

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60835-2-11

Première édition
First edition
1996-10

**Méthodes de mesure applicables au matériel
utilisé pour les systèmes de transmission
numérique en hyperfréquence**

Partie 2:

Mesures applicables aux faisceaux hertziens
terrestres

Section 11: Dispositifs d'annulation
du brouillage de polarisation croisée

**Methods of measurement for equipment used in
digital microwave radio transmission systems**

Part 2:

Measurements on terrestrial radio-relay systems

Section 11: Cross-polarization
interference canceller



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60835-2-11: 1996

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.

NORME
INTERNATIONALE

CEI
IEC

INTERNATIONAL
STANDARD

60835-2-11

Première édition
First edition
1996-10

**Méthodes de mesure applicables au matériel
utilisé pour les systèmes de transmission
numérique en hyperfréquence**

Partie 2:

Mesures applicables aux faisceaux hertziens
terrestres

Section 11: Dispositifs d'annulation
du brouillage de polarisation croisée

**Methods of measurement for equipment used in
digital microwave radio transmission systems**

Part 2:

Measurements on terrestrial radio-relay systems

Section 11: Cross-polarization
interference canceller

© IEC 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
 Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Référence normative	8
3 Caractéristiques statiques	8
3.1 C/N en fonction de l'isolation en polarisation croisée (XPI) (condition d'évanouissement plat)	8
3.2 XPI (ou facteur d'amélioration) en fonction de la différence des temps de propagation	12
3.3 XPI (ou facteur d'amélioration) en fonction de la profondeur du creux dû aux signaux dispersifs	14
4 Caractéristiques dynamiques	18
4.1 Généralités	18
4.2 Méthode de mesure	18
4.3 Présentation des résultats	18
4.4 Détails à spécifier	18
 Figures	
1 Exemple de fonctionnement du dispositif d'annulation du brouillage de polarisation croisée	20
2 Exemple de la structure du dispositif d'annulation du brouillage de polarisation croisée	22
3 Configuration pour la mesure de C/N en fonction de XPI	24
4 Exemple du résultat de la mesure de C/N en fonction de XPI	26
5 Configuration pour la mesure de XPI ou du facteur d'amélioration en fonction de la différence de temps de propagation	28
6 Exemple de résultats de mesure de XPI et du facteur d'amélioration en fonction de la différence de temps de propagation	30
7 Configuration pour la mesure dans des conditions dispersives	32
8 Exemples de résultats de mesure de XPI et du facteur d'amélioration	34
9 Exemple du signal de balayage pour la mesure des caractéristiques dynamiques	36
10 Exemple du résultat de la mesure des caractéristiques dynamiques	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
 Clause	
1 Scope	9
2 Normative reference	9
3 Static characteristics	9
3.1 C/N versus cross-polarization isolation (XPI) (flat fading condition)	9
3.2 XPI (or improvement factor) versus delay difference	13
3.3 XPI (or improvement factor) versus notch depth with dispersive signals	15
4 Dynamic characteristics	19
4.1 General considerations	19
4.2 Method of measurement	19
4.3 Presentation of results	19
4.4 Details to be specified	19
 Figures	
1 Example of cross-polar interference canceller operation	21
2 Example of the structure of cross-polar interference canceller	23
3 Set-up for C/N versus XPI measurement	25
4 Example for C/N versus XPI measurement result	27
5 Set-up for XPI or improvement factor versus delay difference measurement	29
6 Example of measurement results of XPI and of improvement factor versus delay difference	31
7 Set-up for measurement of dispersive conditions	33
8 Example of measurement results of XPI and improvement factor	35
9 Illustration of sweep waveform for the measurement of dynamic characteristics	37
10 Example of measurement result of dynamic characteristics	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES DE MESURE APPLICABLES AU MATÉRIEL UTILISÉ POUR LES SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE EN HYPERFRÉQUENCE -

Partie 2: Mesures applicables aux faisceaux hertziens terrestres -

Section 11: Dispositifs d'annulation du brouillage de polarisation croisée

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant des questions techniques, représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales; ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 835-2-11 a été établie par le sous-comité 12E: Systèmes de communications par faisceaux hertziens et satellites, du comité d'études 12 de la CEI: Radiocommunications.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
12E/263/FDIS	12E/271/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS OF MEASUREMENT FOR EQUIPMENT
USED IN DIGITAL MICROWAVE
RADIO TRANSMISSION SYSTEMS -**

Part 2: Measurements on terrestrial radio-relay systems -

Section 11: Cross-polarization interference canceller

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, express as nearly as possible an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 835-2-11 has been prepared by subcommittee 12E: Radio-relay and satellite communication systems, of IEC technical committee 12: Radiocommunications.

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

FDIS	Report on voting
12E/263/FDIS	12E/271/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

INTRODUCTION

Afin de mieux utiliser le spectre radioélectrique, des techniques de modulation multi-états sont mises en oeuvre. Ces techniques améliorent l'efficacité spectrale du canal radio-électrique en augmentant le nombre des états de modulation, par exemple MAQ 16, MAQ 64 ou MAQ 256.

Une autre méthode intéressante pour atteindre une grande efficacité spectrale consiste à émettre simultanément deux signaux différents en polarisations orthogonales, à la même fréquence nominale de porteuse, sur le même bond hertzien. Cette méthode peut doubler la capacité de transmission des systèmes radioélectriques numériques, mais l'isolation entre les signaux transmis est limitée du fait que l'orthogonalité de polarisation est imparfaite du fait de l'imperfection des guides d'ondes et du désalignement des antennes. De plus, une difficulté supplémentaire réside dans le fait que l'isolation déjà limitée entre ces deux signaux est encore réduite par différents phénomènes atmosphériques, comme la propagation par trajets multiples et la pluie, et qu'elle est d'une nature variable dans le temps. Il s'ensuit que ces signaux émis avec des polarisations différentes et de même fréquence nominale de porteuse sont sujets à des brouillages mutuels. C'est pourquoi, dans le cas d'une modulation à grand nombre d'états, il est nécessaire d'employer des contre-mesures auto-adaptatives pour minimiser ces brouillages. En pratique, ces dispositifs d'annulation du brouillage de polarisation croisée (XPICs) sont généralement intégrés aux démodulateurs.

Les XPICs sont constitués de filtres transverses en f.i. ou en bande de base qui traitent les signaux dispersifs et les brouillages dus à la propagation par trajets multiples. En outre, il existe deux sortes de filtres transverses. L'un est le filtre transverse à espacement égal au temps symbole et l'autre est celui à espacement fractionné dont le retard entre prises consécutives est généralement la moitié de celui du filtre transverse à espacement égal au temps symbole.

La figure 1 donne un exemple du fonctionnement du XPIC. Par commodité, les polarisations orthogonales sont respectivement désignées comme polarisation horizontale (H) et polarisation verticale (V). Sur la figure, le filtre transverse en f.i. est représenté pour des raisons de simplicité. Le fonctionnement du filtre transverse en bande de base est, pour l'essentiel, équivalent à celui du filtre en f.i. La figure montre comment les XPICs opèrent en utilisant le signal reçu en polarisation V et en ajustant son amplitude et sa phase au moyen du filtre transverse.

Le résultat est que le brouillage de polarisation croisée présent dans le signal reçu H est réduit par soustraction du signal reçu en polarisation V et dont la fonction de transfert a été ajustée par le filtre transverse (signal d'annulation). La modification de l'amplitude et de la phase s'effectue sur la totalité de la bande passante du signal, puisque les caractéristiques en fréquence du brouillage de polarisation croisée sont différentes de celles du signal principal reçu en polarisation croisée.

La figure 1 ne montre que l'effet de la dépolarisation de V sur la polarisation H. Il existe également l'effet de la dépolarisation de H sur la polarisation V. C'est pourquoi, en pratique, les XPICs ont une structure semblable à celle représentée à la figure 2. Les filtres transverses servant à annuler le brouillage de polarisation croisée provoqué par le signal dépolarisé V sont commandés de manière auto-adaptative afin de minimiser dans le signal d'erreur du signal H, la contribution du signal V émis en polarisation orthogonale.

Les résultats des mesures ne dépendent pas seulement du XPIC mais aussi du démodulateur. Ces mesures ne sont possibles que si des points d'interface en f.i. appropriés sont disponibles.

INTRODUCTION

To make a more efficient use of the radio spectrum, multi-state modulation techniques are employed. These techniques have improved the spectral efficiency of the radio channel by increasing the number of modulation states for example 16 QAM, 64 QAM or 256 QAM.

Another attractive method for achieving the high spectral efficiency is to transmit two different signals simultaneously on orthogonal polarizations at the same nominal carrier frequency over the same hop. This method may double the transmission capacity of digital radio systems but there is a limited isolation between the signals because the orthogonal polarization cannot be perfectly achieved due to imperfect waveguide and antenna alignments. Moreover, that limited isolation is still further reduced by various conditions such as multipath propagation or rainfall, and is of a time-variant nature. Consequently, dual-polarized channels sharing the same nominal carrier frequency face mutual interference. Therefore, in the case of high multi-state modulation, it is necessary to use adaptive countermeasures against the cross-polarization interference. In practice, such cross-polarization interference cancellers (XPICs) are usually included in demodulators.

Adaptive XPICs consist of i.f. or baseband transversal filters in order to handle dispersive signals and interference due to multipath propagation. Moreover, there are two kinds of transversal filters. One is the baud-space transversal filter and the other is the fractional-space one, whose delay period per one tap is generally half of that of the baud-space transversal filter.

An example of the XPIC operation is illustrated in figure 1. For convenience, the orthogonal polarizations are referred as horizontal (H) polarization and vertical (V) polarization, respectively. In the figure, the i.f. transversal filter is shown for simplicity. The operation of the baseband transversal filter is essentially equivalent to that of the i.f. filter. The figure illustrates how the XPICs operate by using the received V-polarization signal and adjusting its amplitude and phase by means of the transversal filter.

