

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60835-2-2

Première édition
First edition
1994-05

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

Partie 2:

Mesures applicables aux faisceaux hertziens
terrestres

Section 2: Antenne

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

Part 2:

Measurements on terrestrial radio-relay systems

Section 2: Antenna



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60835-2-2: 1994

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
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60835-2-2

Première édition
First edition
1994-05

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

Partie 2:

Mesures applicables aux faisceaux hertziens
terrestres

Section 2: Antenne

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

Part 2:

Measurements on terrestrial radio-relay systems

Section 2: Antenna

© IEC 1994 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

S

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 Références normatives	8
3 Définitions	8
4 Méthodes de mesure	14
4.1 Considérations sur le montage d'essai	14
4.2 Gain d'antenne	16
4.3 Diagramme de rayonnement	26
4.4 Découplage en polarisation croisée	30
4.5 Affaiblissement d'adaptation	32
4.6 Isolation d'antenne à accès multiples	34
5 Bibliographie	34
Figures	
1 Mesure du gain d'antenne par comparaison avec une antenne de gain de référence	36
2 Mesure du gain d'antenne par la méthode directe	38
3 Exemples de présentation des résultats de mesure du gain d'antenne	40
4 Exemple de montage de mesure du diagramme de rayonnement	42
5 Exemple de diagrammes de rayonnement avec leur enveloppe	42

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Definitions	9
4 Methods of measurement	15
4.1 Test-range considerations	15
4.2 Antenna gain	17
4.3 Radiation patterns	27
4.4 Cross-polarization discrimination	31
4.5 Return loss	33
4.6 Multi-port antenna isolation	35
5 Bibliography	35
Figures	
1 Measurement of antenna gain by comparison with a gain-reference antenna	37
2 Measurement of antenna gain by the direct method	39
3 Examples of presentation of results of antenna-gain measurement	41
4 Example of arrangement for the measurement of radiation pattern	43
5 Example of radiation patterns and their envelope	43

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 2: Antenne

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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La Norme internationale CEI 835-2-2 a été établie par le sous-comité 12E, du comité d'études 12 de la CEI: Radiocommunications.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
12E(BC)158	12E(BC)163

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
TRANSMISSION SYSTEMS –****Part 2: Measurements on terrestrial
radio-relay systems – Section 2: Antenna**

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, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use 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.

International Standard IEC 835-2-2 has been prepared by IEC by sub-committee 12E, of IEC technical committee 12: Radiocommunications.

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

DIS	Report on Voting
12E(CO)158	12E(CO)163

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

Les antennes constituent des éléments clés des systèmes de faisceaux hertziens. On obtient habituellement une marge d'évanouissement satisfaisante pour ces systèmes grâce à une directivité élevée, c'est-à-dire grâce à des gains d'antenne élevés à la fois aux accès d'émission et de réception d'une liaison hertzienne.

Une antenne dotée d'une directivité élevée possède habituellement un lobe de rayonnement principal étroit qui peut assurer une protection utile contre les rayons réfléchis. Ces rayons réfléchis peuvent générer des évanouissements par trajets multiples.

Un diagramme de directivité d'antenne de grande pureté, c'est-à-dire dont les lobes latéraux sont très faibles, est également indispensable aux points nodaux des faisceaux hertziens pour fournir un découplage suffisant entre les liaisons hertziennes en visibilité directe utilisant les mêmes fréquences et ayant un petit écart angulaire entre leurs directions.

En outre, et particulièrement en ce qui concerne les systèmes de transmission numérique par faisceaux hertziens, un découplage de polarisation élevé est nécessaire pour fournir un découplage suffisant entre les canaux adjacents émis en polarisation orthogonale où le spectre du signal présente un chevauchement considérable, et entre deux canaux cofréquence émis en polarisation orthogonale, c'est-à-dire utilisant la même fréquence porteuse nominale.

Si l'antenne à l'essai est installée avec un radôme en utilisation normale sur une liaison hertzienne, toutes les mesures devront être effectuées avec ce radôme.

INTRODUCTION

Antennas are key elements of radio-relay systems. A satisfactory fade margin for such systems is usually obtained by using high directivity, i.e. high-gain, antennas at both the transmitter and receiver terminals of a radio link.

An antenna with a high directivity usually also has a narrow beam width main lobe which can provide a useful measure of protection against reflected rays. These reflected rays can lead to multipath fading.

Rapid sidelobe suppression away from the main lobe is often a requirement at radio-relay system nodes to provide sufficient de-coupling between radio links which employ frequency use and small angular separation between the line-of-sight paths.

Moreover, and especially for digital radio-relay systems, a high cross-polarization discrimination is necessary to provide sufficient decoupling between adjacent orthogonally polarized channels where the signal spectra overlap considerably, and between two orthogonally polarized co-frequency channels, i.e. using the same nominal carrier frequency.

If the antenna under test is installed with a radome in normal operation on a radio link, all measurements should be performed with the radome fitted.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 835-2-2:1994

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

Partie 2: Mesures applicables aux faisceaux hertziens terrestres - Section 2: Antenne

1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 835-2 traite des méthodes de mesures applicables aux caractéristiques électriques des antennes utilisées dans les systèmes de faisceaux hertziens terrestres à des fréquences supérieures à 1 GHz.

Les méthodes décrites sont applicables à la fois aux faisceaux hertziens en visibilité directe et en diffusion troposphérique utilisant une polarisation linéaire. Cette section ne traite pas des méthodes de mesure spécifiques aux relais passifs ou aux antennes périscope ni des systèmes où l'antenne ne peut pas être mesurée séparément.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent 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, les éditions indiquées étaient 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 des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI)*

CEI 835-1-2: 1992, *Méthodes de mesure applicables au matériel utilisé pour les systèmes de transmission numérique en hyperfréquence - Partie 1: Mesures communes aux faisceaux hertziens terrestres et aux stations terriennes de télécommunications par satellite - Section 2: Caractéristiques de base*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente section de la CEI 835-2, les définitions suivantes s'appliquent.

Lorsqu'un terme n'est pas défini dans la présente section, la définition est considérée identique à celle donnée par le Vocabulaire Electrotechnique International (VEI). En cas de litige, la définition donnée dans la présente section est celle qui devra être adoptée.

