation breakdown. They have a wide variety of waveforms, which depend upon the mechanism of generation. Furthermore, those that originate from switching a.c. power on and off will have a form that depends upon the exact moment in the power cycle at which switching takes place, but in addition can have very complicated micro (detailed) and macro (overall) waveform characteristics.

Because of this variety and the frequently random time of occurrence, there is considerable difficulty in making a suitable measurement of a transient. The advent of new technologies in device design and manufacture has increased concern for identifying more precisely the effects of transients.

In particular, a solid-state device can be susceptible even to an overvoltage of very short (nanosecond) time duration. Furthermore, because of variations in the waveforms, to have a precise measurement of any given transient would require the measurement of a large number of parameters. Even if one measures the exact waveform of a transient, for control purposes, one must then describe the transient with a finite number of parameter values.

The choice of these parameters and their expected range of values is still a matter of some speculation, and the proper method of measurement is still considered by some to be an open question. Modern types of test equipment provide measurement capabilities not available previously, but they must be used with particular care.

Accordingly, there is a need for well-defined and accepted methods of measuring transients for two major reasons, namely so that:

- a) measurements made by different laboratories may be compared;
- b) meaningful limits may be placed on transients generated by particular types of equipment and on the susceptibility of particular equipment to transients.

This guide has been prepared to assist in meeting these requirements. Note that in this guide the concern is with transient phenomena which are not line-frequency related and are of duration no greater than 40 ms. It is also not concerned with sustained voltage changes or fluctuations.

1. Scope

This report is intended to give guidance on methods of measurement of short duration transients on low voltage power and signal lines.

2. Caractéristiques des transitoires

Les transitoires peuvent être classés de la façon suivante, en fonction de leur origine:

- a) transitoires produits par l'environnement, c'est-à-dire par la foudre;
- b) transitoires produits par l'ouverture et la fermeture d'un circuit ou par des défauts;
- c) transitoires produits au sein des circuits de matériels particuliers.

2.1 *Transitoires produits par l'environnement*

Ces transitoires sont dus à la foudre et sont particulièrement graves sur les sections de câbles aériens et non blindés. Au point le plus proche de l'endroit où le transitoire est produit, le temps de montée peut être bref et l'amplitude élevée. Les temps de montée et de descente peuvent être considérablement rallongés et l'amplitude réduite, au fur et à mesure que le transitoire se propage le long du réseau. Généralement, ces transitoires ont des temps de montée de l'ordre de la microseconde et des temps de descente compris entre 50 μ s et 50 ms, et ils peuvent être oscillatoires. Les effets produits sur les conducteurs internes sont amoindris si les câbles sont blindés ou enterrés dans des zones où la résistivité de la terre est faible.

2.2 *Transitoires produits par des appareils électriques*

Les transitoires produits par des appareils sont principalement dus aux trois causes suivantes:

- a) la commande d'un interrupteur mécanique ou à semi-conducteur;
- b) les courants d'appel associés aux caractéristiques de saturation d'un transformateur à noyau de fer ou les courants de démarrage dans les moteurs;
- c) des défauts dans l'équipement.

Les transitoires produits par une commutation ou un défaut peuvent aller d'une simple surintensité ou d'un creux de tension à une forme d'onde très complexe causée par l'amorçage répété d'un arc, quand les contacts d'un interrupteur mécanique sont séparés. Les transitoires les plus graves apparaissent en général à la suite de l'ouverture d'un circuit inductif, par exemple la fusion d'un fusible. Dans de nombreux cas, des techniques spéciales, comme placer des condensateurs en parallèle sur les contacts, réduisent l'ampleur des transitoires et, dans d'autres cas, il est possible d'éliminer les transitoires en utilisant des systèmes semi-conducteurs. Les transitoires peuvent avoir des temps de montée de l'ordre de quelques nanosecondes à proximité immédiate de l'interrupteur, c'est-à-dire à moins d'un mètre; à des distances de plusieurs mètres, le temps de montée sera considérablement accru du fait de l'atténuation par la ligne des composantes de fréquence élevées. Les courants d'appel d'un transformateur produisent des transitoires qui peuvent faire plusieurs fois la tension de crête de la ligne, mais qui ont des temps de montée égaux à des dizaines de microsecondes.

2.3 *Paramètres à mesurer*

En raison de la complexité et de la non-reproductibilité des transitoires, il est difficile de déterminer les paramètres à mesurer. Aussi peut-on examiner les caractéristiques de susceptibilité des matériels considérés et les diviser en plusieurs catégories, pour déterminer les paramètres à mesurer (voir article 4):

- a) les appareils qui sont sensibles à une plage de fréquences limitée, comme les récepteurs radiofréquences ou les récepteurs à fréquences porteuses;

2. Characteristics of transients

Transients may be classified according to their origin as follows:

- a) those produced by the environment, that is to say, by lightning;
- b) those produced by electrical switching or faults;
- c) those produced internally within the circuits of particular equipment.

2.1 *Environment-produced transients*

These transients arise from lightning and are most severe on overhead and unscreened cable sections. At the point closest to the point at which the transient is generated, the rise time can be short and the amplitude high. The rise time and fall time can be considerably lengthened and the amplitude reduced as the transient propagates along the network. Typically, such transients have rise times of the order of microseconds and fall times from 50 μ s to 50 ms and may be oscillatory. The effects on inner conductors are reduced in the case of screened cables and cables buried in areas of low ground resistivity.

2.2 *Appliance-produced transients*

Transients produced by appliances arise from three basic causes:

- a) the operation of a mechanical or semiconductor switch;
- b) turn-on currents associated with the saturation properties of an iron-core transformer or starting currents in motors;
- c) faults within equipment.

The transient produced by a switch or fault can range from a simple surge or dip (sag) to a very complex waveform caused by repeated "restriking" of an arc as the contacts of a mechanical switch separate. The most serious transients usually arise as a result of breaking an inductive circuit, for example, the blowing of a fuse. In many cases, special techniques, such as placing capacitors across the contacts, will reduce the magnitude of the transients generated, and in other cases suppression can be obtained by the use of semiconductor devices. The transients can have rise times of the order of a few nanoseconds in the immediate vicinity of the switch, that is to say, within a fraction of a metre; however, at distances of several metres from the switch, the rise time will be considerably increased due to attenuation of the line of the higher frequency components. Switching of transformers produces transients which may be of the order of several times the peak line voltage but will have rise times of the order of tens of microseconds.

