



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Fibre optic communication subsystem test procedures –
Part 2-13: Digital systems – Measurement of error vector magnitude**

**Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication fibroniques –
Partie 2-13: Systèmes numériques – Mesure de l'amplitude du vecteur d'erreur**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-8322-9403-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

| | |
|--|----|
| FOREWORD..... | 3 |
| INTRODUCTION..... | 5 |
| 1 Scope..... | 6 |
| 2 Normative references | 6 |
| 3 Terms and definitions | 6 |
| 4 Background and terminology | 8 |
| 4.1 General..... | 8 |
| 4.2 Vector modulated signals..... | 9 |
| 4.3 Constellation diagram | 10 |
| 4.4 Normalization of the reference constellation..... | 11 |
| 4.5 Scaling of the measured vectors | 12 |
| 4.6 Error vector magnitude of individual symbols | 12 |
| 4.7 Root-mean-square EVM..... | 13 |
| 4.8 Calculation of the scale factor..... | 14 |
| 4.9 Iterative calculation of the scale factor | 15 |
| 4.10 EVM for polarization multiplexed signals | 16 |
| 5 EVM measurement procedure..... | 16 |
| 5.1 Apparatus | 16 |
| 5.2 Preparation of data samples | 17 |
| 5.3 Calculation of the RMS EVM | 17 |
| 5.3.1 General | 17 |
| 5.3.2 Procedure with known reference states | 18 |
| 5.3.3 Procedure with unknown reference states..... | 18 |
| 5.4 Reporting | 19 |
| Annex A (informative) Relationship between RMS EVM and Q-factor..... | 20 |
| Bibliography..... | 25 |
| | |
| Figure 1 – Constellation diagrams of measured QPSK and 16-QAM symbols..... | 11 |
| Figure 2 – Error vector magnitude $D(k)$ of a single QPSK symbol..... | 13 |
| Figure A.1 – In-phase and quadrature histograms of a QPSK signal | 22 |
| Figure A.2 – In-phase and quadrature histograms of a 16-QAM signal | 23 |
| | |
| Table A.1 – Q-factor parameters for a QPSK signal | 22 |
| Table A.2 – Q-factor parameters for a 16-QAM signal | 24 |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –**Part 2-13: Digital systems – Measurement of error vector magnitude**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 61280-2-13 has been prepared by subcommittee 86C: Fibre optic systems and active devices, of IEC technical committee 86: Fibre optics. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

| | |
|--------------|------------------|
| Draft | Report on voting |
| 86C/1900/CDV | 86C/1924/RVC |

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts of the IEC 61280 series, published under the general title *Fibre optic communication subsystem test procedures*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

INTRODUCTION

The error vector magnitude (EVM) is a single, real-valued parameter that characterizes the signal quality of n -state amplitude phase shift keyed (n -APSK) signals, which are also known as vector modulated signals. Similar to the Q-factor used for intensity-modulated directly-detected optical signals, it measures the average deviations of the transmitted signal states from their ideal values. These deviations can be caused by noise and by linear and nonlinear waveform distortions. The EVM is therefore a useful quantity to characterize the quality of transmitted source signals at the input of a transmission system or the quality of received signals at the output of a transmission system [1]¹.

Despite the fact that the EVM is often reported by commercial optical modulation analysers, there are only a few standards that define a procedure for calculating the EVM of optical signals.

ITU-T Recommendation G.698.2 [2], for example, specifies a maximal EVM value for polarization-multiplexed 100 Gbit/s QPSK signals generated by an optical transmitter at the input of a DWDM transmission system. These recommendations provide detailed instructions for numerical signal processing steps that are to be performed on the received signal before the EVM is calculated. The steps include removal of undesired frequency and phase offsets, spectral filtering, DC offset removal, and even the addition of artificial noise to the signal.

Similarly, OIF Implementation Agreement OIF-400ZR-01.0 [3] describes a set of signal processing steps for determining the EVM in polarization-multiplexed 400 Gbit/s 16-QAM signals, which include the addition of artificial noise, but does not specify a maximal EVM value for the transmitted signals at the input of the transmission system.

The detailed signal processing steps defined in ITU-T G.698.2 and in OIF-400ZR-01.0 are specific to the particular modulation formats and to the applications considered in these documents. They are not applicable to arbitrary n -APSK signals or to other applications.

This document specifies a general procedure for calculating the EVM of optical n -APSK signals from a set of transmitted and properly received symbols. It does not specify any signal processing steps necessary to extract the symbols from the raw received signals or optional processing steps impacting the signal quality. This document rather defines the normalization of the reference states used in the EVM calculations as well as a procedure for proper scaling of the measured signal states. It is intended to serve as a reference for instrument vendors, transmission equipment manufacturers, and users of such instruments and transmission equipment.