NOTE - Les caractéristiques pour lesquelles des méthodes de mesure ont été établies sont définies au paragraphe de la mesure correspondante.

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

Part 2: Measurements on terrestrial radio-relay systems - Section 2: Antenna

1 Scope

This section of IEC 835-2 gives methods of measurement of the electrical characteristics of antennas used in terrestrial radio-relay systems at frequencies above 1 GHz.

The methods described are suitable for both line-of-sight and tropospheric scatter radio-relay systems using linear polarization. This section does not consider methods of measurement for passive repeaters or periscope antennas nor does it address systems where the antenna cannot be measured separately.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 835-2. At the time of publication, the editions indicated were 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 editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*

IEC 835-1-2: 1992, *Methods of measurement for equipment used in digital microwave transmission systems - Part 1: Measurements common to terrestrial radio-relay systems and satellite earth stations - Section 2: Basic characteristics*

3 Definitions

For the purposes of this section of IEC 835-2, the following definitions apply.

Where a term is not defined in this section, the definition is assumed to be identical with the definition given in the International Electrotechnical Vocabulary (IEV). In case of conflict, the definition given here takes precedence.

NOTE - Characteristics for which methods of measurement are given are defined in the corresponding measurement subclause.

3.1 *Antenne*

Une antenne est définie comme un dispositif de couplage entre une ligne de transmission et l'espace libre visant à émettre ou à recevoir des ondes électromagnétiques. Elle comprend tous les éléments affectant les caractéristiques de rayonnement de ladite antenne, par exemple, la ou les sources primaires, y compris les filtres de polarisation et/ou de fréquence, les réflecteurs, etc. Elle ne comprend pas les lignes de transmission associées et les autres composants électriques situés à l'accès d'antenne du côté de l'émetteur et/ou du récepteur nécessaires pour les mesures. Les accès de l'antenne doivent être spécifiés. L'antenne peut également être équipée d'un radôme.

3.2 *Antenne complète*

L'antenne complète, telle qu'elle est utilisée ici, comprend l'antenne et les éléments permettant de l'attacher à son support. Elle peut également inclure, si cela est exigé, les éléments de pointage de l'antenne.

3.3 *Système d'antenne*

Le système d'antenne comprend l'antenne complète, les lignes de transmission et, s'ils ne sont pas déjà intégrés à l'antenne, les éléments nécessaires au rayonnement de l'énergie électromagnétique dans la direction souhaitée.

3.4 *Radôme*

Couvercle de protection en matériau diélectrique pour une antenne et/ou sa source primaire. Un radôme peut également servir à réduire les effets dus à la charge éolienne.

3.5 *Axe de visée*

L'axe de visée est l'axe devant produire le gain d'antenne maximal et donc un transfert maximal de puissance.

3.6 *Polarisation de l'antenne*

La polarisation du vecteur du champ électrique dans la région de champ lointain de l'onde électromagnétique rayonnée par l'antenne dans l'axe de visée.

Les liaisons hertziennes utilisent exclusivement la polarisation linéaire, et en général la polarisation linéaire verticale ou horizontale.

3.7 *Angle d'inclinaison de polarisation*

L'angle d'inclinaison de polarisation pour une onde polarisée linéairement est défini comme l'angle entre le vecteur de champ électrique et le vecteur de polarisation nominale, dans un plan perpendiculaire à l'axe de propagation.

3.8 *Polarisation nominale*

La polarisation nominale d'une antenne est la polarisation souhaitée de l'antenne. Deux antennes sont considérées comme nominalement copolarisées si leurs polarisations sont identiques.

3.1 *Antenna*

An antenna is defined as a device for coupling a transmission line to free-space for the purpose of transmitting or receiving electromagnetic waves. It includes all the elements affecting the radiation characteristics of the antenna, e.g. primary feed(s), including polarization and/or frequency filters, reflectors, etc. It does not include the associated transmission lines and other electrical components on the transmitter/receiver side of the antenna terminals defined for measurement purposes. The antenna terminals must be specified. The antenna may also include a radome.

3.2 *Antenna assembly*

The antenna assembly, as used here, includes the antenna and the provisions for attaching it to the supporting structure. It may also include provisions for pointing the antenna, when specified.

3.3 *Antenna system*

The antenna system includes the antenna assembly, the transmission lines and, if not already contained in the antenna, the components necessary for radiating the electromagnetic energy in the desired direction.

3.4 *Radome*

A protective cover of dielectric material for an antenna and/or its feed. A radome may also be used to reduce the effects of wind loading.

3.5 *Bore-sight direction*

Bore-sight direction is the direction intended to produce maximum antenna gain and hence maximum power transfer.

3.6 *Antenna polarization*

The polarization of the electric field vector in the far-field region of the electromagnetic wave radiated by the antenna in the bore-sight direction.

Radio links exclusively use linear polarization, and most commonly vertical or horizontal linear polarization.

3.7 *Polarization tilt angle*

The polarization tilt angle for a linearly polarized wave is defined as the angle between the electric field vector and the nominal polarization vector, in a plane perpendicular to the direction of propagation.

3.8 *Nominal polarization*

The nominal polarization of an antenna is the intended polarization of the antenna. Two antennas are said to be nominally co-polarized if their nominal polarizations are identical.

3.9 Polarisation croisée

La polarisation croisée se définit comme la polarisation orthogonale à la polarisation nominale, définie en 3.8. Deux antennes sont dites nominalement à polarisation croisée si leurs polarisations nominales sont orthogonales.

3.10 Antenne à simple polarisation

Une antenne à simple polarisation est une antenne qui rayonne et/ou reçoit un seul plan de polarisation. Une antenne à simple polarisation n'a en principe qu'un seul point d'accès pour la connexion à la ligne de transmission associée.

3.11 Antenne à double polarisation

Une antenne à double polarisation est une antenne qui rayonne et/ou reçoit deux plans de polarisation. Les deux plans doivent être mutuellement orthogonaux. Une antenne à double polarisation possède normalement deux points d'accès. Les deux points d'accès peuvent être situés sur l'antenne ou à l'extrémité émettrice/réceptrice de la ligne de transmission de l'antenne si la ligne est conçue pour supporter les deux modes de transmission orthogonaux.