2.3 *Parameters to be measured*

Because of the complex and variable nature of transients, it is difficult to specify which parameters should be measured. Under such circumstances, it is useful to examine the susceptibility characteristics of the equipment under consideration and to divide these into several categories in order to determine the parameters to be measured (see Clause 4):

- a) those which are susceptible to a restricted band of frequencies, such as radio or carrier frequency receivers;

- b) les matériels qui sont sensibles à une large bande de fréquences dans le domaine des basses fréquences radio (par exemple un redresseur secteur). Pour ces systèmes, la tension de crête est en général le paramètre critique; mais l'énergie doit également être considérée comme étant un paramètre important;
- c) les matériels qui sont sensibles à une large bande de fréquences, dans le domaine des hautes fréquences radio. La grandeur critique est, dans ce cas, la vitesse de montée de l'impulsion. Les équipements numériques sont souvent sensibles à ce paramètre, et la destruction de composants peut se produire.

Il peut être souhaitable de faire quelques mesures communes, mais alors il est possible que l'on ne puisse effectuer toutes ces mesures avec un seul instrument. Par commodité, ces paramètres peuvent être classés selon qu'ils fournissent des informations dans les domaines fréquentiel ou temporel.

La figure 1, page 62, illustre la complexité d'un transitoire caractéristique et indique quelques-uns des paramètres du domaine temporel qui peuvent servir à le décrire. En outre, la surface réelle de l'impulsion (tension $\times$ temps) et sa quantité d'énergie ont leur importance.

L'amplitude du spectre est le paramètre du domaine fréquentiel le plus souvent utilisé pour décrire un transitoire. La caractéristique fréquence-phase est également importante, mais elle n'est habituellement pas mesurée, en raison de la difficulté de la mesure et de l'utilisation des données. Si la perturbation est de nature discontinue, il est possible d'appliquer des techniques de pondération temporelle, comme celle qui est utilisée avec l'instrument C.I.S.P.R. Dans tous les cas, la composante non pondérée est intéressante.

2.3.1 *Relation entre les paramètres du domaine fréquentiel et les paramètres du domaine temporel*

La figure 2 a), page 63, montre une forme d'onde d'une perturbation transitoire produite au cours d'une mise hors circuit d'un conducteur auxiliaire de 220 V.

La figure 2 b), page 63, représente l'amplitude du spectre de cette forme d'onde. La relation entre le tracé de l'amplitude du spectre et la forme d'onde temporelle est plus évidente si l'on utilise une impulsion trapézoïdale.

L'amplitude du spectre d'une impulsion trapézoïdale symétrique ayant une durée moyenne d'impulsion T est, pour la gamme de fréquences inférieure à $f = 1/\pi T$, indépendante de la fréquence (cette partie de la courbe de l'amplitude du spectre est parallèle à l'abscisse) et a une valeur égale à la surface amplitude-durée de l'impulsion. Pour une fréquence supérieure à $f = 1/\pi T$, l'enveloppe du spectre varie en fonction de $1/f$. L'impulsion trapézoïdale ayant des temps de montée et de descente égaux à t , l'enveloppe de l'amplitude du spectre au-dessus de la fréquence $1/\pi t$ varie en fonction de $1/f^2$.

Noter que sur la figure 2 b), l'abscisse est en mégahertz sur une échelle logarithmique et l'ordonnée en décibels par rapport à 1 μ Vs. (1 μ Vs correspond à 10^6 μ V pour 1 MHz.) La représentation de l'amplitude du spectre peut être calculée à l'aide des techniques des intégrales de Fourier. Quand les impulsions sont répétées à des intervalles réguliers, on observe un spectre discontinu à la place d'un spectre continu. Il est possible, dans ce cas, d'utiliser une représentation correspondant à la figure 2 b); cependant, cette courbe correspond à la courbe enveloppe de l'amplitude des composantes discrètes qui sont espacées sur l'échelle des fréquences d'une distance correspondant à la fréquence de répétition.

- b) those which are susceptible to a broad band of low radio frequencies (for example, a mains rectifier). For such devices the peak voltage is usually the critical parameter; but energy may also be an important parameter;
- c) those which are susceptible to a broad band of frequencies in the higher frequency bands. The critical quantity is the rate of rise of the pulse. Digital equipment is often susceptible to this parameter, and destruction of devices may also occur.

Some general measurement capabilities can be desirable but one may not be able to measure all parameters with a single instrument. For convenience, these parameters may be classified according to whether they give information in the time or frequency domains.

Figure 1, page 62, illustrates the possible complex nature of a typical transient and some of the time domain parameters that may be used to describe it. In addition, effective pulse strength (voltage $\times$ time) and energy content may be significant.

The most common frequency domain parameter used to describe a transient is the spectrum amplitude. The frequency vs. phase characteristic may also be important but is not usually measured because of difficulties in both measurement and use of the data. Where the interference is discontinuous in nature, time weighting techniques such as those used in the C.I.S.P.R. instrument may also be applied. The unweighted component is of interest in any case.

2.3.1 *Relation between time domain and frequency domain parameters*

Figure 2 a), page 63, shows a representative waveform of one type of transient disturbance produced during a switching-off operation of a 220 V auxiliary conductor.

Figure 2 b), page 63, shows a spectrum amplitude representation of such a waveform. The relationship between the spectrum amplitude plot and the time domain waveform is best explained by comparing the relevant characteristics for a trapezoidal pulse.

The spectrum amplitude of a symmetrical trapezoidal pulse with the mean pulse time T is, in the frequency range below $f = 1/\pi T$, independent of frequency (this portion of the spectrum amplitude curve is parallel to the abscissa) and has a magnitude equal to the amplitude-time area of the pulse. Above the frequency $f = 1/\pi T$ the envelope of the spectrum varies as $1/f$. If the trapezoidal pulse has rise and fall times t , the envelope of the spectrum amplitude above the frequency $1/\pi t$ varies as $1/f^2$.

Note that on Figure 2 b) the abscissa is marked in megahertz on a logarithmic scale and the ordinate is given in decibels with respect to 1 μ Vs. (1 μ Vs corresponds to 10^6 μ V in 1 MHz.) The spectrum amplitude representation can be calculated using standard Fourier integral techniques. When the pulses are repeated at regular intervals, a discrete spectrum rather than a continuous spectrum is obtained. In that case, a representation corresponding to Figure 2 b) can be used, but the curve shown corresponds to the amplitude of the discrete components (envelope curve) which are spaced on the frequency scale at a distance corresponding to the repetition rate.