As a result, the cross-polarization interference present in the received H-polarization signal is reduced by subtracting the adjusted V-polarization signal (cancelling signal). Modification of the amplitude and phase is accomplished over the entire bandwidth of the signal, since the frequency characteristics of the cross-polarization interference are different from those of the received cross-polarization main signal.

Figure 1 shows only the effect of V to H depolarization. There is also the effect of the H to V depolarization. Therefore, practical XPICs have structures as shown in figure 2. The transversal filters that cancel the cross-polarization interference depolarized from the V-polarization signal are adaptively controlled to minimize the V component of the H error signal.

The results of the measurements depend not only on the XPIC but also on the demodulator. These measurements are only applicable if suitable i.f. interface points are available.

MÉTHODES DE MESURE APPLICABLES AU MATÉRIEL UTILISÉ POUR LES SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE EN HYPERFRÉQUENCE -

Partie 2: Mesures applicables aux faisceaux hertziens terrestres -

Section 11: Dispositifs d'annulation du brouillage de polarisation croisée

1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 835-2 traite des mesures applicables aux dispositifs d'annulation du brouillage dus à la transpolarisation (XPIC) utilisés dans les systèmes de transmission hertzienne de données numériques.

2 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 835-2. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 835-2 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 835-2-8: 1993, *Méthodes de mesure applicables au matériel utilisé pour les systèmes de transmission numérique en hyperfréquence - Partie 2: Mesures applicables aux faisceaux hertziens terrestres - Section 8: Egaliseur auto-adaptatif*

3 Caractéristiques statiques

3.1 C/N en fonction de l'isolation en polarisation croisée (XPI) (condition d'évanouissement plat)

3.1.1 Généralités

L'isolation en polarisation croisée (XPI) définie pour deux ondes radioélectriques transmises avec la même puissance et émises en polarisations orthogonales, est le rapport, à l'entrée du récepteur affecté à une polarisation, de la puissance reçue dans cette polarisation du signal attendu sur cette polarisation à la puissance reçue sur cette même polarisation du signal attendu sur la polarisation orthogonale.

Pour des valeurs relativement élevées de C/N (faible bruit), le taux d'erreur sur les bits (TEB) est principalement déterminé par la XPI. Un TEB constant, par exemple 10^{-4} , résultant du brouillage de polarisation croisée, dépendra des performances du XPIC. De plus, il est important de mesurer les caractéristiques de verrouillage du système en diminuant le niveau de brouillage de polarisation croisée à partir d'un état de déverrouillage ainsi que le fonctionnement du XPIC (mesure appelée ci-après mesure de fonctionnement ordinaire) mesuré en augmentant la valeur du brouillage de polarisation croisée à partir d'un état de verrouillage.

**METHODS OF MEASUREMENT FOR EQUIPMENT
USED IN DIGITAL MICROWAVE
RADIO TRANSMISSION SYSTEMS –**

Part 2: Measurements on terrestrial radio-relay systems –

Section 11: Cross-polarization interference canceller

1 Scope

This section of IEC 835-2 deals with measurement for cross-polarization interference cancellers (XPIC) used in digital microwave radio-relay systems.

2 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 835-2. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 835-2 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 835-2-8: 1993, *Methods of measurement for equipment used in digital microwave radio transmission systems – Part 2: Measurements on terrestrial radio-relay systems – Section 8: Adaptive equalizer*

3 Static characteristics

3.1 C/N versus cross-polarization isolation (XPI) (flat fading condition)

3.1.1 General considerations

Cross-polarization isolation (XPI) as defined for two radio waves transmitted with the same power and orthogonal polarizations, is the ratio at the reception point of the power received from one of the waves to the power from the other wave, in the expected polarization of the first wave.

At relatively high C/N values (low noise), the BER is essentially determined by the XPI. A constant BER, for example 10^{-4} , resulting from the cross-polarization interference, will depend on the XPIC performance. Furthermore, it is important to measure the lock-in performance by decreasing the value of the cross-polarization interference from a lock-out state as well as the XPIC performance (hereinafter referred to as ordinary performance measurement) measured by increasing the value of the cross-polarization interference from a lock-in state.

Pour des valeurs relativement faibles de C/N (fort bruit), le TEB est essentiellement déterminé par le bruit, et le brouillage de polarisation croisée aura peu d'effet sur lui. Pour des valeurs relativement élevées de la XPI (faible brouillage de polarisation croisée), il existe un point auquel les deux courbes (avec et sans XPIC) se rencontrent (voir figure 4). Ce point détermine la limite opérationnelle du XPIC, limite au-delà de laquelle le XPIC ne peut plus réduire le brouillage de polarisation croisée.

Pour des valeurs faibles de la XPI (inférieures à 10 dB environ), les valeurs du C/N aux sorties du XPIC sont sensibles aux relations de phase existant dans le modèle de propagation simulé. Ainsi, si le XPIC est conçu pour fonctionner à des valeurs de XPI inférieures à 10 dB, il se peut qu'une variation de phase apporte une contribution à la mesure. Il est recommandé d'enregistrer dans les résultats les valeurs les plus mauvaises du C/N.

3.1.2 Méthode de mesure

Le dispositif de mesure est représenté figure 3. Des signaux binaires pseudo-aléatoires, sans corrélation entre eux, sont appliqués aux deux modulateurs. Après séparation des deux signaux de polarisations H et V chacun en deux voies, voie principale (signal principal en polarisation croisée) et voie perturbatrice (brouillage de polarisation croisée), les longueurs statiques des quatre chemins électriques sont ajustées à l'entrée des récepteurs pour qu'elles soient identiques. Un bruit (n) et un brouillage de polarisation croisée (i), tous deux réglables, sont ajoutés aux deux signaux principaux.

Lorsque C/N et XPI sont tous les deux plus grands que 10 dB, l'addition du bruit et des composants de brouillage de polarisation croisée au chemin du signal principal en polarisation croisée, peut être évitée, puisque leur effet sur les mesures est alors négligeable. Ceci s'applique aussi aux méthodes de mesures décrites en 3.2.2, 3.3.2 et 4.2.

Il y a lieu de régler, à l'entrée du démodulateur, C/N et XPI pour les deux signaux principaux (polarisation croisée et co-polarisation) de la manière suivante. Deux filtres passe-bande de largeur de bande suffisante pour ne pas dégrader de manière perceptible la transmission du signal principal peuvent s'avérer nécessaires pour mesurer la puissance du bruit.

- a) On coupe le bruit et le brouillage de polarisation croisée, et on mesure alors la puissance du signal principal (s) à l'accès de sortie du combineur à travers le filtre passe-bande étalonné.
- b) On coupe le brouillage de polarisation croisée et le signal principal, et on mesure la puissance du bruit (n) à l'accès indiqué ci-dessus.
- c) On coupe le signal principal et le bruit, et on mesure le brouillage de polarisation croisée (i) à l'accès indiqué ci-dessus.

d) C/N et XPI se définissent de la façon suivante:

$$C/N = s/n + 10 \log (B_{CAL}/B) \text{ (dB)}$$

$$XPI = s/i$$

où

B_{CAL} est la largeur de bande de bruit équivalente du filtre passe-bande;

B est la largeur de bande de bruit équivalente du récepteur du signal principal.

At relatively low C/N values (high noise), the BER is essentially determined by the noise, and the cross-polarization interference will have little effect on the BER. At relatively high XPI values (low cross-polarization interference), there is a point where two curves (with and without the XPIC) meet (see figure 4). The point determines the operational limit of the XPIC, beyond which the XPIC cannot reduce the interference.

At low XPI values (smaller than about 10 dB), the C/N values at the outputs of the XPIC are sensitive to the phase relations existing within the simulated propagation model. Therefore, if the XPIC is designed to operate for XPI values below 10 dB, a phase variation should contribute a part of the measurement. It is recommended that the worst case values of C/N be recorded in the results.

3.1.2 Method of measurement

The set-up for the measurements is shown in figure 3. The two modulators are driven by different pseudo-random binary signals which do not correlate with each other. After the H- and V-polarization signals are divided into main (cross-polarization main signal) and leaky (cross-polarization interference) paths, the four path-lengths are adjusted at the inputs of the receivers to have the same static path length. Adjustable noise (n) and adjustable cross-polarization interference (i) are added to the two main signals.

When C/N and XPI are both higher than about 10 dB, the addition of noise and cross-polarization interference to the cross-polarization main signal path may be omitted because the effect on the measurement results is then negligible. This applies also to the methods of measurement described in 3.2.2, 3.3.2 and 4.2.

C/N and XPI should be set for both (cross-polarization and co-polarization) main signals at the demodulator input as follows. Two bandpass filters which pass the main signals without noticeable degradation may be needed to measure the noise power

- a) Noise and cross-polarization interference are switched off. Then the main signal power (s) is measured at the output port of the combiner through the calibrated band-pass filter.
- b) Cross-polarization interference and the main signal are switched off, and the noise power (n) is measured at the above-mentioned port.
- c) The main signal and noise are switched off, and the cross-polarization interference (i) is measured at the above-mentioned port.
- d) C/N and XPI are defined as follows:

$$C/N = s/n + 10 \log (B_{CAL}/B) \text{ (dB)}$$

$$XPI = s/i$$

where

B_{CAL} is the equivalent noise bandwidth of the bandpass filter;

B is the equivalent noise bandwidth of the main signal receiver.