3.12 Antenne multibande

Toute antenne qui rayonne et/ou reçoit simultanément sur deux ou plusieurs bandes de fréquence. Une telle antenne peut également être à double polarisation et fonctionner simultanément avec des polarisations orthogonales sur deux ou plusieurs bandes de fréquence.

3.13 Surface effective d'une antenne (dans une direction donnée) (A_e)

La surface effective d'une antenne dans une direction donnée est égale au rapport entre la puissance fournie à une charge adaptée à l'accès de l'antenne (P_r), et la puissance par unité de surface (S) sur l'antenne d'une onde plane incidente ayant la polarisation convenable, c'est-à-dire,

$$A_e = \frac{P_r}{S} \quad (3-1)$$

3.14 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport de la surface effective maximale sur la surface de l'antenne projetée sur un plan perpendiculaire à l'axe de rayonnement maximum. Une relation existe entre la surface effective maximale et le gain maximum défini en 4.2.1.

3.15 Antenne de gain de référence

L'antenne de gain de référence correspond à une antenne dont la construction est spécifiée et facilement reproductible et dont le gain peut être déterminé par calcul et, si nécessaire, confirmé après mesure comme suffisamment consistant pour être utilisé comme valeur de référence dans les mesures de gain d'antenne.

3.9 *Cross-polarization*

Cross-polarization is defined as that polarization which is orthogonal to the nominal polarization, as defined in 3.8. Two antennas are said to be nominally cross-polarized if their nominal polarizations are orthogonal.

3.10 *Single-polarization antenna*

A single-polarization antenna is an antenna that radiates and/or receives only one plane of polarization. A single-polarized antenna normally has only one port for connection to the associated transmission line.

3.11 *Dual-polarized antenna*

A dual-polarized antenna is an antenna that radiates and/or receives two planes of polarization. The two planes are intended to be mutually orthogonal. A dual-polarized antenna normally has two ports. The two ports may be at the antenna, or at the transmitter/receiver end of the antenna transmission line if the line is capable of supporting two orthogonal transmission modes.

3.12 *Multi-band antenna*

An antenna which radiates and/or receives simultaneously in two or more frequency bands. Such an antenna may also be a dual-polarized antenna and operate simultaneously with orthogonal polarizations in two or more frequency bands.

3.13 *Effective area of an antenna (in a given direction) (A_e)*

The effective area of an antenna in a given direction is the ratio between the power delivered to a matched load at the antenna terminals (P_r), and the power per unit area (S) in a polarization-matched plane wave incident on the antenna, i.e.

$$A_e = \frac{P_r}{S} \quad (3-1)$$

3.14 *Antenna efficiency*

The antenna efficiency is the ratio of the maximum effective area to the projected area of the antenna in a plane perpendicular to the direction of maximum radiation. The maximum effective area is related to the maximum gain as defined in 4.2.1.

3.15 *Gain-reference antenna*

A gain-reference antenna is an antenna of closely reproducible specified construction having a gain which can be determined by calculation and, if required, confirmed by measurement as being sufficiently consistent for use as a transfer standard for antenna-gain measurement.

4 Méthodes de mesure

4.1 Considérations sur le montage d'essai

Le montage d'essai «idéal» pour déterminer la caractéristique d'une antenne en champ lointain est celui qui permet l'obtention d'une onde plane d'amplitude et de phase uniformes éclairant entièrement l'ouverture de l'antenne à l'essai.

L'approche traditionnelle d'un montage d'essai «idéal» est ce que l'on appelle «le montage d'essai en espace libre». La longueur d'un tel montage d'essai est souvent assez grande, par exemple plusieurs centaines de mètres pour des montages d'essais applicables à la mesure des antennes typiques de faisceaux hertziens. Les montages d'essai en espace libre sont donc habituellement installés en extérieur.

La longueur minimale recommandée pour le montage d'essai, ou distance pour obtenir les caractéristiques de champ lointain, est habituellement de $2 D^2/\lambda$, où D est la plus grande dimension de l'ouverture soit de l'antenne à l'essai soit de l'antenne d'émission, et λ est la longueur d'onde.

Dans ce cas, la différence maximale de longueur entre le trajet du centre de l'antenne de référence au centre de l'antenne à l'essai et le centre de l'antenne de référence à tout point du plan d'ouverture de l'antenne à l'essai est égal à $\lambda/16$ et l'erreur maximale est alors négligeable.

Dans certains cas, la distance minimale de champ lointain indiquée ci-dessus n'est pas possible et il peut être nécessaire d'appliquer une correction de gain.

Dans certains autres cas, par exemple en ce qui concerne les antennes dotées d'une ouverture d'illumination fortement dégradée, des distances minimales plus petites, par exemple D^2/λ , peuvent être autorisées.

Dans les montages d'essai en espace libre, on tente toujours de supprimer les effets des signaux réfléchis dus à l'environnement. Ils comprennent les réflexions provenant de la surface du montage d'essai lui-même dans le cas des montages d'essais élevés – c'est-à-dire la terre entre les tours de support de l'antenne de référence et l'antenne à l'essai ou les immeubles et tout autre objet réfléchissant proche. S'il est nécessaire de mesurer avec précision le diagramme de rayonnement arrière de l'antenne à l'essai, comme c'est souvent le cas pour les antennes de faisceaux hertziens, il convient que les réflexions à partir des points situés à l'arrière de l'antenne à l'essai soient négligeables, ou évaluées pour correction.

De plus amples détails sur la conception des montages d'essai et les exigences pour le site concernant les mesures en champ lointain sont fournis à la référence [1]*.

Il convient de mentionner un autre type de montage d'essai qui peut être installé dans une chambre sourde. Il s'agit du «montage d'essai compact», qui utilise dans sa forme la plus classique un grand réflecteur parabolique excentré, dont les dimensions sont au moins trois fois supérieures à celles de l'antenne à l'essai.

* La référence entre crochets se rapporte à l'article 5: Bibliographie.