Il est, par conséquent, possible d'interpréter la figure 2 b), page 63, de la façon suivante:

- a) la portion plate — basse fréquence de la courbe — constitue un niveau déterminé par la surface se trouvant sous la courbe tension-durée de la figure 2 a), page 63;
- b) la portion des hautes fréquences supérieures à environ 20 MHz descend à une vitesse inversement proportionnelle au carré de la fréquence, et les points auxquels la descente commence sont déterminés par la vitesse de montée de la première partie de la forme d'onde (c'est-à-dire l'amplitude U_1);
- c) le pic sur la courbe de l'amplitude du spectre apparaît à une fréquence égale à la fréquence d'oscillation du transitoire. Donc, si l'on a un spectre correspondant à celui de la figure 2 b), il est possible de l'interpréter grâce aux importantes caractéristiques de la forme d'onde produisant le transitoire.

Par ailleurs, comme cela est indiqué par le point p de la figure 2 b), qui est le point d'intersection de la courbe avec la partie basse fréquence (horizontale) de la courbe, en traçant une droite ayant une pente proportionnelle à $1/f$ (tracée en pointillés sur la figure 2 b)) et une autre droite ayant une pente proportionnelle à $1/f^2$ (la courbe du spectre en trait plein), on obtient à partir de l'échelle figurant à droite de la figure 2 b) la tension réelle maximale dB(V) et la vitesse de montée dB(kV/ μ s) [10]*.

La pratique de la mesure impose des limites au temps de visualisation pour les mesures dans le domaine temporel ou à la bande passante pour les mesures dans le domaine fréquentiel. Par conséquent, si des transitoires de caractéristiques inconnues (amplitude, temps de montée, durée, fréquence de répétition) doivent être mesurés, la mesure devra être faite à la fois dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel. Ainsi, un maximum d'informations sur les transitoires sera obtenu.

2.3.2 Importance des différents paramètres des transitoires

a) Temps de montée

Le temps de montée caractérise la relation amplitude-fréquence du transitoire (voir le développement des séries de Fourier). Plus le temps de montée est court, plus forte est l'action perturbatrice sur le spectre fréquentiel. On pense généralement que les risques de dégradation du fonctionnement d'un dispositif sensible dépendent, entre autres paramètres, de sa largeur de bande. Il a été constaté, avec la relation amplitude/temps de montée, qu'en pratique 5% des perturbations ont des composantes significatives au-delà de 10 MHz et seulement 1% au-delà de 30 MHz. (Cependant, même des composantes à très bas niveau VHF peuvent brouiller les réceptions radio.)

b) Amplitude

L'amplitude revêt une importance particulière pour les longs transitoires (par exemple $> 1 \mu$ s). Cela peut être la grandeur la plus significative pour la dégradation du fonctionnement et la destruction des matériels à semi-conducteurs.

c) Energie

L'énergie d'un transitoire, bien que reliée à son amplitude, est aussi dépendante de l'impédance interne de la source de la perturbation et est un paramètre important vis-à-vis de la destruction de composants.

* Les chiffres entre crochets se rapportent à la «Bibliographie et références», pages 90.

Accordingly, the following interpretation can be placed on Figure 2 b), page 63:

- a) the low-frequency or flat portion of the curve is a level determined by the effective area under the voltage-time curve shown in Figure 2 a), page 63;
- b) the high-frequency portion, above about 20 MHz, falls off at a rate inversely proportional to the square of the frequency, and the points at which this rate of fall-off begins are determined by the rate of rise of the initial part of the waveform (that is to say to the amplitude U_i);
- c) the peak in the spectrum amplitude curve appears at a frequency equal to the frequency of oscillation of the transient. Thus, if one is given a spectrum corresponding to that in Figure 2 b), one can interpret it in terms of the important characteristics of the originating transient waveform.

Furthermore, as shown in Figure 2 b), at point p which is the point of intersection of the actual curve with the low frequency (horizontal) portion of the curve, by extending from this point a line with slope proportional to $1/f$ (shown dotted on Figure 2 b)) and one with a slope proportional to $1/f^2$ (the actual spectrum curve shown in the solid line), one can obtain, from the scales shown on the right-hand portion of Figure 2 b) the actual maximum voltage dB(V) and the rate of rise dB(kV/ μ s) [10]*.

Measuring practice sets limits on the viewing time in time domain measurements and on bandwidth in frequency domain measurements. Therefore, if transients of unknown characteristics (amplitude, rise time, duration, repetition frequency) are to be measured, the measurements should be performed both in the time domain and the frequency domain. In this way, maximum information about the transients can be obtained.

2.3.2 Importance of various transient parameters

a) Rise time

The rise time characterizes the transient in its amplitude-frequency relation (see Fourier series development). The shorter the rise time, the more extensive is the disturbing action in the frequency spectrum. Normally one would expect the risks of performance degradation of a susceptible device to be dependent on its acceptance bandwidth, among other factors. It has been reported that, in practice, the rise time/amplitude relation shows that 5% of the disturbances have significant components above 10 MHz and only 1% above 30 MHz. (However, even very low level components at VHF may interfere with radio reception.)

b) Amplitude

The amplitude is especially significant for long transients (for example, $>1 \mu$ s). It can be the most significant quantity relating to performance degradation or semiconductor device destruction.

c) Energy

The energy of the transient, although related to the amplitude, is also dependent on the internal impedance of the disturbance source and is an important parameter with regard to component destruction.

* The figures in square brackets refer to "Bibliography and references", page 90.

d) Durée

L'importance de ce paramètre est fonction de la constante de temps de l'équipement sensible en question. Pour les systèmes logiques, les chances de déclenchement des circuits commandés par une horloge de synchronisation peuvent être augmentées.

e) Bande de fréquences

Comme cela était mentionné à l'alinéa *a)*, le spectre de la perturbation peut ne pas être significatif au-dessus de 10 MHz à 30 MHz (au maximum).

f) Fréquence de répétition

Il est en général important de connaître la fréquence de répétition pour évaluer l'effet perturbateur des transitoires. Pour les systèmes analogiques, l'importance de ce paramètre est liée à la constante de temps de l'équipement sensible et il peut y avoir un phénomène d'intégration. Pour les systèmes logiques, les risques de panne peuvent être supérieurs si le transitoire et le signal de commande sont en phase.

3. Caractéristiques des mécanismes de couplage entre les sources de transitoires et les systèmes potentiellement susceptibles

On suppose que les transitoires considérés ici sont couplés aux systèmes susceptibles essentiellement par conduction. Ils sont généralement provoqués par une action de commutation sur la ligne à laquelle le dispositif est branché. L'action de commutation peut s'être produite à n'importe quel point localement (sur le réseau de distribution basse tension) ou en un point plus éloigné sur une ligne de transport haute tension. Les transitoires peuvent être également déclenchés par des phénomènes atmosphériques, comme la foudre, touchant directement une ligne haute tension ou par action sur la terre et induction sur des réseaux de distribution haute tension ou basse tension. Lorsque le dispositif sensible est situé à une distance proche de la perturbation initiale, le transitoire est principalement couplé par induction.