On mesure, pour différents niveaux de bruit (n), les niveaux de brouillage de polarisation croisée (i) nécessaires pour atteindre le TEB spécifié, par exemple 10^{-4} . Cette mesure est effectuée en augmentant les niveaux de brouillage de polarisation croisée à partir d'une valeur basse (fonctionnement ordinaire). Faire varier la phase du déphaseur et déterminer la valeur de C/N selon les indications données ci-dessus de manière à trouver la valeur correspondant au pire cas. Par mesure de simplicité, lorsque l'on ajoute le bruit et/ou le brouillage de polarisation croisée sur les deux trajets, il convient que C/N et XPI sur les deux trajets soient ajustés aux mêmes valeurs.

Les résultats sont présentés par un diagramme de C/N en fonction de XPI. La figure 4 montre un exemple de résultats des mesures. La valeur de XPI à l'intersection des courbes (avec et sans XPIC) indique la limite opérationnelle. Le facteur d'amélioration est la différence de XPI entre les performances avec et sans le XPIC pour un C/N et un TEB spécifiés.

La mesure du facteur d'amélioration nécessite de désactiver le XPIC. Si ce n'est pas possible, on ne pourra mesurer que la performance avec le XPIC. Le fonctionnement en verrouillage du système se mesure en diminuant la valeur du brouillage de polarisation croisée (i) à partir d'un état de déverrouillage du système (valeur élevée du brouillage de polarisation croisée), de la même façon que la mesure normale ci-dessus.

Il convient que les mesures ci-dessus soient effectuées pour chacun des signaux polarisés ou pour les deux, si nécessaire.

3.1.3 Présentation des résultats

Il y a lieu de présenter les résultats sous forme d'un graphique donnant, pour un TEB spécifié, le C/N en décibels (dB), en fonction de XPI en dB.

3.1.4 Détails à spécifier

Si cette mesure est exigée, il convient que les détails suivants soient inclus dans le cahier des charges des équipements:

- a) les paramètres principaux du système, tels que le débit binaire, type de modulation, coefficient d'arrondi des filtres, etc.;
- b) la configuration du signal d'essai du générateur de séquence de bits pseudo-aléatoire;
- c) les accès entre lesquels le bruit et le brouillage de polarisation croisée doivent être ajoutés;
- d) le TEB spécifié, par exemple 10^{-4} ;
- e) le C/N spécifié;
- f) la valeur minimale requise de XPI pour la performance ordinaire et en verrouillage, ainsi que le facteur d'amélioration minimal requis, si la mesure est possible.

3.2 XPI (ou facteur d'amélioration) en fonction de la différence des temps de propagation

3.2.1 Généralités

Le fonctionnement des XPICs est généralement sensible à la différence de temps de propagation entre la voie du brouillage de polarisation croisée et la voie du signal principal en polarisation croisée.

Cross-polarization interference levels (i) necessary for obtaining the specified BER, for example 10^{-4} , are measured by increasing interference levels from the small value for several noise levels (n) (the ordinary performance). Vary the phase of the phase shifter and determine C/N as indicated above in order to find the worst case value. When noise and/or interference are added to both paths, C/N and XPI for both paths should have the same values, for simplicity.

Results are presented by plotting C/N against XPI. Figure 4 shows an example of the measurement result. An XPI value at the meeting-point of the curves (with and without the XPIC) shows the operational limit. The improvement factor is the XPI difference between the performance with and without the XPIC at the specified C/N and BER.

The measurement of the improvement factor requires the XPIC to be disabled. If this is not possible, only the performance with the XPIC is measured. The lock-in performance is measured by decreasing the value of the cross-polarization interference (i) from a lock-out state (high value of interference) of the equipment in the same way as the above-mentioned ordinary measurement.

The above measurements should be carried out for either polarization signal or both polarization signals, if required.

3.1.3 *Presentation of results*

The C/N resulting in the specified BER should be presented in decibels (dB) graphically as a function of the XPI in dB.

3.1.4 *Details to be specified*

The following items should be included, as required, in the detailed equipment specification:

- a) main system parameters, such as bit-rate, modulation format, roll-off factor, etc.;
- b) pattern of test signal from a pseudo-random binary sequence generator;
- c) ports between which the noise and the cross-polarization interference are to be added;
- d) specified BER, for example 10^{-4} ;
- e) specified C/N;
- f) minimum required value of XPI for both the ordinary and the lock-in performance, and minimum required improvement factor, if applicable.

3.2 *XPI (or improvement factor) versus delay difference*

3.2.1 *General considerations*

The performance of the XPICs is generally sensitive to the delay difference between the cross-polarization interference path and the cross-polarization main signal path.

3.2.2 Méthode de mesure

Le dispositif de mesure est indiqué à la figure 5. Ce dispositif est le même que celui des mesures de C/N en fonction de XPI de la figure 3, excepté qu'une ligne à retard variable (D_V) est intercalée dans la voie du signal principal en polarisation croisée, par exemple de polarisation V. Ainsi, il est possible de modifier la différence de temps de propagation entre la voie du brouillage de polarisation croisée et celle du signal principal en polarisation croisée par réglage de D_V ; pour un TEB, par exemple 10^{-4} , et pour un C/N spécifiés, on mesure XPI ou le facteur d'amélioration en fonction de la différence de temps de propagation. Les méthodes d'étalonnage de C/N et de XPI sont les mêmes qu'en 3.1.2.

La figure 6 donne un exemple de résultats de mesures. Il y a lieu de répéter la mesure ci-dessus pour le signal en polarisation H, en intercalant D_H , au lieu de D_V , ou pour les deux signaux, de polarisation H et V, en intercalant à la fois D_V et D_H , si nécessaire.

3.2.3 Présentation des résultats

Il y a lieu de présenter les résultats sous forme d'un graphique donnant, pour un TEB spécifié, XPI ou le facteur d'amélioration, si la mesure est possible, en fonction de la différence de temps de propagation.

3.2.4 Détails à spécifier

Si cette mesure est exigée, il convient que les détails suivants soient inclus dans le cahier des charges des équipements:

- a) les paramètres principaux du système, tels que le débit binaire, type de modulation, coefficient d'arrondi des filtres, etc.;
- b) la configuration du signal d'essai du générateur pseudo-aléatoire;
- c) les accès entre lesquels le bruit et le brouillage de polarisation croisée sont à ajouter;
- d) le TEB spécifié, par exemple 10^{-4} ;
- e) le C/N spécifié;
- f) les accès entre lesquels la différence de temps de propagation est à régler;
- g) la plage de différence de temps de propagation;
- h) la valeur minimale requise de XPI et le facteur d'amélioration minimal requis, si la mesure est possible, dans la plage de différence de temps de propagation spécifiée ci-dessus.

3.3 XPI (ou facteur d'amélioration) en fonction de la profondeur du creux du aux signaux dispersifs

3.3.1 Généralités

Dans les paragraphes ci-dessus, un signal non dispersif et un brouilleur de polarisation croisée non dispersif ont été utilisés pour évaluer la performance du XPIC. Pour évaluer les performances du XPIC lors de trajets multiples, il y a lieu d'utiliser un signal principal en polarisation croisée dispersif et un signal de brouillage de polarisation croisée non dispersif.

La XPI ou le facteur d'amélioration se dégradent lorsque la profondeur du creux augmente car la distorsion du signal principal après égalisation augmente. La XPI ou le facteur d'amélioration dépendent fortement des caractéristiques des égaliseurs adaptatifs des trajets principaux situés dans les démodulateurs (voir la CEI 835-2-8).

3.2.2 Method of measurement

The set-up for the measurements shown in figure 5. This set-up is the same as the one for C/N versus XPI measurement in figure 3 except that a variable delay line (D_V) is inserted into the cross-polarization main signal path, for example V-polarization. Accordingly, the delay difference between the cross-polarization interference path and the cross-polarization main signal path can be changed by adjusting D_V ; XPI or improvement factor at the specified BER, for example 10^{-4} and at the specified C/N, is measured versus the delay difference. The calibration methods of C/N and XPI are the same as in 3.1.2.

An example of the measurement result is shown in figure 6. The above measurement should be repeated for the H-polarization signal inserting D_H instead of D_V , or for the H- and the V-polarization signals inserting both D_V and D_H , if required.

3.2.3 Presentation of results

XPI or the improvement factor, if applicable, should be presented graphically for a specified BER as a function of the delay difference.

3.2.4 Details to be specified

The following items should be included, as required, in the detailed equipment specification:

- a) main system parameters, such as bit-rate, modulation format, roll-off factor, etc.;
- b) pattern of test signal from a pseudo-random generator;
- c) ports between which the noise and the cross-polarization interference are to be added;
- d) specified BER, for example 10^{-4} ;
- e) specified C/N;
- f) ports between which the delay difference is to be adjusted;
- g) delay difference range;
- h) minimum required value of XPI, and minimum required improvement factor, if applicable, in the above delay difference range.

3.3 XPI (or improvement factor) versus notch depth with dispersive signals

3.3.1 General considerations

In the above subclauses, a non-dispersive signal and a non-dispersive cross-polarization interference are used to evaluate XPIC performance. To evaluate the XPIC performance during multipath propagation, a dispersive cross-polarization main signal and a non-dispersive cross-polarization interference should be used.

XPI or improvement factor degrades as the notch depth increases, because the equalized waveform distortion of the main signal increases. The XPI or improvement factor strongly depends on the adaptive equalizers (see IEC 835-2-8) within the demodulators in the main signal paths.