4 Methods of measurement

4.1 Test range considerations

The "ideal" test range for determining far-field antenna performance should provide a plane wave of uniform amplitude and phase which completely illuminates the aperture of the antenna under test.

The standard approach for an "ideal" test range is the so-called "free-space test range". Such a test-range is often quite long, e.g. several hundreds of metres for test ranges suitable for the measurement of typical radio link antennas. Free-space test ranges are therefore usually constructed outdoors.

The minimum recommended test-range length, or far-field distance, is usually $2D^2/\lambda$, where D is the largest aperture dimension either of the antenna under test or of the source antenna, and λ is the wavelength.

When this is the case, the maximum path-length difference between the centre of the source antenna to the centre of the antenna under test and the centre of the source antenna to any point on the aperture-plane of the antenna under test is $\lambda/16$ and the maximum error is then negligible.

In some cases, the above minimum far-field distance is not sufficient and then a gain correction factor may be necessary.

In some other cases, e.g. for antennas with strongly tapered aperture illumination, smaller minimum distances, for instance D^2/λ , may be permissible.

In free-space test ranges, attempts are always made to suppress the effects of reflected signals from the surroundings. These include reflections from the test range surface itself in the case of elevated test ranges, i.e. the earth, from the source and test-antenna support towers or buildings, and from other nearby reflecting objects. If the rearwards-pointing radiation pattern of the antenna under test is to be measured accurately, as is usually the case for radio link antennas, reflections from points situated at the rear of the antenna under test should also be negligible, or should be evaluated for correction.

Further details on test-range design and siting requirements in relation to far-field measurements can be found in reference [1]*.

One other type of test range that may be implemented within an anechoic chamber should be mentioned. This is the "compact test range", which, in its most basic form, uses a large offset paraboloidal reflector, with dimensions at least three times larger than those of the antenna under test.

* The reference in square brackets refers to clause 5: Bibliography.

La source de référence émission est installée au foyer du réflecteur parabolique excentré et l'on obtient une onde plane à une très courte distance de la source émettrice. Néanmoins, cette technique présente plusieurs imperfections dont il faudra tenir compte. Par exemple, la dépolarisation de l'onde incidente due au réflecteur incurvé conduit à des erreurs dans les mesures de polarisation croisée effectuée en dehors de l'axe de visée de l'antenne à l'essai, des interactions peuvent se produire entre le réflecteur de l'antenne à l'essai et le réflecteur de l'antenne d'émission, etc.

4.2 Gain d'antenne

4.2.1 Définition et considérations générales

Le gain d'une antenne émission parfaitement adaptée est le rapport de la densité de puissance produite dans la région de champ lointain, dans un axe donné à partir de l'antenne, avec la densité de puissance qui serait produite à la même distance par une antenne isotrope alimentée par la même puissance provenant de la même source que l'antenne à l'essai.

En ce qui concerne les antennes de réception, une définition de gain maximum peut être dérivée de celle de la surface effective (A_e) grâce au rapport:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (4-1)$$

où λ est la longueur d'onde.

Pour une même antenne utilisée en émission et en réception, à la même fréquence et avec les mêmes accès, les gains définis ci-dessus pour l'émission et pour la réception seront égaux si l'antenne est réciproque.

Sauf spécification contraire, le gain sera défini comme le gain maximal – gain maximal maximorum – c'est-à-dire le gain dans l'axe de visée.

Deux méthodes de mesure de gain sont considérées dans cette section:

- 1) mesure du gain d'une antenne par rapport au gain d'une antenne de référence,

ainsi qu'une autre méthode de mesure directe lorsque,

- 2) le gain est calculé après avoir mesuré la puissance du signal d'émission, la puissance du signal de réception, la valeur calculée de l'affaiblissement de trajet du montage d'essai et le gain de l'antenne de référence ou de l'antenne d'émission.

4.2.2 Mesure de gain par rapport à une antenne de gain de référence

Les paragraphes 4.2.2.1 à 4.2.2.5 se réfèrent à la mesure du gain des antennes en réception. Dans les cas où il faut mesurer les gains des antennes à l'émission, la source d'émission et l'équipement électronique de réception doivent être interchangés si l'antenne est non réciproque.

The source antenna is installed at the focus of the offset paraboloid reflector and a plane wave is then obtained at a very short distance from the source. However, several imperfections exist with this technique which have to be taken into account. For example, depolarization of the incident wave due to the curved reflector leads to errors in cross-polarization measurements made outside the boresight of the antenna under test, reflector interactions can occur between the reflector of the antenna under test and the source antenna reflector, etc.

4.2 *Antenna gain*

4.2.1 *Definition and general considerations*

The gain of a perfectly matched transmitting antenna is the ratio of the power density produced in the far-field region, in a given direction from the antenna, to the power density which would be produced at the same distance by an isotropic antenna fed by the same power from the same source as the antenna under test.

For receiving antennas, a definition of maximum gain can be derived from that of effective area (A_e) by the relation:

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (4-1)$$

where λ is the wavelength.

For the same antenna used for transmitting and receiving at the same frequency and with the same terminals, the gains defined above for transmitting and for receiving will be equal if the antenna is reciprocal.

Unless otherwise specified, gain will be defined as the maximum gain, i.e. gain in the maximum gain, i.e. gain in the bore-sight direction.

Two methods of gain measurement are considered in this section:

- 1) measurement of the gain of an antenna by comparison with a gain-reference antenna,

and an alternative, direct measurement, method, where,

- 2) the gain is calculated after measuring the transmitted signal power, the received signal power, the calculated value of the test-range path loss and the gain of the source or of the transmitting antenna.

4.2.2 *Gain measurement by comparison with a gain-reference antenna*

Subclauses 4.2.2.1 to 4.2.2.5 refer to the measurement of the gain of receiving antennas. In cases where the gains of transmitting antennas are to be measured, the transmitting source and the receiving electronic equipment shall be interchanged if the antenna is non-reciprocal.

4.2.2.1 *Considérations générales*

La mesure de gain par rapport à l'antenne de gain de référence implique la comparaison du niveau du signal reçu par une antenne de gain de référence et de celui reçu par l'antenne à l'essai à partir de la même source de rayonnement lointaine.