En cas de couplage par induction, les effets du couplage sont décrits par trois paramètres fondamentaux:

- a)* le coefficient d'atténuation de la ligne qui est fonction de la fréquence;
- b)* la nature de la charge sur la ligne;
- c)* la géométrie par rapport au plan de référence.

Etant donné que les lignes de puissance sont très rarement chargées par leur impédance caractéristique, il faut s'attendre à ce que des réflexions multiples se produisent sur la ligne à chaque discontinuité et, par exemple, quand une charge est connectée. Les caractéristiques de réflexion ont une influence considérable sur la forme des transitoires, et surtout sur ceux qui sont produits par des opérations de commutation. La conséquence est une oscillation transitoire, à une fréquence comprise entre des dizaines de kilohertz et des dizaines de mégahertz, ce qui donne un pic dans le spectre des transitoires déclenchés à cette fréquence particulière.

Des oscillations similaires sont également observables du fait de transitoires conduits, produits par des appareils électriques; mais la séparation entre les discontinuités est moindre et la fréquence d'oscillation peut donc être plus élevée. Il faut noter que l'atténuation de la ligne augmente avec la fréquence, de sorte que les oscillations transitoires ne sont généralement observées que sur les transitoires se manifestant à une distance relativement proche de la source.

d) Duration

The importance of the parameter depends on the time constant of the susceptible equipment in question. For logic systems, the chances of release of the circuits controlled by the synchronization clock may be increased.

e) Range of frequencies

As mentioned in paragraph *a)*, the spectrum of the disturbance may not be significant above 10 MHz to 30 MHz (maximum).

f) Repetition frequency

In general, a knowledge of the repetition frequency is important for estimating the disturbing effect of transients. For analogue systems, its importance depends on the time constant of the susceptible equipment and can involve an integration phenomenon. For logic systems, the risks of failure may be most severe if the transient and control signal are in phase.

3. Characteristics of mechanisms of coupling between transient sources and potentially susceptible devices

The transients of concern here are assumed to be coupled to the susceptible device primarily by conduction. They are usually initiated by some switching action on the connected power line. The switching action could be at any point either locally (on the immediate low-voltage distribution circuit) or at a more remote point on a high-voltage transmission line. Transients may also originate from atmospheric effects, for example, lightning, either as a direct strike on a high-voltage line or from a ground stroke by induction into a high-voltage or low-voltage distribution circuit. When the susceptible device is located close to the original disturbance, the coupling is primarily by induction.

In such a path, the effect of the coupling is described in terms of three basic parameters:

- a)* the attenuation characteristic as a function of frequency of the line;
- b)* the nature of the loading on the line;
- c)* the geometry in relation to the ground plane.

Since power lines are very rarely loaded in their characteristic impedance, one can expect multiple reflections to occur on the line at each discontinuity, for example, wherever a load is connected. Reflection characteristics are of considerable importance in shaping transients, especially those produced by switching operations. The consequence is ringing, at a frequency usually in the range of tens of kilohertz to tens of megahertz, which causes the spectrum amplitude of the transient to have a peak at that particular frequency.

Similar ringing is also possible as a result of conducted transients produced by appliances; however, the separation between discontinuities is smaller and therefore the ringing frequency can be much higher. However, it should be noted that the attenuation of the line increases with frequency, so that the ringing would usually be observed only for transients which are measured at positions relatively close to the source.

La possibilité de couplage du fait de l'induction (couplage à la fois inductif et capacitif) entre une ligne de puissance et une ligne de communication est également à envisager. Cela est particulièrement important dans les installations industrielles où les câbles de puissance peuvent être posés à côté des câbles de contrôle et de commande, sur des distances relativement longues. En général, ces mécanismes de couplage peuvent être réduits en utilisant des paires torsadées, ou des câbles coaxiaux, et en plaçant les câbles dans des tubes métalliques vissés.

L'impédance finie du plan de sol est une autre source de couplage. Ainsi de nombreux transitoires sont propagés en mode commun sur des lignes de transmission et le courant réfléchi circule dans le plan de sol. Si la voie de retour par le sol n'a pas une très faible impédance ou si les points de raccordement à la voie de retour par le sol sont proches de ceux d'un circuit sensible, des différences de potentiel importantes peuvent être créées. Il est possible d'utiliser des circuits symétriques équilibrés pour minimiser les effets du couplage en mode commun; cependant, un léger déséquilibre dans les circuits sensibles peut avoir de graves conséquences.

En cas de couplage direct par les câbles secteur, entre un matériel branché et un autre, on peut souvent utiliser des filtres passe-bas pour supprimer les effets indésirables.

3.1 Modes de propagation

Les quatre modes de propagation principaux sur les lignes de puissance sont indiqués sur la figure 3, page 64. Des modes de propagation analogues existent sur les lignes de commande. Comme le montre la figure 3, il y a en fait deux modes de propagation par conduction: le mode commun (MC) ou asymétrique et le mode différentiel/équilibré (MD) ou symétrique. Presque tous les appareils commerciaux ont un conducteur de protection. Dans certaines installations d'immeubles, on utilise un système à deux conducteurs sans conducteur de protection. La plupart des installations basse tension ont un conducteur de protection qui est relié à la terre à l'origine de l'installation.

Il est parfois nécessaire de faire des mesures entre chaque phase et la terre. Les relations entre les tensions de circuit ouvert en mode commun U_{MC} , et mode différentiel U_{MD} pour les phases A et B sont indiquées sur la figure 4, page 65.

Si les tensions des phases sont respectivement $\underline{A}$ et $\underline{B}$, alors

$$U_{MC} = \frac{\underline{A} + \underline{B}}{2}$$

$$U_{MD} = \underline{A} - \underline{B}$$

Les impédances mesurées entre la phase et la terre sont indiquées sur la figure 5, page 66 [1]. L'impédance joue un rôle décisif dans la maîtrise des affaiblissements d'insertion entre la source du transitoire et l'emplacement de la mesure. Voir à ce sujet les divers trajets montrés sur la figure 6 a), page 67 [2]. Il a été mis en évidence que les pertes moyennes d'insertion en mode différentiel, représentées sur la figure 6b), page 68, étaient déterminées par la discordance des diverses impédances. La méthode d'injection du signal faisait appel à une technique de sonde de courant, représentée sur la figure 6c), page 69. Il convient de noter que les affaiblissements en mode différentiel sont indépendants de la fréquence jusqu'à 30 MHz.