3.3.2 Méthode de mesure

La configuration de mesure est présentée à la figure 7. Cette configuration est identique à celle utilisée pour les mesures de C/N en fonction de la XPI de la figure 3, à l'exception de l'insertion de simulateurs de trajets multiples dans les trajets des signaux principaux (voir la CEI 835-2-8). Les caractéristiques de dispersion en fréquence sont produites par le modèle de propagation à deux trajets. Les simulateurs d'évanouissement par trajets multiples sont insérés sur les trajets indiqués et la fréquence du creux (F_n) ainsi que la différence de temps de propagation entre les deux rayons (τ) sont réglées aux valeurs spécifiées. Il y a lieu d'effectuer la mesure, au C/N spécifié et à la profondeur de creux (B) spécifiée, en diminuant lentement la valeur de la XPI à partir d'une valeur élevée jusqu'à ce que le TEB atteigne la valeur spécifiée, par exemple 10^{-4} . Il convient de noter alors la valeur correspondante de la XPI. Il y a lieu de répéter la mesure pour différentes valeurs de profondeur de creux. Il existe de nombreuses combinaisons pour les paramètres d'évanouissement de trajets multiples. Dans un but de simplification, il y a lieu de régler à la même profondeur et à la même fréquence le creux des deux simulateurs d'évanouissement par trajets multiples.

Les méthodes d'étalonnage de C/N et de XPI sont les mêmes qu'en 3.1.2, les chemins électriques statiques des trajets étant ajustés pour être identiques. La figure 8 montre un exemple de résultats de mesure pour une fréquence du creux située au centre de la bande (fréquence = «0»).

Si la spécification les demande, il y a lieu d'effectuer les mesures ci-dessus pour les deux polarisations ainsi que pour les deux modèles de propagation à deux chemins à minimum de phase (MP) et à non-minimum de phase (NMP).

3.3.3 Présentation des résultats

Il y a lieu de présenter les résultats sous forme d'un graphique donnant la XPI ou le facteur d'amélioration, si la mesure est possible, en fonction de la profondeur du creux d'évanouissement.

3.3.4 Détails à spécifier

Si cette mesure est exigée, il convient d'inclure les détails suivants dans le cahier des charges des équipements:

- a) les paramètres principaux du système, tels que le débit binaire, type de modulation, coefficient d'arrondi des filtres, etc.;
- b) la configuration du signal d'essai du générateur pseudo-aléatoire;
- c) les accès entre lesquels le bruit et le brouillage de polarisation croisée sont à ajouter;
- d) le TEB spécifié, par exemple 10^{-4} ;
- e) le C/N spécifié;
- f) les accès entre lesquels le ou les simulateurs de trajets multiples sont à insérer;
- g) les paramètres du simulateur d'évanouissement par trajets multiples, tels que la fréquence du creux (F_n) et la différence de temps de propagation entre les deux rayons (τ);
- h) la plage de la profondeur de creux d'évanouissement (B);
- i) le type de simulation d'évanouissement par trajets multiples (MP, NMP);
- k) la valeur minimale requise de la XPI et le facteur d'amélioration minimal requis, si la mesure est possible, pour chacun des éléments ci-dessus.

3.3.2 Method of measurement

The measurement set-up is shown in figure 7. This arrangement is similar to that for C/N versus XPI measurement in figure 3 except that fading simulators (see IEC 835-2-8) are inserted into the main signal paths. The dispersive frequency characteristics are generated by the two-path propagation model. Multipath fading simulators are inserted into the indicated paths, and the notch frequency (F_n) and two-ray delay difference (τ) are set at the specified values. The measurement should be carried out at the specified C/N and at the specified notch depth (B) by slowly decreasing the XPI from a large value until the BER reaches the specified value, for example 10^{-4} . The corresponding XPI value should be noted. The measurement should be repeated for several constant notch depths. There are many sets of the multipath fading characteristics. For simplicity, the two multipath fading simulators should be set to have the same notch depth and the same notch frequency.

Calibration methods of C/N and XPI are the same as in 3.1.2, the path lengths being adjusted to have the same static path length. Figure 8 shows an example of the measurement results for a fading notch frequency at the bandwidth centre (frequency = "0").

The above measurements should be carried out for both polarization signals and for both minimum phase (MP) and non-minimum phase (NMP) two-path situations, if required.

3.3.3 Presentation of results

XPIs or the improvement factors, if applicable, should be presented graphically as a function of the fading notch depth.

3.3.4 Details to be specified

The following items should be included, as required, in the detailed equipment specification:

- a) main system parameters, such as bit-rate, modulation format, roll-off factor, etc.;
- b) pattern of test signal from a pseudo-random generator;
- c) ports between which the noise and the cross-polarization interference are to be added;
- d) specified BER, for example 10^{-4} ;
- e) specified C/N;
- f) ports between which the fading simulator(s) are to be inserted;
- g) multipath fading simulator parameters, such as notch frequency (F_n) and two-ray delay difference (τ);
- h) fading notch depth (B) range;
- j) type of multipath fading simulation (MP, NMP);
- k) minimum required value of XPI, and minimum required improvement factor, if applicable, for each of the above items.

4 Caractéristiques dynamiques

4.1 Généralités

Etant donné que la propagation par trajets multiples est variable dans le temps, la mesure des caractéristiques dynamiques est très utile pour l'évaluation de la performance réelle du XPIC.

4.2 Méthode de mesure

Le dispositif de mesure est identique à celui de la mesure des caractéristiques statiques illustrée à la figure 7, excepté qu'il y a lieu de faire varier la fréquence du creux du simulateur d'évanouissement par trajets multiples comme décrit ci-dessous. Un bruit additionnel n'est pas nécessaire. Des informations utiles sont données dans la CEI 825-2-8, article 5.

Il existe de nombreuses combinaisons des paramètres d'évanouissement par trajets multiples. Dans un but de simplification, il y a lieu de synchroniser les deux simulateurs d'évanouissement par trajets multiples et de les régler de manière à avoir la même fréquence et la même profondeur de creux. La fréquence du creux est déplacée sur toute la bande considérée à vitesse constante par l'intermédiaire d'un signal de commande de forme d'onde triangulaire (voir figure 9). La largeur de balayage est choisie assez large (par exemple deux fois le débit des symboles) pour éviter les erreurs éventuelles de mesure dues aux discontinuités aux extrémités du balayage. Il y a lieu d'effectuer la mesure, pour une profondeur du creux spécifiée (B) et pour une vitesse de balayage spécifiée, en diminuant progressivement la XPI à partir d'une valeur élevée jusqu'à ce que la moyenne du TEB sur plusieurs périodes de balayage, atteigne la valeur spécifiée, par exemple 10^{-4} , ou jusqu'à la perte de la synchronisation. Il convient de noter alors la valeur correspondante de la XPI. Il y a lieu de répéter la mesure pour plusieurs vitesses de balayage. Si la spécification la demande, il convient d'effectuer la mesure pour les deux modèles de propagation à deux chemins à minimum de phase (MP) et à non-minimum de phase (NMP).

4.3 Présentation des résultats

Il y a lieu de présenter les résultats sous forme graphique, en indiquant la XPI qui provoque le TEB spécifié, détecté et moyenné sur plusieurs périodes de balayage, ou la perte de synchronisation en fonction de la vitesse de balayage du creux pour une profondeur du creux spécifiée. La figure 10 donne un exemple de cette présentation. ΔXPI représente la dégradation de XPI à la vitesse de balayage du creux spécifiée (V_x).

4.4 Détails à spécifier

Si cette mesure est exigée, il convient d'inclure les détails suivants dans le cahier des charges des équipements:

- les paramètres principaux du système, tels que débit binaire, type de modulation, coefficient d'arrondi des filtres, etc.;
- la configuration du signal d'essai du générateur pseudo-aléatoire;
- les accès entre lesquels le ou les brouillages de polarisation croisée sont à ajouter;
- le critère d'interruption: TEB spécifié, par exemple 10^{-4} , ou perte de synchronisation;
- les accès entre lesquels le ou les simulateurs d'évanouissement par trajets multiples sont à insérer;
- les paramètres du simulateur d'évanouissement par trajets multiples, tels que la différence de temps de propagation entre les deux rayons (τ);
- la profondeur du creux d'évanouissement (B);
- la largeur de balayage en fréquence du creux, par exemple $\pm X$ MHz;
- la vitesse maximale de balayage en fréquence du creux, par exemple Y MHz/s;
- le type de simulation d'évanouissement par trajets multiples (MP, NMP);
- la plus forte dégradation admissible de XPI (ΔXPI) à la vitesse du creux spécifiée (V_x) pour laquelle le critère d'interruption est dépassé.

4 Dynamic characteristics

4.1 General considerations

Because the multipath propagation is time-variant, the measurement of the dynamic characteristics is very useful in evaluating the actual performance of the XPIC.

4.2 Method of measurement

The measurement set-up is the same as for the static characteristics shown in figure 7 except that the notch frequency of the multipath fading simulator should be varied as described below. Additive noise is not needed. Useful information is given in clause 5 of IEC 835-2-8.

There are many sets of the multipath fading characteristics. For simplicity, the two multipath fading simulators should be set to the same notch frequency and the same notch depth, and be synchronously operated. The notch frequency is swept with a triangular waveform (see figure 9) in order to maintain a constant speed over the band under consideration. The sweep width is chosen to be large enough (for example twice the symbol frequency) to avoid the possible measurement errors due to the discontinuities at the edges of the sweep range. The measurement should be carried out at the specified notch depth (B) and at the specified sweep speed, and by slowly decreasing the XPI from a large value until the BER, averaged over several sweep periods, reaches the specified value, for example 10^{-4} , or until sync loss. The corresponding XPI value should then be noted. The measurement should be repeated for several sweep speeds. The measurement should be carried out for both minimum phase (MP) and non-minimum phase (NMP) two-path situations, if required.

4.3 Presentation of results

The results should be presented graphically showing the XPI which gives rise to the specified BER, detected and averaged over several sweep periods, or synchronization loss, versus the notch sweep speed at the specified notch depth. Figure 10 shows an example of this presentation. ΔXPI is the XPI degradation at the specified notch sweep speed (V_x).