The procedures described in this document apply to single-polarized optical signals as well as to conventional polarization-multiplexed signals with independently modulated polarization tributaries, which are often referred to as three-dimensionally (3-D) coded signals. In general, it is not advisable to apply these procedures without modifications to four-dimensionally (4-D) coded signals, in which optical amplitude, phase and polarization state are simultaneously modulated to encode the information data [4]. At the time of writing, procedures for calculating the EVM of 4-D coded signals were still under study.

¹ Numbers in brackets refer to the Bibliography.

FIBRE OPTIC COMMUNICATION SUBSYSTEM TEST PROCEDURES –

Part 2-13: Digital systems – Measurement of error vector magnitude

1 Scope

This part of the IEC 61280-2 series defines a procedure for calculating the root-mean-square error vector magnitude of optical n -APSK signals from a set of measured symbols. It specifically defines the normalization of the reference states and a procedure for optimal scaling of the measured symbol states.

The procedure described in this document applies to single-polarized optical signals as well as to conventional polarization-multiplexed signals with independently modulated polarization tributaries. In general, it is not advisable to apply these procedures without modification to signals, in which optical amplitude, phase, and polarization state are simultaneously modulated to encode the information data.

This document does not specify any signal processing steps for extracting the symbols from the received optical signals, because these steps depend on the optical receiver and can vary with the type of the transmitted n -APSK signal. These and optional additional signal processing steps are defined in application-specific documents.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| AVANT-PROPOS | 27 |
| INTRODUCTION..... | 29 |
| 1 Domaine d'application | 30 |
| 2 Références normatives | 30 |
| 3 Termes et définitions | 30 |
| 4 Contexte et terminologie..... | 33 |
| 4.1 Généralités | 33 |
| 4.2 Signaux vectoriels modulés..... | 33 |
| 4.3 Diagramme de constellation | 34 |
| 4.4 Normalisation de la constellation de référence | 35 |
| 4.5 Mise à l'échelle des vecteurs mesurés | 36 |
| 4.6 Amplitude du vecteur d'erreur des symboles individuels..... | 36 |
| 4.7 EVM efficace | 37 |
| 4.8 Calcul du facteur d'échelle | 38 |
| 4.9 Calcul du facteur d'échelle par itération | 39 |
| 4.10 EVM pour signaux multiplexés en polarisation | 41 |
| 5 Procédures de mesure de l'EVM..... | 41 |
| 5.1 Appareillage..... | 41 |
| 5.2 Préparation des échantillons de données | 41 |
| 5.3 Calcul de l'EVM efficace | 42 |
| 5.3.1 Généralités | 42 |
| 5.3.2 Procédure avec des états de référence connus..... | 42 |
| 5.3.3 Procédure avec des états de référence inconnus..... | 43 |
| 5.4 Rapport..... | 43 |
| Annexe A (informative) Relation entre l'EVM efficace et le facteur Q..... | 44 |
| Bibliographie..... | 49 |
| | |
| Figure 1 – Diagrammes de constellation des symboles QPSK et MAQ-16 mesurés..... | 35 |
| Figure 2 – Amplitude du vecteur d'erreur $D(k)$ d'un symbole QPSK unique..... | 37 |
| Figure A.1 – Histogrammes en phase et en quadrature d'un signal QPSK..... | 46 |
| Figure A.2 – Histogrammes en phase et en quadrature d'un signal MAQ-16 | 47 |
| | |
| Tableau A.1 – Paramètres du facteur Q pour un signal QPSK..... | 46 |
| Tableau A.2 – Paramètres du facteur Q pour un signal MAQ-16 | 48 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES
DE TÉLÉCOMMUNICATION FIBRONIQUES –****Partie 2-13: Systèmes numériques –
Mesure de l'amplitude du vecteur d'erreur**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevet.

L'IEC 61280-2-13 a été établie par le sous-comité 86C: Systèmes et dispositifs actifs à fibres optiques, du comité d'étude 86 de l'IEC: Fibres optiques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

| Projet | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 86C/1900/CDV | 86C/1924/RVC |

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications/.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61280, publiées sous le titre général *Procédures d'essai des sous-systèmes de télécommunication fibroniques*, se trouve sur le site Web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

INTRODUCTION

L'amplitude du vecteur d'erreur (EVM) est un paramètre unique, à valeur réelle, qui caractérise la qualité des signaux modulés par déplacement d'amplitude et de phase à n états (MDAP- n), qui sont également appelés "signaux vectoriels modulés". De façon similaire au facteur Q utilisé pour les signaux optiques modulés en intensité et directement détectés, elle mesure les écarts moyens des états des signaux transmis par rapport à leurs valeurs idéales. Ces écarts peuvent être dus au bruit et aux distorsions linéaires et non linéaires de la forme d'onde. L'EVM est donc une grandeur utile pour caractériser la qualité des signaux d'entrée ou de sortie d'un système de transmission [1]¹.