L'impédance en mode différentiel a une valeur bien définie, de 50 Ω , par exemple, pour une ligne coaxiale, ou plus pour une ligne équilibrée. En mode commun, jusqu'à peut-être plusieurs dizaines de kilohertz, l'impédance s'approche de la valeur de réactance d'une ligne de longueur équivalente mise à la terre par une impédance faible ou nulle.

The possibility of coupling as the result of induction (both inductive and capacitive coupling) between a power line and a communication line must also be considered. This is especially important in industrial plants where power cables and control or signal cables run side by side over relatively large distances. Generally, such coupling mechanisms can be reduced by using twisted pair or coaxial cables and by placing the cables in screwed metal conduits.

Another source of coupling is a finite ground plane impedance. Many transients, for example, are propagated in common mode on transmission lines and the return current flows through the ground plane. If the ground return path is not of very low impedance or the points of connection to the ground return path are close to similar return points for a sensitive circuit, significant differences in potential can be produced. Balanced symmetrical circuits can be used to minimize the effects of common-mode coupling, but any small imbalance in the sensitive circuit may be critical.

In the case of direct coupling along the power cable from one equipment to another, low-pass filters can often be used to suppress unwanted effects.

3.1 Propagation modes

The four general modes of propagation for power lines are shown in Figure 3, page 64. Similar modes of propagation exist on signal lines. As shown in Figure 3, there are two main modes of conducted propagation: asymmetrical or common-mode (CM) and symmetrical or differential/balanced mode (DM). Nearly all commercial products have a protective conductor. In some domestic installations, a two-wire power system with no protective conductor is used. Most low-voltage installations have the protective conductor connected to earth at the service entrance.

For some purposes, measurements are made from each phase to earth. The relations between phase A , B , common mode, U_{CM} , and differential mode, U_{DM} , open-circuit voltages are shown in Figure 4, page 65.

If the phase voltages are, respectively, $\underline{A}$ and $\underline{B}$, then

$$U_{CM} = \frac{\underline{A} + \underline{B}}{2}$$

$$U_{DM} = \underline{A} - \underline{B}$$

Measured impedances between phase and earth are shown in Figure 5, page 66 [1]. This impedance plays a critical role in controlling the insertion loss between the transient source and the point of measurement. Consider the various paths as illustrated in Figure 6a), page 67, [2]. It has been found that the mean differential mode insertion loss shown in Figure 6b), page 68, was controlled by the mismatch of the various impedances. The method of signal injection used a current probe technique shown in Figure 6c), page 69. Note that the differential mode loss is more or less independent of frequency up to 30 MHz.

The differential mode impedance has a well-defined value, for example, $50\ \Omega$ for a coaxial line and higher for a balanced line. In common mode, up to perhaps several tens of kilohertz, the impedance can be expected to have a value approximately equal to the reactance of a line of equivalent length and grounded by a low or zero impedance.

4. Susceptibilité/Immunité

Certains matériels électriques sont potentiellement sensibles aux transitoires, à moins que des mesures de prévention adéquates n'aient été prévues pour assurer leur protection dans l'environnement. En règle générale, grâce à l'expérience acquise dans l'utilisation des câbles, connecteurs, condensateurs, matériaux isolants, transformateurs, interrupteurs et autres, les marges nécessaires pour que les surtensions passagères soient supportées ont été établies, et les essais appropriés de surtension ont été spécifiés pour de nombreux composants. Toutefois, les matériels comprenant des dispositifs à semi-conducteurs peuvent réagir différemment, notamment subir de graves dégâts ou mal fonctionner de façon passagère; certains de ces effets sont examinés ci-dessous, en particulier parce que les appareils de mesure et d'analyse des transitoires ne doivent pas en souffrir.

4.1 *Détériorations*

Les détériorations causées par les transitoires concernent essentiellement les dispositifs semi-conducteurs, bien que les ruptures d'isolants d'autres composants puissent se produire du fait de transitoires ayant une amplitude très élevée, par exemple à proximité du point de chute de la foudre. Les dispositifs à semi-conducteurs de puissance branchés sur les lignes de puissance sont soumis à toute la tension du transitoire; toutefois, il est possible de choisir des dispositifs ayant les caractéristiques adéquates pour ce genre d'applications, basées sur des cas connus de pannes. Les semi-conducteurs dans les circuits bas niveau, de contrôle et de commande, ne sont couplés qu'indirectement aux lignes d'alimentation, parce que des dégâts peuvent se produire étant donné que ces systèmes ont, en général, des valeurs nominales de tension et/ou de courant assez faibles. Ces mécanismes de couplage font intervenir des composantes à haute fréquence des transitoires et peuvent être difficiles à évaluer dans de nombreuses applications; aussi faut-il envisager des mesures préventives pour protéger ces dispositifs. Des exemples de détérioration sont fournis ci-dessous.

4.1.1 *Dispositifs semi-conducteurs de puissance*

Ces dispositifs peuvent être endommagés par des tensions transitoires (pics) d'une durée d'environ 1 ns. La probabilité des détériorations est fonction de l'amplitude du transitoire, de sa durée, de sa polarité, de la vitesse de montée, de son emplacement sur la forme d'onde de la source, et aussi des caractéristiques du dispositif. La rupture initiale du dispositif est souvent suivie par la décharge d'un courant élevé de la source, ce qui provoque des dégâts catastrophiques. Parmi les dispositifs susceptibles d'être endommagés, il a été enregistré le cas des diodes de redressement dans les appareils électroniques et les thyristors servant à réguler la vitesse de moteurs.

4.1.2 *Circuits à bas niveau de contrôle et de commande*

Alors que ces circuits ne sont généralement pas reliés directement au réseau d'alimentation basse tension, il y a couplage, entre eux, par l'intermédiaire du circuit d'alimentation en courant continu, et par des effets induits dans les câbles de commande et de contrôle, de sorte que des transitoires de faible amplitude peuvent être injectés dans ces circuits. Différents dispositifs semi-conducteurs susceptibles d'être endommagés par des transitoires de niveau relativement faible sont incorporés dans ces circuits, notamment dans des circuits intégrés, certains dispositifs discrets (comme les transistors à effet de champ) et des diodes à utilisation spéciale (comme les diodes tunnels).

4. Susceptibility/Immunity

Certain types of electrical equipment are potentially susceptible to transients unless suitable preventive measures have been incorporated to provide immunity in the environment. In general, long-term experience in the use of cables, connectors, capacitors, insulating materials, transformers, switches, etc., has established the margins required to enable transient overvoltages to be withstood, and for many components the appropriate overvoltage tests are specified. However, for equipment incorporating semiconductor devices there are various forms of susceptibility likely to occur, including catastrophic damage and temporary malfunction. Some of these effects are discussed below, in particular, because transient measuring and analysis equipment must not suffer these effects.