4.4 Details to be specified

The following items should be included, as required, in the detailed equipment specification:

- a) main system parameters, such as bit-rate, modulation format, roll-off factor, etc.;
- b) pattern of test signal from a pseudo-random generator;
- c) ports between which the noise and the cross-polarization interference(s) are to be added;
- d) outage criteria: the specified BER, for example 10^{-4} , or sync loss, respectively;
- e) ports between which the multipath fading simulator(s) are to be inserted;
- f) multipath fading simulator parameters, such as two-ray delay difference (τ);
- g) fading notch depth (B);
- h) notch frequency sweep width, for example $\pm X$ MHz;
- i) maximum notch frequency sweep speed, for example Y MHz/s;
- j) type of multipath fading simulation (MP, NMP);
- k) highest permitted XPI degradation (ΔXPI) at the specified notch speed (V_x) for which the outage criteria is exceeded.

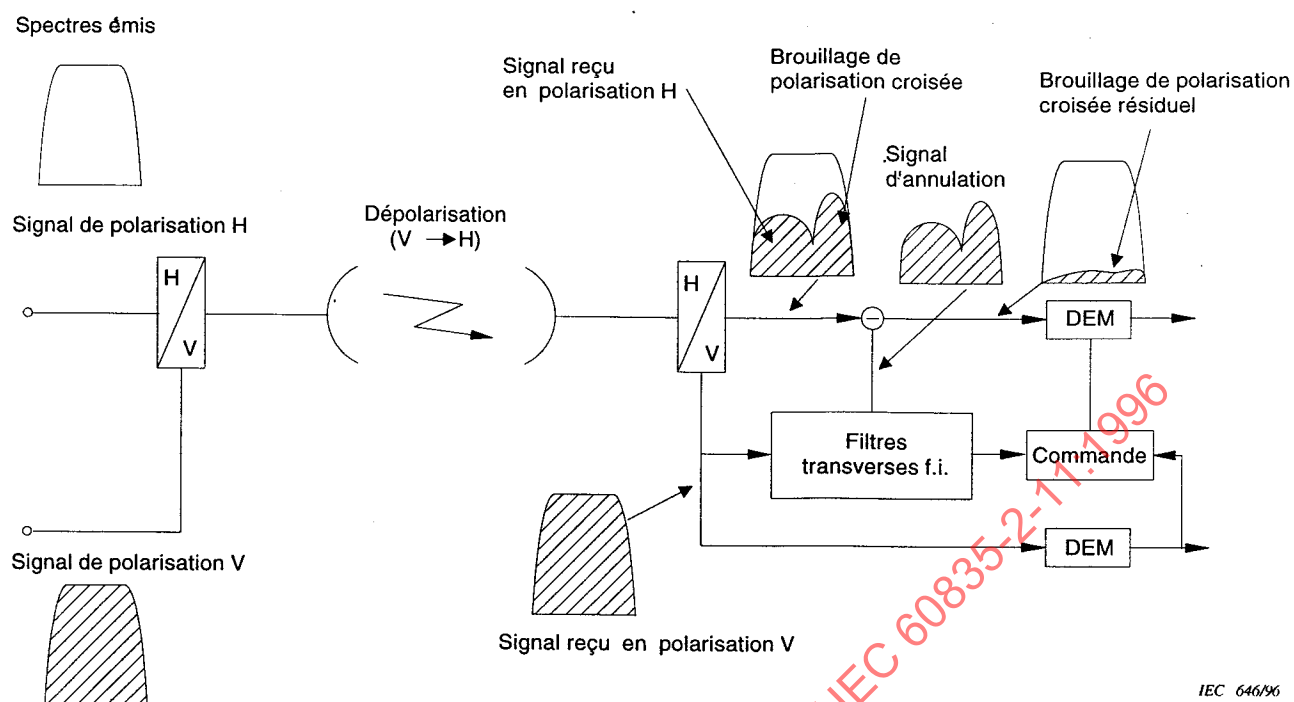
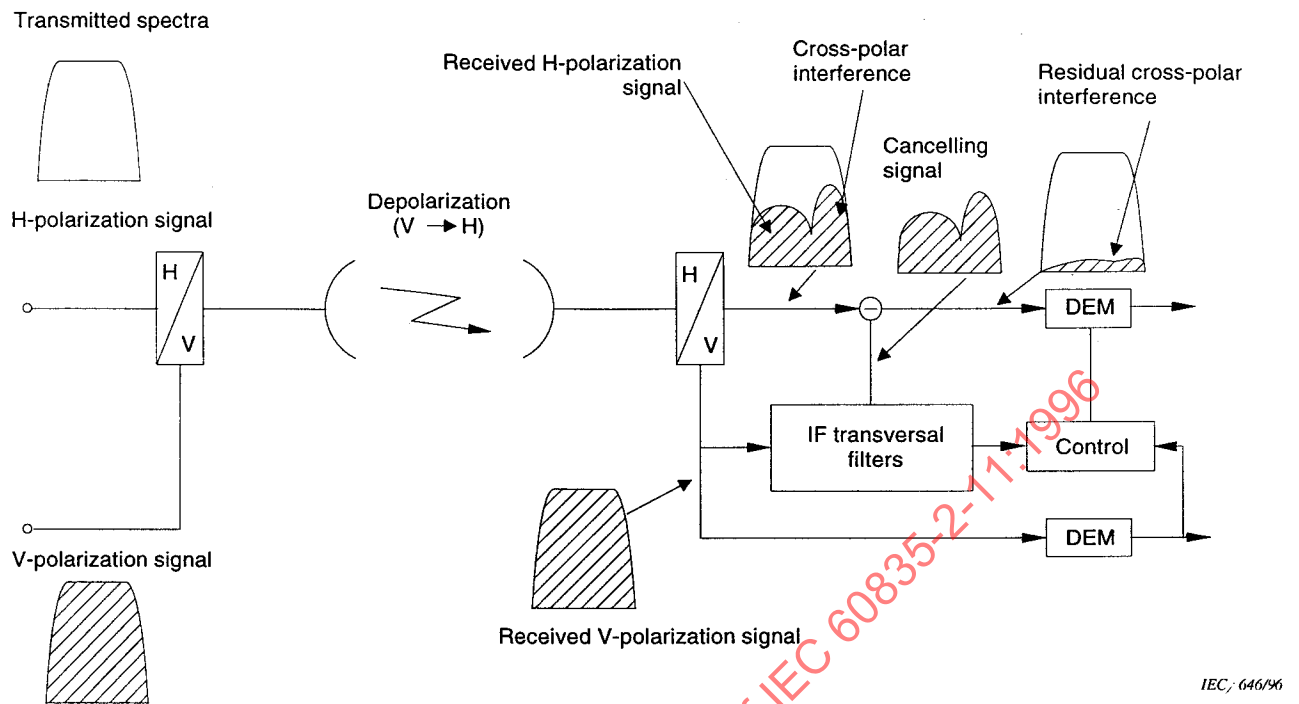
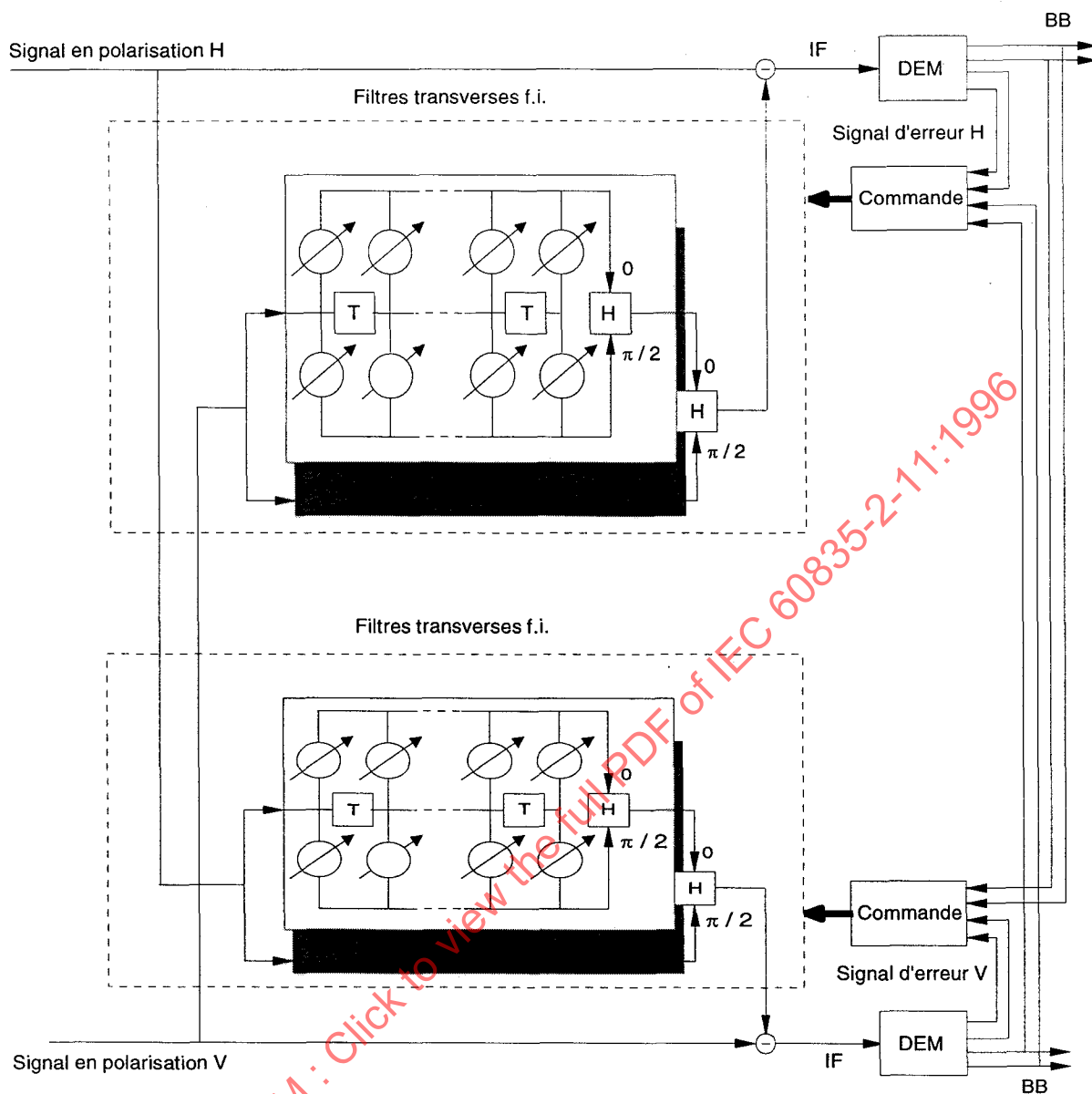