L'antenne de référence doit avoir un gain connu et un ROS suffisamment faible pour que les erreurs soient négligeables.

Afin de réduire toute erreur associée à des non-uniformités dans le champ d'illumination, il convient que l'antenne de gain de référence et l'antenne à l'essai soient situées aussi près que possible l'une de l'autre. Il y a lieu que des corrections soient appliquées afin de compenser toute non-uniformité résiduelle dans les champs d'illumination, comme souligné en 4.1.

Il faut prendre soin de vérifier que l'effet de la structure associée à l'antenne à l'essai, et qui peut être importante, n'altère pas de façon significative les caractéristiques de l'antenne de gain de référence.

Lorsque le champ incident illuminant l'ouverture de l'antenne à l'essai s'écarte significativement d'un front d'onde plane d'amplitude et de phase uniformes, un facteur de correction sur la puissance reçue sera nécessaire pour chaque antenne afin d'établir avec précision le gain de l'antenne à l'essai.

NOTE - En général, les dimensions physiques, et donc le gain, de l'antenne à l'essai sont tous les deux supérieurs à ceux de l'antenne de gain de référence.

4.2.2.2 *Précision de la mesure de gain*

Comme cette méthode n'implique qu'une comparaison entre deux antennes, la précision absolue du wattmètre utilisé n'est, en général, pas très importante.

Afin de réduire les erreurs associées aux différences de gain entre l'équipement de réception et d'autres équipements électroniques actifs, par exemple les enregistreurs utilisés pour les mesures, un seul ensemble commun d'équipements électroniques, d'enregistreurs, etc., est normalement utilisé pour les mesures avec l'antenne de gain de référence et l'antenne à l'essai. Il faut également prendre soin de minimiser les erreurs associées à la dérive de gain dans l'équipement électronique de réception, les enregistreurs, etc., ainsi que des modifications de la puissance de sortie et de la fréquence de la source émission.

Afin de minimiser les erreurs de non-linéarité dues aux détecteurs de signaux de l'équipement électronique de réception et des enregistreurs, etc., utilisés pour la réception et l'enregistrement des signaux de niveaux très différents, il est souhaitable de réduire le niveau du signal reçu sur l'antenne à l'essai, en général plus grande que l'antenne de gain de référence, pour l'amener au même niveau que le signal reçu sur cette dernière en utilisant un atténuateur étalonné.

Il est essentiel de s'assurer de la linéarité du récepteur sur toute la plage des niveaux de signaux susceptibles d'être reçus pendant les mesures.

4.2.2.1 *General considerations*

Gain measurement by comparison with a gain-reference antenna involves the comparison of the signal level received by a gain-reference antenna and that received by the antenna under test from the same distant radiating source.

The reference antenna should have a known gain and a VSWR should be low enough to ensure negligible errors.

To minimize any errors associated with non-uniformities in the illuminating field the gain-reference antenna and the antenna under test should be located as close to each other as possible. Corrections should be applied to account for any remaining non-uniformities in the illuminating fields, as outlined in 4.1.

Care must be taken to ensure that the effect of the structure associated with the antenna under test, which may be large, does not significantly alter the characteristics of the gain-reference antenna.

In cases where the incident field illuminating the aperture of the antenna under test departs significantly from a plane wavefront having uniform amplitude and phase, a power-transfer correction factor for each antenna is also required in order to accurately establish the gain of the antenna under test.

NOTE - Generally, the physical dimensions, and hence gain, of the antenna under test are both greater than those of the gain-reference antenna.

4.2.2.2 *Gain-measurement accuracy*

As this method involves only a comparison between two antennas, the absolute accuracy of the power meter used is generally not important.

To minimize the errors associated with gain differences between the receiving equipment and other active electronic equipment, e.g. recorders, involved in the measurements, a single, common, set of receiving electronic equipment, recorders etc., is normally used for both measurements with the gain-reference antenna and with the antenna under test. Care must also be taken to minimize errors associated with gain drift in the receiving electronic equipment, recorders, etc., as well as changes of power output and frequency of the transmitting source.

To minimize the non-linearity errors associated with the signal detectors, electronic receiving equipment, recorders, etc., used when receiving and recording signals at widely different levels, it is desirable to reduce the received signal-level from the generally larger antenna under test to the same level as that received by the smaller gain-reference antenna by using a calibrated attenuator.

It is essential to establish the linearity of the receiver over the whole range of signal levels likely to be received during the measurements.

Les autres causes d'erreurs sont les suivantes:

- inexactitude d'étalonnage de l'antenne de gain de référence et de l'atténuateur variable;
- augmentation ou diminution de l'affaiblissement sur le trajet du montage d'essai dû aux effets de propagation, y compris l'influence de l'environnement;
- rapport signal sur bruit insuffisant;
- erreurs de lecture dans les mesures (par exemple parallaxe);
- réflexions sur le sol ou autres surfaces;
- guide d'ondes/source ROS.

4.2.2.3 Méthode de mesure

Les figures 1a et 1b montrent les schémas fonctionnels de deux montages équivalents couramment utilisés pour la mesure du gain d'antenne par comparaison de gain.

Le récepteur r.f. est successivement connecté à l'antenne à l'essai et à l'antenne de gain de référence, soit par un câble coaxial flexible terminé par une transition coaxiale/guide d'onde et un isolateur (figure 1a) soit par un commutateur en guide d'onde associé à deux tronçons de guide d'onde étalonnés dont les caractéristiques d'affaiblissement ont été mesurées (figure 1b).

Au début de la mesure, les deux antennes, l'antenne de gain de référence et l'antenne à l'essai doivent être légèrement dépointées d'une fraction de l'angle d'ouverture alternativement en azimuth et en élévation. Les antennes sont alors orientées ou tournées en azimuth et/ou en élévation de part et d'autre du point de puissance maximale du signal puis à nouveau réglée sur ce point afin d'établir la direction de pointage optimale en azimuth et en élévation pour chaque antenne qui donne la puissance de réception maximale. Les réglages en azimuth et en élévation de l'antenne de gain de référence et de l'antenne à l'essai sont alors maintenus pendant la durée des mesures. En outre, il convient de vérifier le réglage exact de la polarisation des antennes et, si nécessaire, de l'ajuster.