Bien que l'EVM soit souvent fournie par les analyseurs de modulation optique du commerce, il n'existe que très peu de normes qui définissent une procédure permettant de calculer l'EVM des signaux optiques.

La Recommandation G.698.2 de l'UIT-T [2], par exemple, spécifie une valeur d'EVM maximale pour les signaux QPSK à 100 Gbit/s multiplexés en polarisation, générés par un émetteur optique à l'entrée d'un système de transmission DWDM. Ces recommandations fournissent des instructions détaillées pour les étapes de traitement du signal numérique qui doivent être mises en œuvre sur le signal reçu avant de calculer l'EVM. Les étapes comprennent la suppression des déphasages et des décalages de fréquence non désirés, le filtrage spectral, la suppression du décalage en continu, et même l'ajout de bruit artificiel au signal.

De même, l'Accord de mise en œuvre OIF OIF-400ZR-01.0 [3] décrit un ensemble d'étapes de traitement du signal permettant de déterminer l'EVM dans les signaux MAQ-16 à 400 Gbit/s multiplexés en polarisation, qui comprennent l'ajout de bruit artificiel, mais il ne spécifie pas de valeur d'EVM maximale pour les signaux transmis à l'entrée du système de transmission.

Les étapes détaillées de traitement du signal définies dans la Recommandation G.698.2 de l'UIT-T et dans l'OIF-400ZR-01.0 sont spécifiques aux formats de modulation particuliers et aux applications envisagées dans ces documents. Elles ne sont pas applicables aux signaux MDAP- n arbitraires ou aux autres applications.

Le présent document spécifie une procédure générale pour calculer l'EVM des signaux MDAP- n optiques à partir d'un ensemble de symboles transmis et correctement reçus. Il ne spécifie aucune étape de traitement du signal nécessaire pour extraire les symboles des signaux bruts reçus ni aucune étape de traitement facultative ayant un impact sur la qualité du signal. Le présent document définit en revanche la normalisation des états de référence utilisés dans les calculs d'EVM, ainsi qu'une procédure pour mettre correctement à l'échelle les états de signaux mesurés. Il est destiné à servir de référence aux vendeurs d'instruments, aux fabricants de matériel de transmission et aux utilisateurs de tels instruments et matériel de transmission.

Les procédures décrites dans le présent document s'appliquent aux signaux optiques à polarisation unique ainsi qu'aux signaux multiplexés en polarisation conventionnels avec des tributaires de polarisation modulés de façon indépendante, qui sont souvent appelés "signaux codés en 3D". En général, il est déconseillé d'appliquer ces procédures sans modifier les signaux codés en 4D, dans lesquels l'amplitude optique, la phase et l'état de polarisation sont simultanément modulés pour coder les données [4]. Au moment de la rédaction du présent document, les procédures de calcul de l'EVM pour les signaux codés en 4D étaient encore à l'étude.

1 Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

PROCÉDURES D'ESSAI DES SOUS-SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATION FIBRONIQUES –

Partie 2-13: Systèmes numériques – Mesure de l'amplitude du vecteur d'erreur

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61280-2 définit une procédure pour calculer la valeur efficace de l'amplitude du vecteur d'erreur des signaux MDAP- n optiques à partir d'un ensemble de symboles mesurés. Elle définit spécifiquement la normalisation des états de référence ainsi qu'une procédure de mise à l'échelle optimale des états de symboles mesurés.

La procédure décrite dans le présent document s'applique aux signaux optiques à polarisation unique ainsi qu'aux signaux multiplexés en polarisation conventionnels avec des tributaires de polarisation modulés de façon indépendante. En général, il est déconseillé d'appliquer ces procédures sans modifier les signaux dans lesquels l'amplitude optique, la phase et l'état de polarisation sont simultanément modulés pour coder les données.

Le présent document ne spécifie aucune étape de traitement du signal permettant d'extraire les symboles des signaux optiques reçus, car ces étapes dépendent du récepteur optique et peuvent varier selon le type du signal MDAP- n transmis. Ces étapes de traitement du signal ainsi des étapes supplémentaires facultatives sont définies dans les documents spécifiques à chaque application.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.