4.1 *Damage effects*

Damage effects are largely confined to semiconductor devices although insulation failure of other components can occur because of particularly high amplitude transients, for example, nearby lightning strokes. Power semiconductor devices connected to the supply lines are subjected to the full transient voltage, but devices of adequate rating are selected for such applications based upon earlier experience of device failures. Semiconductor devices in low-level signal and control circuits are only coupled indirectly to the supply lines, but damage can occur since the devices in general have a fairly low voltage and/or current rating. These coupling mechanisms involve high frequency components of the transients and may be difficult to assess in many applications, so that preventive measures to protect the devices require some consideration. Examples of damage effects are given below.

4.1.1 *Power semiconductor devices*

These devices can be damaged by voltage transients (spikes) with durations as short as about 1 ns. The likelihood of damage is a function of transient amplitude, duration, polarity, rate of rise, position on the supply waveform, etc., as well as the device parameters. The initial breakdown of the device is likely to be followed by a high current discharge from the supply, which causes catastrophic damage. Typical devices which have been found liable to damage are rectifier diodes in electronic equipment and thyristors used for motor speed control.

4.1.2 *Low-level signal and control circuits*

While these circuits are not generally directly connected to the low-voltage supply mains, there is coupling between them via the d.c. supply circuit and by induced effects in signal and control cables, so that transients of reduced amplitude can be injected into the circuits. Various semiconductor devices liable to damage by relatively low-level transients are incorporated in these circuits, for example, integrated circuits, certain discrete devices (such as field effect transistors and special purpose diodes (such as tunnel diodes)).

4.2 *Mauvais fonctionnement*

Divers types de mauvais fonctionnement peuvent être causés par des transitoires produits sur des lignes d'alimentation basse tension, qui peuvent être couplés ou non à des lignes de contrôle commande, sur un large éventail de matériels. Certains de ces effets pourraient créer des risques, par exemple d'incendie ou d'explosion, notamment dans les installations de fabrication de produits chimiques, ou de brusques variations de régime dans les moteurs. Or, la majorité des mauvais fonctionnements susceptibles de se produire sont relativement sans danger et peuvent ne produire qu'un effet temporaire dont l'utilisateur peut s'accommoder, comme une petite variation transitoire dans une lecture sur un appareil.

Dans la pratique, on a constaté que deux types de transitoires sur l'alimentation étaient la cause de la plupart des mauvais fonctionnements observés; il s'agit des pics de tension durant à peu près 1 μ s et des creux de tension (réductions durant près de 10 ms ou plus). Les creux de tension ne sont pas couverts par le présent guide, excepté dans la note suivante.

Note. — Les creux de tension, c'est-à-dire les réductions de la tension d'alimentation des matériels électroniques, qui durent environ 10 ms ou davantage, peuvent en perturber le fonctionnement car ces réductions agissent sur l'alimentation stabilisée interne en courant continu. Les effets peuvent être dramatiques sur certains types de matériels, dont nous allons donner des exemples:

a) *Systèmes numériques*

Les systèmes numériques vont très mal fonctionner si l'alimentation en tension continue est réduite de façon notable. Citons, parmi les effets produits, l'altération des données, le blocage du système, la perte de programme, etc.

b) *Systèmes de commande*

Ces systèmes sont susceptibles de souffrir de mauvais fonctionnement grave, perturbant ainsi la fonction de commande.

c) *Instrumentation*

La plupart des types d'instrumentation sont susceptibles de fonctionner très mal, à la suite de creux de tension.

d) *Systèmes d'alarme et de déclenchement*

Ces systèmes sont susceptibles de fonctionner de manière désordonnée, à la suite de creux de tension.

4.2.1 *Effets produits par les pics de tension*

a) *Systèmes numériques*

Les matériels comprenant des systèmes numériques (comme les ordinateurs, les microprocesseurs et l'instrumentation) peuvent être affectés par des pics de tension qui sont couplés dans les circuits logiques et altèrent les données. Ces effets peuvent être maîtrisés par diverses techniques de correction des erreurs; toutefois, dans les cas extrêmes, cette altération peut causer de graves effets (par exemple, fonction de commande incorrecte, blocage des systèmes, changement de programme non demandé et mauvaise mise en mémoire des données).

b) *Systèmes de commande*

Les matériels de commande peuvent être affectés par des pics de tension induits qui entraînent un mauvais fonctionnement du matériel.

c) *Instrumentation*

Les pics peuvent provoquer des indications inexactes sur certains types d'appareils.

d) *Systèmes d'alarme et de déclenchement*

Le fonctionnement intempestif ou le non-fonctionnement de ces systèmes peut être déclenché par des pics de tension.

4.2 Malfunction effects

Various forms of equipment malfunction can be caused by transients generated on low-voltage supply lines, which may or may not be coupled to signal lines, on a wide range of types of equipment. Some of these effects could create safety hazards, for example, fire or explosion in chemical manufacturing plants or sudden changes in motor speed. However, the majority of the malfunctions likely to occur are relatively harmless, possibly producing only a temporary effect which is quite acceptable to the user, for example, a small transient change in a meter reading.

In practice, two different types of transients on the supply are found to be the cause of most of the observed malfunctions, that is to say voltage spikes with durations of the order of 1 μ s and voltage dips or sags (reductions lasting for about 10 ms and longer). Voltage dips are not covered in this guide, apart from the following note.

Note. — Voltage dips (sags), that is to say reductions in the supply voltage to electronic equipment lasting for about 10 ms or longer, can upset the operation of the equipment because of the effects of reduction in the internal stabilized d.c. voltage supply. The effects can be very drastic on certain types of equipment and examples are given as follows:

a) Digital systems

Serious malfunctioning of digital systems will occur if the d.c. voltage supply is reduced significantly. The effects produced can include corruption of data system “lock-up”, loss of programme, etc.

b) Control systems

These systems are liable to suffer serious malfunctioning, causing disruption of the control function.

c) Instrumentation

Most types of instrumentation are likely to malfunction seriously as a result of voltage dips (sags).

d) Alarm and trip systems

False operation of these systems is likely to be caused by voltage dips (sags).