- Etape 1) Connecter l'équipement de réception à l'antenne de gain de référence et noter ou enregistrer la puissance P_r reçue.
- Etape 2) Connecter l'équipement de réception à l'antenne à l'essai, augmenter l'affaiblissement de l'atténuateur variable afin de recevoir le même ordre de grandeur de puissance reçue, et noter ou enregistrer la puissance reçue P_a et la différence des valeurs de l'atténuateur variable entre les étapes 1 et 2.
- Etape 3) Répéter les étapes 1 et 2 jusqu'à ce qu'un degré acceptable de reproductibilité soit obtenu dans la mesure de P_r et P_a . Le manque de reproductibilité peut être dû à une instabilité de la source d'émission ou de l'équipement de réception, ou des conditions de propagation sur le trajet du montage d'essai.

Other causes of error are as follows:

- the inaccuracy of calibration of the gain-reference antenna and of the variable attenuator;
- an increase or decrease of the test-range path loss, due to propagation effects, including environmental influences;
- an insufficient signal-to-noise ratio;
- measurement observation errors (e.g. parallax);
- ground and/or other reflections;
- waveguide/feeder VSWR.

4.2.2.3 Method of measurement

Figures 1a and 1b show the block diagrams of two similar arrangements commonly used for the measurement of antenna gain by gain comparison.

The r.f. receiver is successively connected to the antenna under test and to the gain-reference antenna, using either a flexible coaxial-cable terminated by a coaxial/waveguide transition and an isolator (figure 1a) or by a waveguide switch associated with two calibrated waveguide runs which have measured loss characteristics (figure 1b).

At the beginning of the measurement, both antennas, the gain-reference antenna and the antenna under test, must be slightly depointed by a fraction of a beamwidth alternately in azimuth and elevation. The antennas are then panned or rotated in azimuth and/or elevation, through the point of maximum signal strength and then reset to that point in order to establish the optimum pointing direction in azimuth and elevation for each antenna in turn for maximum received power. The azimuth and elevation settings of both the gain-reference antenna and the antenna under test are then maintained for the duration of the measurements. In addition, the exact adjustment of the polarization of the antenna should be checked and, if necessary, adjusted.

- Step 1) Connect the receiving equipment to the gain-reference antenna and note or record the indicated received power P_r .
- Step 2) Connect the receiving equipment to the antenna under test, increase the attenuation of the variable attenuator in order to receive the same order of magnitude of indicated received power, and note or record the received power P_a and the difference in the variable attenuator readings recorded in steps 1 and 2.
- Step 3) Repeat steps 1 and 2 until an acceptable degree of repeatability is achieved in the measurement of P_r and P_a . Lack of repeatability may be due to instability in the transmitting source, or in the receiving equipment, or in the test-range propagation path conditions.

Le gain mesuré de l'antenne à l'essai peut être déterminé par la formule générale suivante:

$$G_a \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{N_r}{N_a} \cdot \frac{P_a}{P_r} + L_{eq} + G_r \quad (4-2)$$

où

G_a est le gain mesuré de l'antenne à l'essai, au point où il est défini, par rapport à une antenne isotrope;

G_r est le gain de l'antenne de gain de référence par rapport à une antenne isotrope;

L_{eq} est la différence entre la lecture de l'atténuateur à l'étape 2 et la lecture à l'étape 1 (généralement, $L_{eq} > 0$ dB);

N_r et N_a sont les facteurs de correction pour un front d'onde incident, non uniforme en amplitude et/ou en phase.

NOTES

1 Les indices «a» et «r» sont des facteurs respectivement associés à l'antenne à l'essai et à l'antenne de gain de référence.

2 Afin de fournir la preuve de la qualité des montages d'essai et, en particulier de la composante d'erreur due aux réflexions du sol, il est conseillé de répéter les mesures pour plusieurs hauteurs de l'antenne de gain de référence, si possible à partir d'une hauteur située du point le plus bas jusqu'au point le plus élevé de l'antenne à l'essai. La figure 3a donne un exemple de ce type de procédure. Pour un bon montage d'essai, il convient que la variation crête à crête entre les mesures effectuées de cette façon soit, par exemple, inférieure à 0,4 dB.

3 Le plus souvent, on utilise un appareil de mesure avec balayage en fréquence pour mesurer P_r et P_a en fonction de la fréquence. Cependant, dans le cas d'une mesure à fréquence fixe, il sera plus aisé d'ajuster P_a exactement sur la même valeur que P_r , ce qui simplifiera alors l'équation précédente et donc le calcul de G_a .

4.2.3 Méthode directe de mesure de gain

4.2.3.1 Considérations générales

Dans la méthode directe de mesure de gain, le gain d'antenne est calculé à partir des mesures de la puissance rayonnée par une antenne émission étalonnée et de la puissance de réception de l'antenne à l'essai sur une liaison hertzienne connue. Les fonctions émission et réception peuvent être interchangées.

Les niveaux de puissance r.f. aux extrémités émission et réception doivent être mesurées par des instruments précis tels que wattmètre, analyseurs de réseau, etc.

Une antenne directive d'ouverture étroite et de gain connu peut être utilisée comme antenne d'émission afin d'éliminer presque totalement les brouillages dus aux réflexions sur le sol.

Le gain de l'antenne émission peut être déterminé à partir des mesures utilisant deux autres antennes: méthode de mesure à trois antennes (voir figure 2a). Le gain de chacune des trois combinaisons d'antenne possibles, $G_1 + G_2$, $G_1 + G_3$ et $G_3 + G_2$, est mesuré en utilisant la méthode décrite dans cette section et le gain de chaque antenne est ensuite calculé par la résolution des trois équations. Il est également possible d'utiliser une antenne de gain de référence connue.

The measured gain of the antenna under test can then be determined by the following general expression:

$$G_a \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{N_r}{N_a} \cdot \frac{P_a}{P_r} + L_{eq} + G_r \quad (4-2)$$

where

G_a is the measured gain of the antenna under test at the gain-reference point, relative to an isotropic antenna;

G_r is the gain of the gain-reference antenna, relative to an isotropic antenna;

L_{eq} is the difference between the attenuator reading in step 2 and the reading in step 1 (generally $L_{eq} > 0$ dB);

N_r and N_a are the correction factors for an incident wavefront which is non-uniform in amplitude and/or phase.