Figure 1 – Exemple de fonctionnement du dispositif d'annulation du brouillage de polarisation croisée



IEC/646/96

Figure 1 – Example of cross-polar interference canceller operation



IEC 647/96

Figure 2 – Exemple de la structure du dispositif d'annulation du brouillage de polarisation croisée

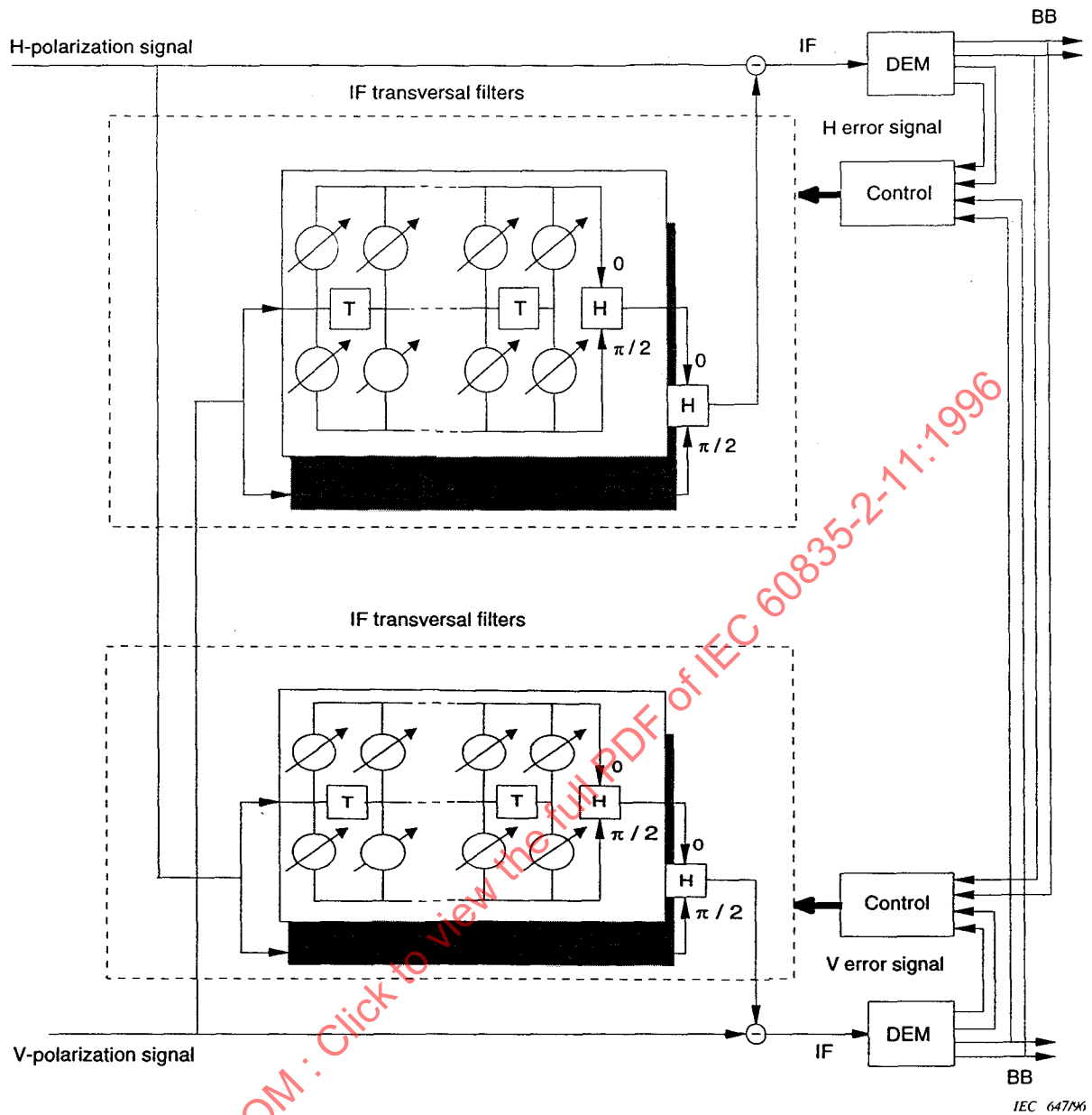
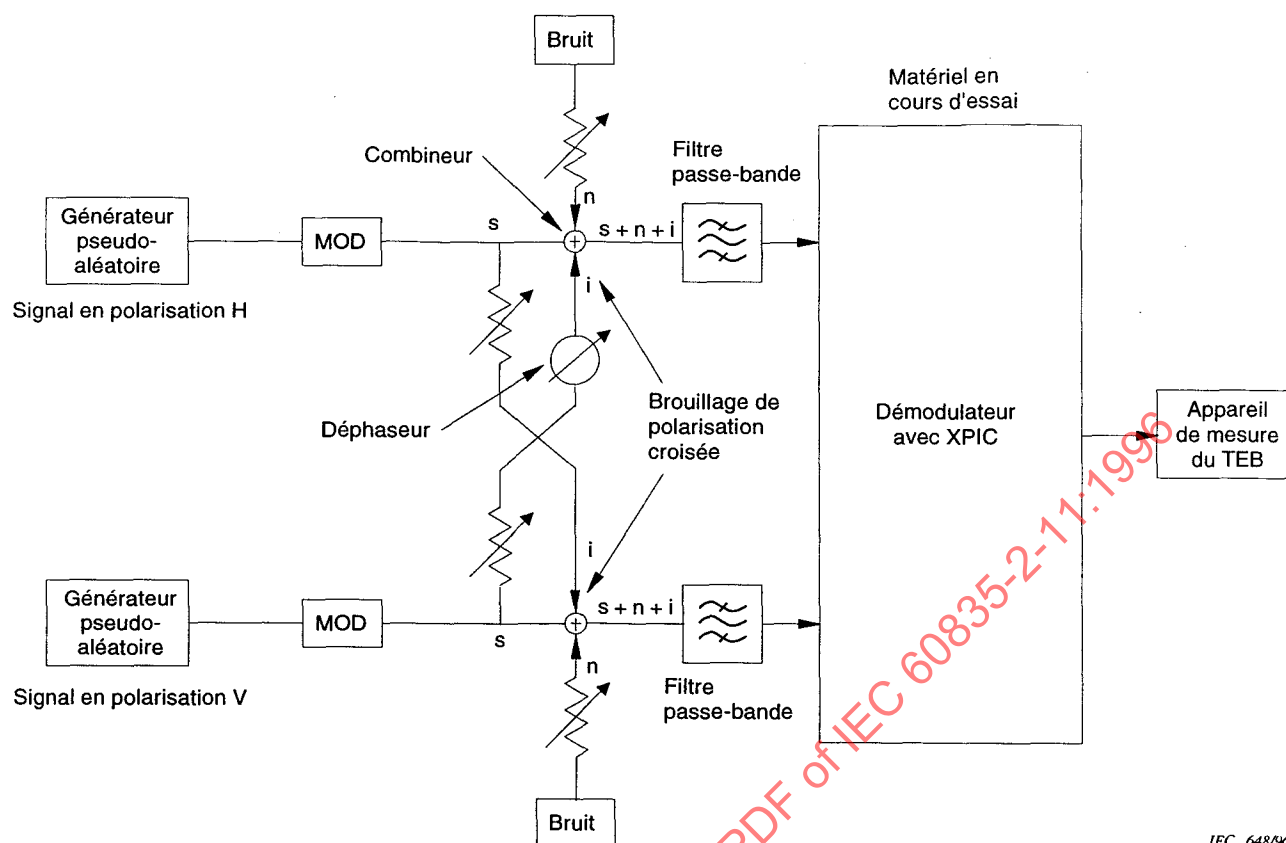
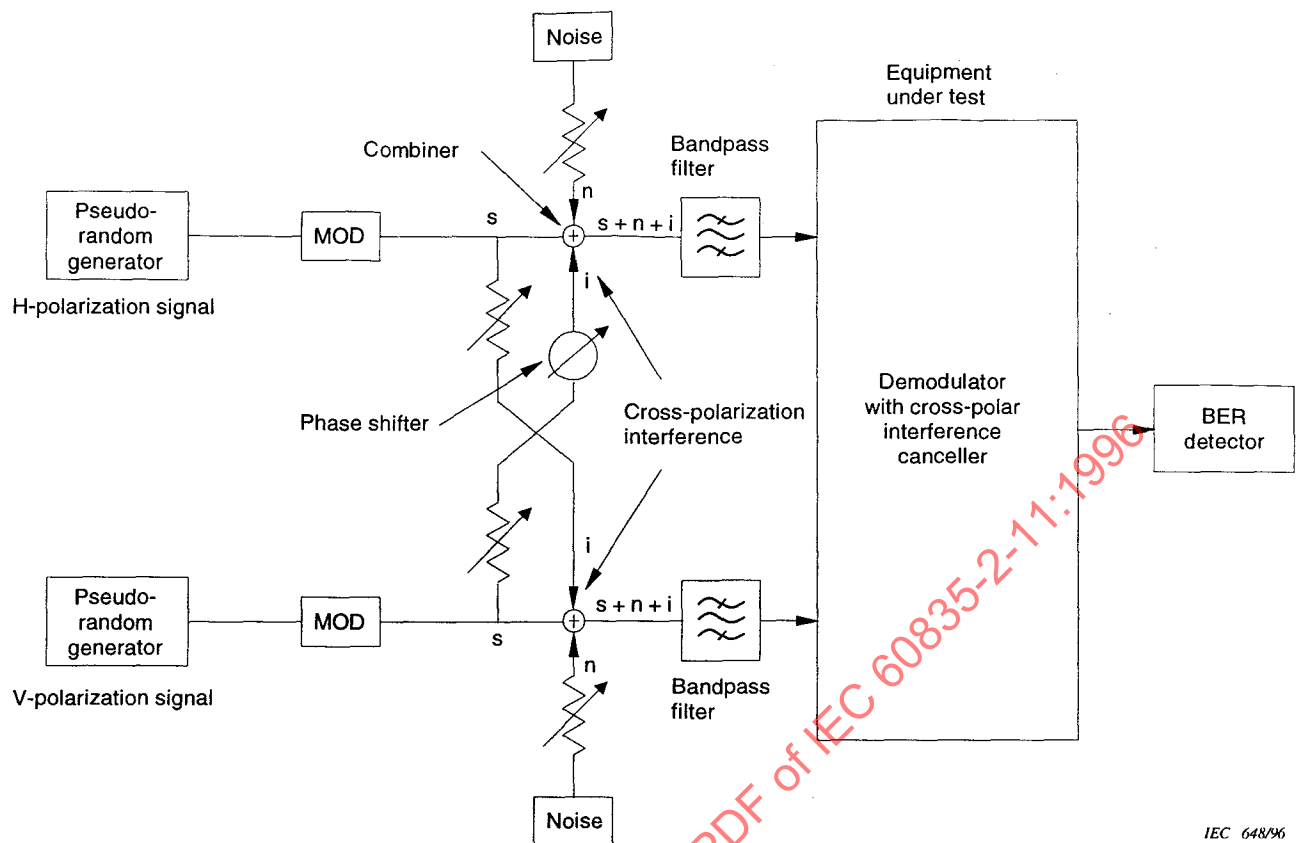