4.2.1 Effects of voltage spikes

a) Digital systems

Equipment which incorporates digital systems (such as computers, microprocessors, and instrumentation) can be affected by voltage spikes which are coupled into the logic circuits and corrupt the data. The effects may be overcome by various error correction techniques but in extreme cases the corruption may cause serious effects (for example, incorrect control function, systems “lock-up”, unwanted change of programme, and feeding incorrect data into a store).

b) Control systems

Control equipment can be affected by induced voltage spikes causing a malfunction of the system.

c) Instrumentation

Incorrect indication by some types of equipment can be produced by the effects of spikes.

d) Alarm and trip systems

Undesired operation or failure of operation of these systems can be triggered by voltage spikes.

e) Matériels comprenant des dispositifs semi-conducteurs de puissance

La régulation de la vitesse des moteurs commandés par des semi-conducteurs peut être modifiée par des pics de tension, ce qui se traduit par une brusque augmentation transitoire de la vitesse. Les commandes de chauffage ne sont pas perturbées à ce point par des pics de tension isolés, mais une succession de pics peut entraîner un important changement de température.

5. Instrumentation

Cet article décrit les diverses méthodes de mesure. Dans certains cas, les instruments de mesure sont disponibles dans le commerce, mais, dans d'autres, ils ont été mis au point dans des laboratoires pour un usage expérimental. L'objectif est d'orienter l'utilisateur en lui donnant les caractéristiques importantes de tous ces instruments.

On considère en général qu'un instrument de mesure comprend quatre parties fondamentales:

- a) un détecteur;
- b) un processeur;
- c) un affichage;
- d) un système de commande.

Les relations entre ces éléments sont indiquées sur la figure 7, page 70.

Un type d'instrument est déterminé par son type de détecteur. Des appareils de mesure ayant des détecteurs semblables, mais étant produits par des fabricants différents, se distingueront surtout par les autres fonctions qu'ils exécutent. Et même, dans certains cas, ces fonctions sont modifiables ou peuvent être réalisées, à des degrés divers, par des appareils auxiliaires, sous la supervision de l'opérateur.

Ces instruments se répartissent en plusieurs catégories. Pour chaque cas, les principes de base de leur fonctionnement sont décrits, ainsi que la relation entre les paramètres fondamentaux et les paramètres fréquemment cités dans les brochures commerciales.

5.1 *Obtention des données statistiques sur les paramètres des transitoires*

Le fait que les transitoires varient tellement d'un cas à l'autre veut dire que, sauf quand leur cause peut être attribuée à un événement remarquable, la signification des transitoires doit être rattachée à un ensemble de paramètres choisis. Il est notamment intéressant de connaître non seulement la valeur maximale d'un paramètre donné qui peut se produire, mais aussi la valeur moyenne et la variance de ce paramètre. Pour de nombreux systèmes, il y a une fréquence de répétition minimale qui peut entraîner la dégradation du fonctionnement du matériel, de sorte que ces transitoires sont sans conséquence s'ils ne se succèdent pas sur une courte période.

Dans ce paragraphe sont énumérés les paramètres qui doivent être pris en considération pour choisir les instruments servant à recueillir ces données.

a) Qualités requises

Ces instruments de mesures devraient:

- être portatifs;

e) Equipment incorporating power semiconductor devices

Motor speed control by semiconductors can be affected by voltage spikes and typically takes the form of a sudden transient increase in speed. Heating controls are not so drastically affected by single voltage spikes, but repetitive spikes could cause a large change in temperature.

5. Instrumentation

In this clause various methods of measurement are described. In some cases the instruments are available commercially, in others they have been constructed in laboratories for particular experiments. The objective is to provide the user with guidance on the significant characteristics of all such instruments.

In general, an instrument can be considered to consist of four basic parts as follows:

- a) detector;*
- b) processor;*
- c) output display;*
- d) control system.*

These parts are related as shown in Figure 7, page 70.

The basic type of instrument is determined by the type of detector. Instruments having similar detectors but produced by different manufacturers may differ principally in the ways in which other functions are performed. Indeed, in some cases these functions may be adjustable or in fact performed to various extents by auxiliary apparatus under the control of the operator.

The instruments are described in several categories. In each case, fundamental principles of operation are described along with the relationship between fundamental parameters and those frequently stated in commercial literature.

5.1 *Obtaining statistical data on parameters of transients*

The fact that transients are so variable from one instance to the next, means that, except where some particular significance can be associated with a particular event, significance must be associated with a range of expected transient parameters. In particular, it is of interest to know not only the maximum value of a particular parameter that may occur but also the mean value and the associated variance of that parameter. For many systems, there is a minimum repetition rate that can cause effective equipment performance degradation, so that unless a succession of transients can appear in a short period, those transients are of no consequence.

This sub-clause identifies parameters that must be considered in the instruments selected for gathering such data.

a) Required qualities

Such an instrument should:

- be portable;

- fonctionner automatiquement, par exemple enregistrer des perturbations survenant très rarement (moins d'une fois par mois);
- garder l'information quand il y a une coupure de courant;
- avoir des dispositifs externes de déclenchement de sorte que seuls certains types de transitoires soient enregistrés;
- enregistrer le moment de survenance du transitoire (jour, heure, minute, seconde);
- permettre l'établissement d'un seuil connu;
- enregistrer la direction de l'origine du transitoire;
- être insensibles aux perturbations conduites ou rayonnées.

b) Caractéristiques

– Temps mort:

Le temps mort est la durée pendant laquelle l'enregistreur est incapable d'effectuer la résolution de transitoires séparés. Il peut varier de 100 μ s à 1 s.

– Plage de fréquences:

Précision de 3 dB de 20 Hz à 50 MHz (pour tenir compte des alinéas *a)* et *e)* du paragraphe 2.3.2).

– Fréquence de répétition:

Comprise entre 10 fois/milliseconde et 1 fois/mois.

– Alimentation:

Batterie flottante (sauf pour les essais de longue durée).

5.2 *Compteur de transitoires*

Les compteurs sont en général des instruments de mesure relativement simples, conçus pour détecter et compter les transitoires qui dépassent une ou plusieurs amplitudes présélectionnées. Ils peuvent également comprendre des dispositifs qui réagissent à la durée du transitoire et indiquent sa polarité. Dans certains cas, les enregistreurs sont alimentés sur batterie pour que leur fonctionnement ne soit pas perturbé par les variations du secteur. En principe, ces compteurs réagissent à des transitoires durant plus de 0,1 μ s et moins de 1 μ s. Ils ont une précision d'environ 5% à 10%. La résistance d'entrée fait en général 10 k Ω à 1 M Ω .

La lecture se fait de diverses façons, par:

- a)* compteur électromécanique;
- b)* imprimante;
- c)* enregistreur à plume.