NOTES

1 The subscripts "a" and "r" denote factors associated with the antenna under test and with the gain-reference antenna respectively.

2 In order to provide evidence of the quality of the test range, and in particular the error component due to ground reflections, it is good measurement practice to repeat the measurements for several heights of the gain-reference antenna, if possible ranging from a height equal to the lowest point of the antenna under test to the highest point. Figure 3a gives an example of such a procedure. For a good test range, the peak-to-peak variation between measurements made in this way should, for example, be less than 0,4 dB.

3 Most often, a swept-frequency measurement is used to measure P_r and P_a as a function of frequency. However, in the case of a fixed frequency measurement, there will be less difficulty in adjusting P_a to exactly the same value as P_r , which will then simplify the above equation and hence calculation of G_a .

4.2.3 Direct method of gain measurement

4.2.3.1 General considerations

In the direct method of gain measurement, antenna gain is calculated from measurements of the radiated power of a calibrated transmit antenna and the received power of the antenna under test in a given transmission link. Transmit and receive functions can be interchanged.

The r.f. power levels at the transmit and receive ends must be measured by accurate test instruments such as power meters, network analysers, etc.

A narrow-beamwidth directional antenna of known gain may be used as a transmitting source antenna so that interference from ground reflections can be almost totally eliminated.

The gain of the source antenna may be determined from gain measurements using two other antennas, using the three-antenna measurement method (see figure 2a). The gain of each of the three possible antenna combinations, $G_1 + G_2$, $G_1 + G_3$ and $G_3 + G_2$, is measured, using the currently described method, and then the gain for each antenna is calculated by solving the three simultaneous equations. A known gain-reference antenna may also be used.

4.2.3.2 Précision

L'erreur totale de mesure est déterminée à partir des contributions individuelles suivantes:

- la précision des wattmètres ou de l'analyseur de réseau aux extrémités d'émission et de réception de la liaison hertzienne ou du montage d'essai;
- la précision de l'affaiblissement de couplage du coupleur directif situé du côté émission de la liaison hertzienne ou du montage d'essai;
- les réflexions sur le sol (voir 4.2.3.1);
- la précision du gain de l'antenne émission.

Une autre source d'erreur peut provenir d'un mauvais alignement dans le pointage des antennes émission et réception.

4.2.3.3 Méthode de mesure

La figure 2b montre un exemple du schéma fonctionnel du montage d'essai utilisant des wattmètres. Le signal provenant du générateur balayé en fréquence est connecté via un coupleur directif à un wattmètre et à l'antenne émission. Un deuxième wattmètre est également connecté à l'antenne de réception, c'est-à-dire à l'antenne à l'essai.

Le gain de l'antenne de réception peut être calculé à partir des formules suivantes:

$$G \text{ (dB)} = A_o - 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} - G_t \quad (4-3)$$

et

$$P_t \text{ (W)} = 10^{A_c/10} \times P'_t \quad (4-4)$$

où

A_o est l'affaiblissement en espace libre, $= 20 \log_{10} (4\pi R/\lambda)$,
où λ est la longueur d'onde.

R est la distance entre les stations d'émission et de réception;

A_c est l'affaiblissement de couplage du coupleur directif;

P_t est la puissance rayonnée par l'antenne émission;

P'_t est la puissance mesurée par le wattmètre à l'extrémité émission;

P_r est la puissance mesurée par le wattmètre à l'extrémité réception;

G_t est le gain de l'antenne d'émission (dB).

Les niveaux de puissance P'_t et P_r sont mesurés à des intervalles de fréquence spécifiés, par exemple par pas de 10 MHz ou de 20 MHz dans une plage de fréquences spécifiée, le gain G (dB) inconnu est ensuite calculé.

4.2.3.2 Accuracy

The total measurement error is determined from the following individual contributions:

- the accuracy of the power meters or network analyser at both the transmit and receive ends of the radio link or test range;
- the accuracy of the coupling loss of the directional coupler at the transmit end of the radio link or test range;
- ground reflections (see 4.2.3.1);
- the accuracy of the transmit antenna gain.

A further possible source of error is the misalignment between the main beams of the transmit and receive antennas.

4.2.3.3 Method of measurement

Figure 2b shows an example of a block diagram of the test set-up using power meters. The signal from the sweep generator is connected via a directional coupler to a power meter and the transmit antenna. A second power meter is also connected to the receive antenna, i.e. the antenna under test.

The gain of the receive antenna can be calculated from:

$$G \text{ (dB)} = A_o - 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} - G_t \quad (4-3)$$

and

$$P_t = (W) 10^{A_c/10} \times P'_t \quad (4-4)$$

where

A_o is the free space loss, $= 20 \log_{10} (4\pi R/\lambda)$,

where λ is the wavelength,

R is the distance between transmit and receive locations;

A_c is the coupling loss of the directional coupler;

P_t is the power radiated by the transmit antenna;

P'_t is the power measured by the power meter at the transmit end;

P_r is the power measured by the power meter at receive end;

G_t is the transmit antenna gain (dB).

Power levels P'_t and P_r are measured at specified frequency spacings, e.g. in steps of 10 MHz or 20 MHz within the specified frequency range, and from these the unknown gain G (dB) is calculated.

4.2.4 *Présentation des résultats*

Le gain d'antenne est indiqué en décibels en fonction de la fréquence.

Le gain doit être indiqué pour toutes les fréquences et les polarisations du domaine de fonctionnement de l'antenne.

La figure 3a montre un exemple de la présentation des résultats pour une mesure avec balayage en fréquence et en utilisant une antenne de gain de référence.

La figure 3b illustre un exemple réel d'une mesure de gain par la méthode directe, laquelle montre que le brouillage dû aux réflexions sur le sol est presque totalement éliminé.

4.2.5 *Détails à spécifier*

Lorsque cette mesure est exigée, il y a lieu d'inclure les détails suivants dans le cahier des charges de l'antenne:

- a) limites de bande(s) de fréquence;
- b) polarisation d'antenne;
- c) gain d'antenne minimal exigé et fréquences spécifiques pour lesquelles les mesures doivent être effectuées.