Figure 2 – Example of the structure of cross-polar interference canceller



IEC 648/96

Figure 3 – Configuration pour la mesure de C/N en fonction de XPI



IEC 648/96

Figure 3 – Set-up for C/N versus XPI measurement

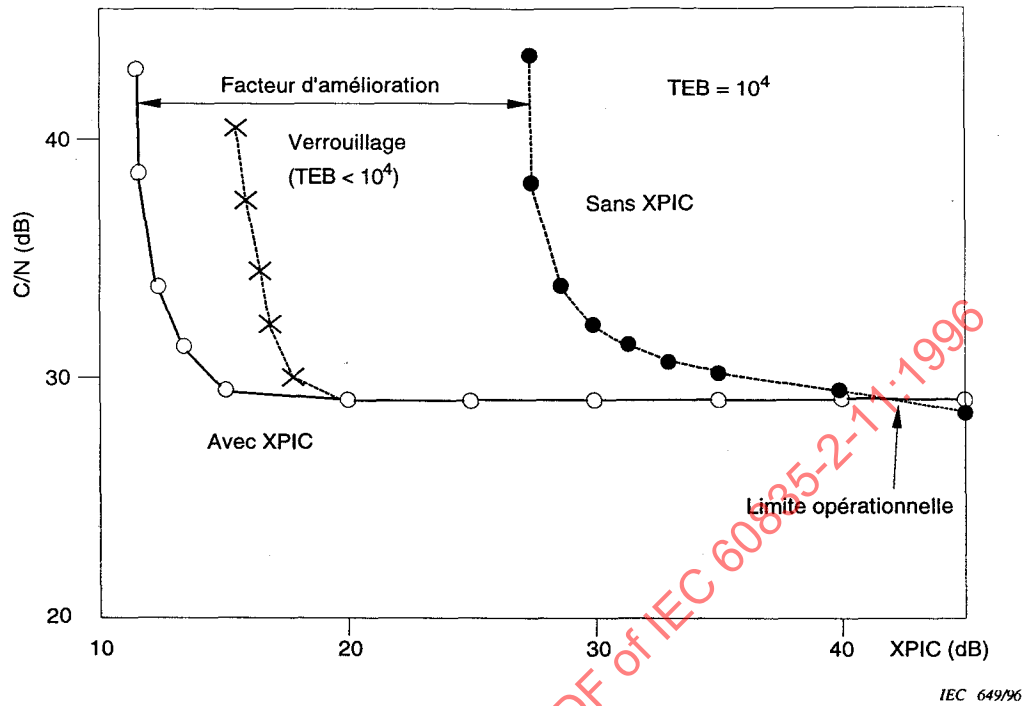


Figure 4 – Exemple du résultat de la mesure de C/N en fonction de XPI

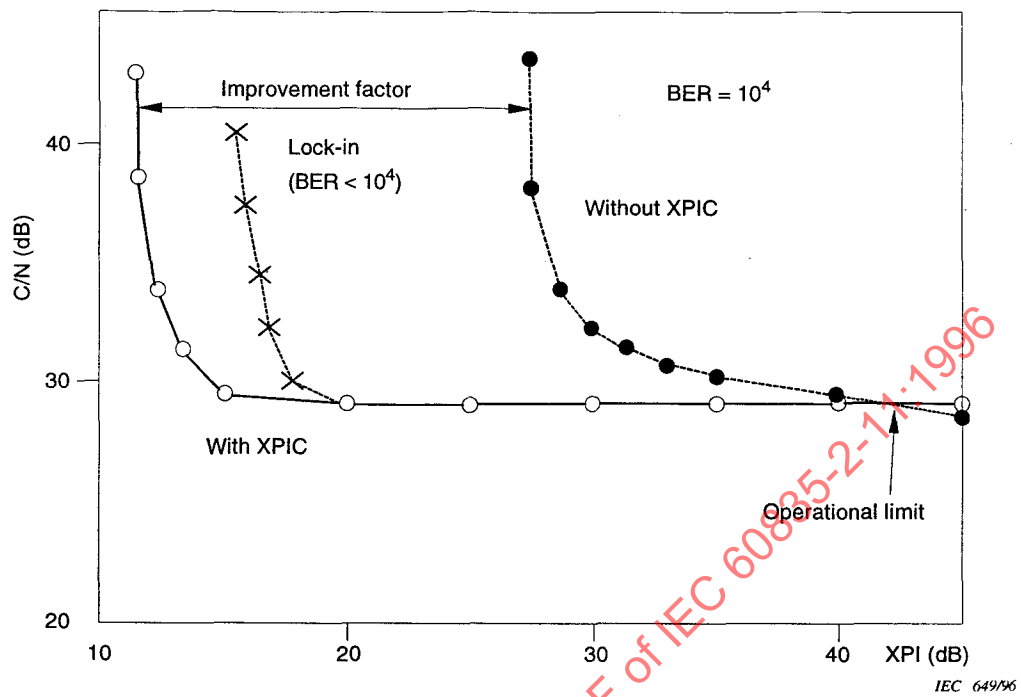
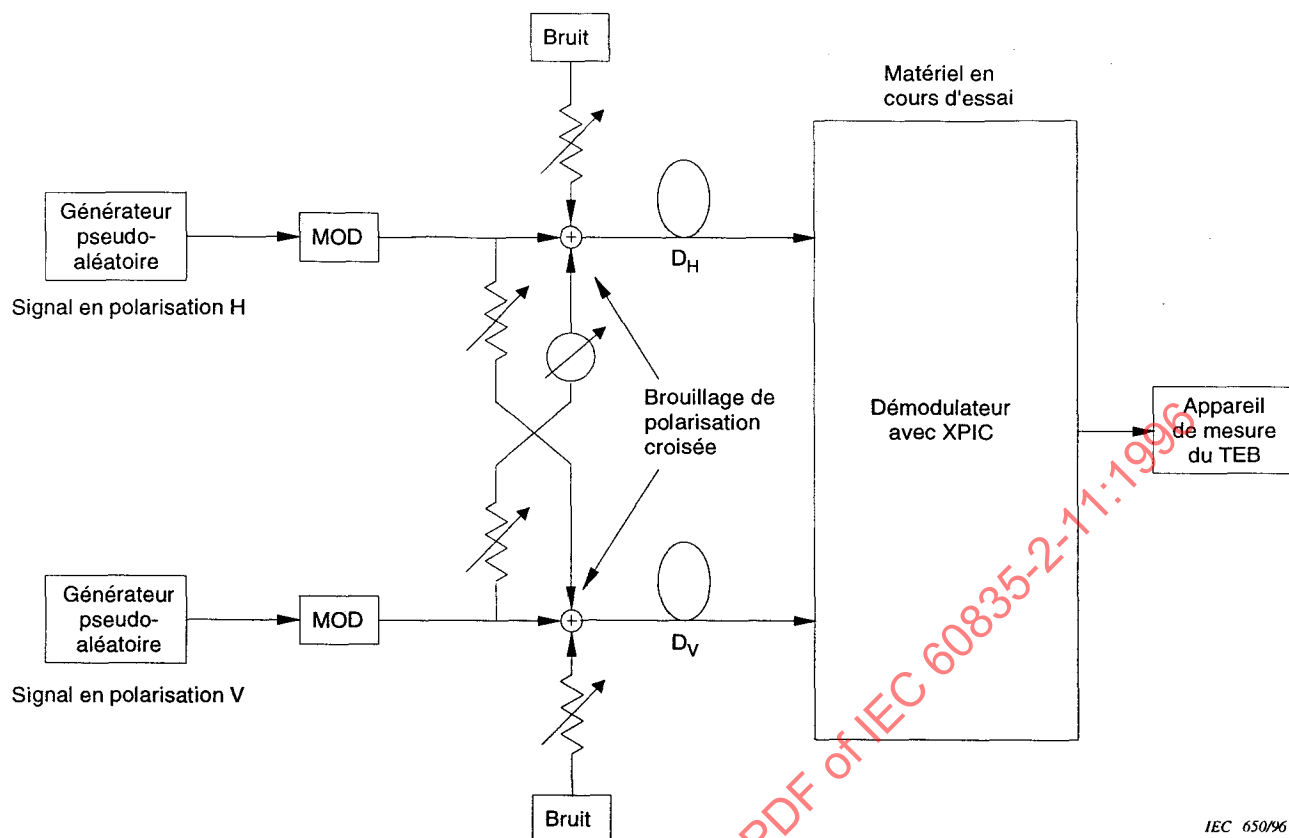
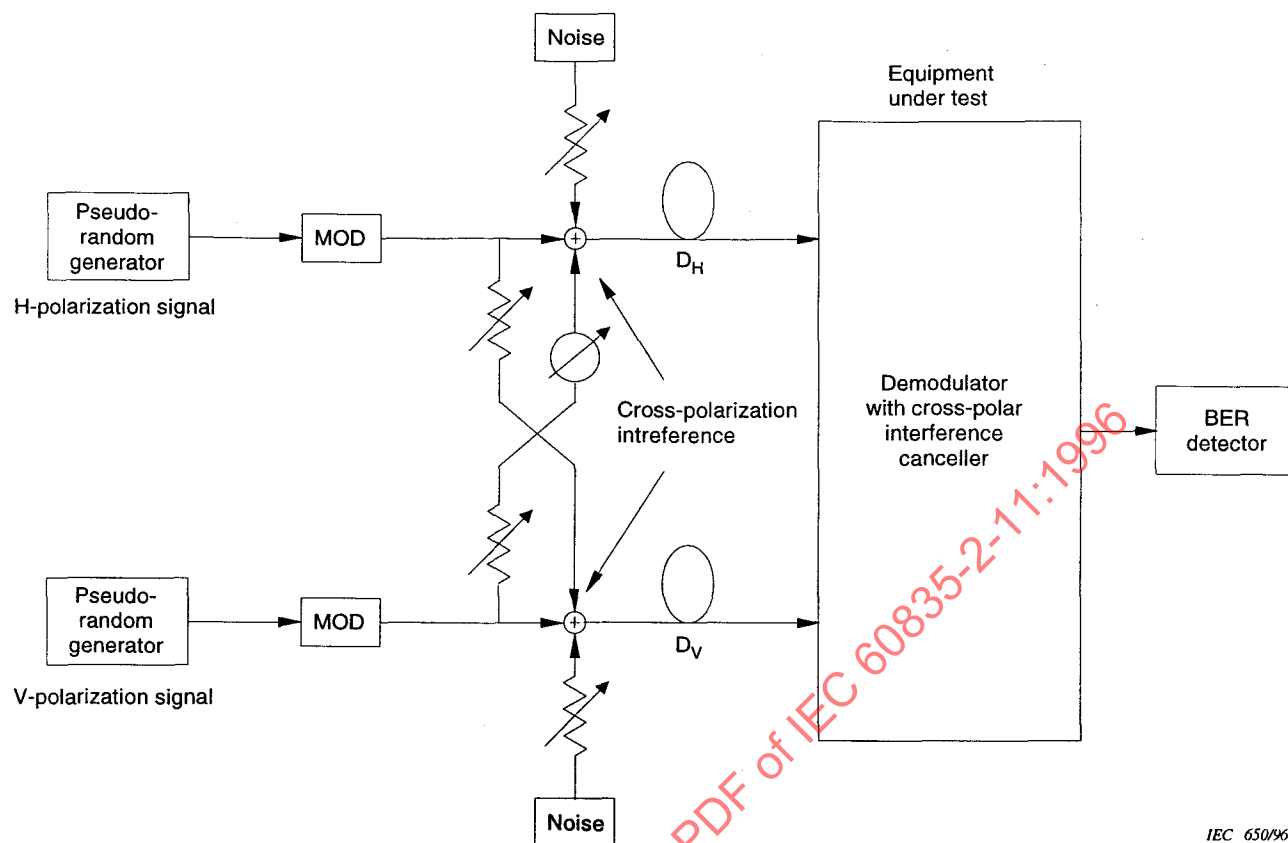


Figure 4 – Example for C/N versus XPI measurement result



IEC 650/96