La fréquence maximale à laquelle les transitoires peuvent être enregistrés est parfois limitée, par exemple à 25 Hz dans le cas de lecture sur compteur électromécanique.

5.3 *Voltmètre de crête*

Ces instruments de mesure, que l'on appelle aussi voltmètres à mémoire ou de mesure de crête, mesurent l'amplitude de la crête du transitoire et mémorisent les données jusqu'à la réinitialisation. La réponse à des transitoires de courte durée est déterminée

- operate automatically, for example, record very low occurrence interference (less than once a month);
- not lose information when a power break occurs;
- have external triggering facilities in order that only certain types of transients are recorded;
- record the time of occurrence (day, hour, minute, second);
- enable setting of a known threshold level;
- record direction of origin of transient;
- be insensitive to conducted or radiated disturbances.

b) Characteristics

– Dead time:

The dead time is the time during which the recorder is incapable of resolving separate transients. It may vary from 100 μ s to 1 s.

– Range of frequencies:

Accuracy of 3 dB from 20 Hz to 50 MHz (in order to take into account paragraphs *a)* and *e)* of Sub-clause 2.3.2).

– Repetition frequency:

From 10 times/millisecond to 1/month.

– Power supply:

Battery floating (except where used for long test periods).

5.2 *Transient counter*

These are generally fairly simple instruments designed to detect and count transients which exceed one or more pre-selected amplitudes. They may also incorporate facilities which respond to transient duration and indicate transient polarity. In some cases, the recorders are battery operated to maintain operation regardless of mains perturbations. Typically these counters respond to transients with durations longer than 0.1 μ s to 1 μ s. The accuracy is usually about 5% to 10%. The input resistance is typically 10 k Ω to 1 M Ω .

Various forms of readout are used:

- a)* electromechanical counter;
- b)* printout;
- c)* pen recorder.

The maximum rate at which transients can be recorded may be limited, for example, about 25 Hz with electromechanical counter readout.

5.3 *Peak voltmeter*

These instruments, which are also referred to as peak-hold or memory voltmeters, measure the transient peak amplitude and store the data until reset. The response to short duration transients is determined by the effective charge time constant of the

par la constante de temps de charge réelle du circuit de mesure qui est généralement comprise entre 0,02 μ s et 0,3 μ s. Leur précision est d'environ 1 % à 3 %. La résistance d'entrée est en général comprise entre 1 M Ω et 10 M Ω en très basse fréquence. En outre, certains appareils possèdent des filtres large bande commutables à l'entrée, qui permettent d'avoir une information sur le domaine fréquentiel.

La lecture peut se faire de diverses manières, par exemple:

- a) par affichage numérique ou en lecture directe sur les cadrans;
- b) sur le papier d'un enregistreur graphique;
- c) sur le papier sortant de l'imprimante;
- d) en données numériques;
- e) en données analogiques.

Le voltmètre mémorise la valeur de la tension de crête pendant un laps de temps donné, qui peut être déterminé par une réinitialisation manuelle ou automatique.

Certains appareils sont munis d'un convertisseur analogique-numérique, et parfois aussi d'un microprocesseur pour perfectionner les opérations de commande et de mise en mémoire.

Il est important que le voltmètre indique à quel moment la surcharge s'est produite.

5.4 *Autres paramètres*

De nombreux paramètres du domaine temporel, en plus de ceux qui sont énumérés aux paragraphes 5.2 et 5.3, sont identifiés, notamment le temps de montée, la durée de l'impulsion, le temps de descente. Il n'existe toutefois pas d'instruments de mesure, dans le commerce, capables de mesurer correctement ces paramètres. S'il faut les mesurer, le mieux est de les analyser à l'aide des techniques présentées au paragraphe 5.5. Cependant, toute valeur obtenue dépendra de l'évaluation subjective des valeurs observées.

5.5 *Enregistrement et analyse de la forme d'onde*

Les dispositifs les mieux adaptés à l'enregistrement des transitoires sont les enregistreurs sur bande ou sur papier, les oscilloscopes et les enregistreurs numériques des formes d'ondes.

5.5.1 *Enregistrement des formes d'ondes*

5.5.1.1 *Enregistrement sur bande magnétique*

Les appareils d'enregistrement sur bande magnétique offrent diverses possibilités pour mesurer les phénomènes transitoires. Ils présentent, entre autres avantages, la possibilité de dissocier l'opération d'enregistrement de l'analyse du transitoire.

Enregistrement

Il est possible d'enregistrer pendant une longue durée, en choisissant la bande passante. En utilisant la modulation de fréquences, il est possible d'enregistrer une gamme de fréquences allant jusqu'à la fréquence zéro. Les appareils d'enregistrement sur bande magnétique servant à mesurer les transitoires ont une bande passante assez limitée. Il convient de veiller à obtenir le rapport signal-bruit optimal par le choix de la vitesse de la bande.

measuring circuit which is typically in the range 0.02 μs to 0.3 μs . The accuracy is usually about 1 % to 3 %. The input resistance is generally in the range 1 M Ω to 10 M Ω . Furthermore, some instruments contain switchable broadband filters at the input which enable one to obtain also some frequency domain information.

The readout can take various forms, such as:

- a) meter reading or numerical display;
- b) strip chart recorder;
- c) printout;
- d) digital output;
- e) analogue output.

The voltmeter stores the value of the peak voltage during a particular time period, and this period may be determined by an automatic or manual reset.

Some designs incorporate an analogue to digital converter, and also possibly a microprocessor to provide sophisticated control and storage facilities.

It is important that the voltmeter should indicate when overload has occurred.

5.4 *Other parameters*

Many other time-domain parameters are recognized in addition to those mentioned in Sub-clauses 5.2 and 5.3, such as rise time, pulse duration, fall time, etc. However, there are no commercially available instruments that effectively measure these parameters. If they are to be measured they can best be observed using the techniques discussed in Sub-clause 5.5. Here, however, any value obtained is subject to subjective evaluation of observed values.

5.5 *Waveform recording and analysis*

The devices most suitable for recording such transients are tape or paper recorders, oscilloscopes, and digital waveform recorders.

5.5.1 *Waveform recording*

5.5.1.1 *Magnetic tape recording*

Magnetic recorders offer various possibilities for measuring transient phenomena. One of their advantages is the possibility of dissociating the recording process from the analysis of the transient.

Recording

The recording can be carried out over a long period of time with a choice of pass-bands. Using frequency modulation it is possible to record over a range of frequencies extending down to zero. Systems of transient measurement using magnetic recorders have a rather limited pass-band. Attention should be paid to achieving the optimum signal-to-noise ratio by choice of tape speed.