Figure 5 – Configuration pour la mesure de XPI ou du facteur d'amélioration en fonction de la différence de temps de propagation (D_H et D_V peuvent être insérés au choix)



IEC 650/96

Figure 5 – Set-up for XPI or improvement factor versus delay difference measurement
 (D_H and D_V can be inserted alternatively)

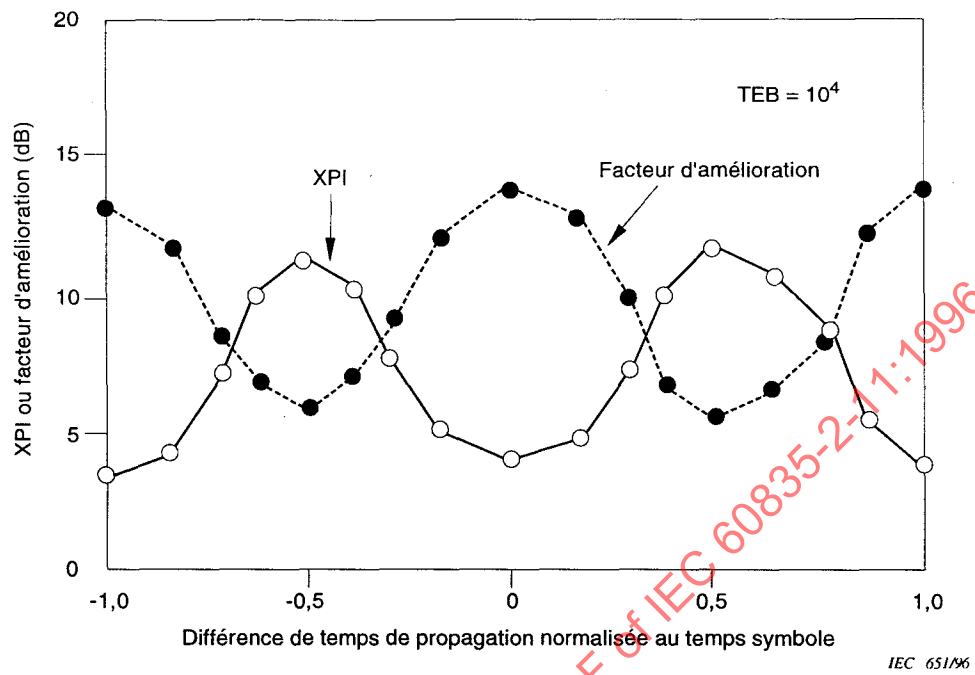


Figure 6 – Exemple de résultats de mesure de XPI et du facteur d'amélioration en fonction de la différence de temps de propagation

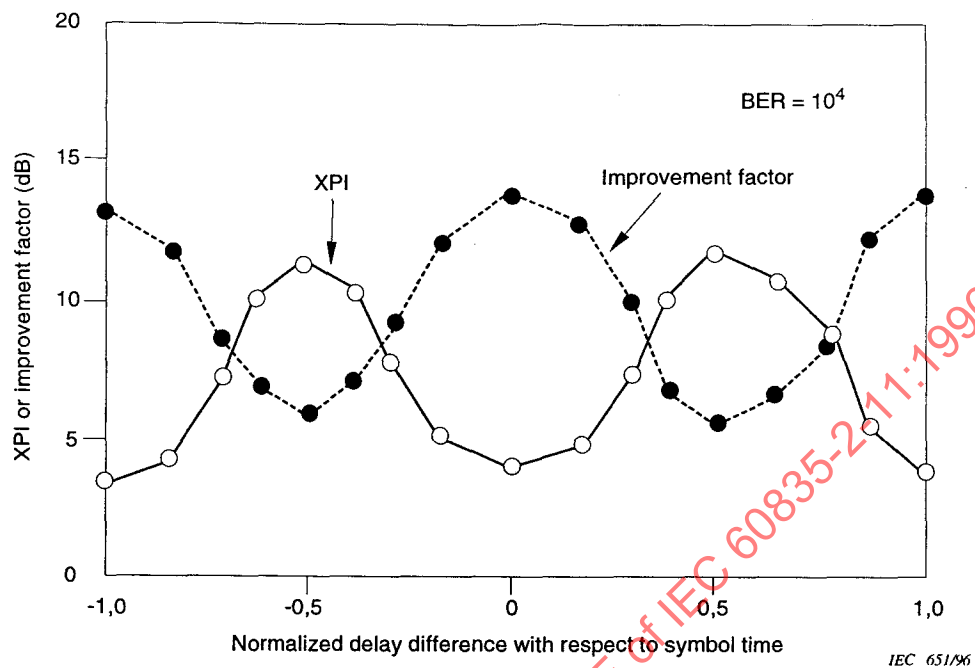


Figure 6 – Example of measurement results of XPI and of improvement factor versus delay difference