4.3 *Diagramme de rayonnement*

4.3.1 *Définition*

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est la distribution angulaire de l'intensité de champ dans la région de champ lointain, à une distance constante de l'antenne. Elle peut être mesurée avec l'antenne copolarisée ou en polarisation croisée avec la polarisation reçue.

4.3.2 *Méthode de mesure*

Les diagrammes de rayonnement copolarisé et en polarisation croisée peuvent être mesurés dans le plan E et dans le plan H de l'antenne à l'essai.

Toutes les mesures nécessaires peuvent être effectuées si l'antenne est montée sur un positionneur en azimuth comme indiqué en figure 4. L'antenne d'émission doit être installée sur une monture appropriée à l'autre extrémité du montage d'essai, comme défini en 4.1.

Si l'antenne émission ne peut être positionnée à la même hauteur que l'antenne à l'essai, il y a lieu d'incliner l'axe d'azimuth du positionneur de façon à être orthogonal à une ligne reliant le centre de l'antenne émission au centre de l'ouverture de l'antenne à l'essai.

L'antenne à l'essai doit être fixée de façon à ce que le plan souhaité de mesure soit orthogonal à l'axe d'azimuth du positionneur. L'antenne émission est alimentée par un signal r.f. à la fréquence désirée et l'antenne à l'essai est connectée à un équipement électronique d'enregistrement et de réception ad hoc.

4.2.4 *Presentation of results*

The antenna gain is given in decibels as a function of frequency.

The gain shall be stated for all the frequencies and polarizations of interest.

Figure 3a shows an example of the presentation of results for a swept measurement, using a gain-reference antenna.

Figure 3b illustrates a real example of a direct method gain measurement, which shows that the interference from ground reflections is almost completely eliminated.

4.2.5 *Details to be specified*

The following items should be included, as required, in the antenna specifications:

- a) frequency band(s) limits;
- b) antenna polarization;
- c) minimum required antenna gain and specific frequencies at which measurements are to be made.

4.3 *Radiation patterns*

4.3.1 *Definition*

The radiation pattern of an antenna is the angular distribution of field strength in the far-field region, at a constant distance from the antenna. It may be measured with the antenna co-polarized or cross-polarized with the received polarization.

4.3.2 *Method of measurement*

The co-polarized and cross-polarized radiation patterns may be measured in both the E- and H-plane of the antenna under test.

All necessary measurements may be carried out if the antenna is mounted on an azimuth positioner as indicated in figure 4. A transmitting source antenna shall be installed on an appropriate mount at the opposite end of a suitable test range, as defined in 4.1.

If the source antenna cannot be positioned at the same height as the antenna under test, the azimuth axis of the positioner should be tilted such that it becomes orthogonal to a line connecting the centre of the source antenna with the centre of the aperture of the antenna under test.

The antenna under test shall be fixed in such a way that the intended plane of measurement is orthogonal to the azimuth axis of the positioner. The source antenna is supplied by an r.f. signal at the desired frequency and the antenna under test is connected to suitable electronic receiving and recording equipment.

4.3.2.1 *Mesure des diagrammes de rayonnement copolarisés*

Les deux antennes sont copolarisées et initialement pointées dans les directions de gain maximal pour obtenir le niveau de référence de signal copolarisé dans l'axe de visée. L'antenne à l'essai est alors orientée par rotation continue ou pas à pas dans une plage angulaire spécifiée autour de l'axe d'azimuth du positionneur de l'antenne, et la puissance reçue est alors enregistrée en fonction de l'angle de rotation.

L'antenne à l'essai est alors remontée sur le positionneur de façon à ce que le nouveau plan de mesure souhaité soit à nouveau orthogonal par rapport à l'axe d'azimuth du positionneur. L'antenne émission complète ou seulement la source primaire, si cela est possible, est tournée de 90° puis la mesure est répétée. En cas d'antenne émission à double polarisation, le signal à émettre peut être connecté à l'autre point d'accès, au lieu de faire tourner l'antenne ou sa source primaire.

De cette façon, les diagrammes de rayonnement des plans E et H peuvent être mesurés en faisant tourner l'antenne uniquement dans l'axe d'azimuth.

4.3.2.2 *Mesure des diagrammes de rayonnement en polarisation croisée*

Pour mesurer les diagrammes de rayonnement en polarisation croisée, on pointera d'abord à nouveau les deux antennes pour obtenir le niveau de signal copolarisé maximal.

Ensuite, il y a lieu de croiser la polarisation de l'antenne à l'essai par rapport à celle de l'antenne émission en faisant tourner toute l'antenne émission, ou seulement la source primaire, si cela est possible, d'exactement 90° autour de son axe puis d'effectuer un réglage fin de polarisation pour minimiser le signal reçu. Dans le cas d'une antenne émission à double polarisation, le signal à émettre peut être connecté à l'autre accès d'entrée au lieu de faire tourner toute l'antenne émission ou sa source primaire. La procédure de mesure du diagramme de rayonnement décrite ci-dessus est ensuite répétée.

Le niveau du diagramme de rayonnement en polarisation croisée doit être comparé à la crête du diagramme de rayonnement en copolarisation obtenu pendant la procédure d'optimisation initiale de l'axe de visée décrite précédemment.

On mesure généralement au moins trois diagrammes de rayonnement, c'est-à-dire aux fréquences basse, moyenne et haute de la bande ou des bandes de fréquences concernées de l'antenne à l'essai en maintenant le même réglage fin de polarisation.

4.3.3 *Présentation des résultats*

De préférence, il y a lieu de présenter les résultats sous forme d'un graphique, par exemple copie d'enregistrement, sortie d'un traceur, etc.

Pour les besoins d'ingénierie du système une enveloppe de diagramme de rayonnement de l'antenne est parfois tracée à partir de plusieurs diagrammes de rayonnement comme indiqué en figure 5. Pour une antenne symétrique, il est possible de présenter l'enveloppe de diagramme de rayonnement de 0° à 180°, qui indique le diagramme de rayonnement complet.

4.3.2.1 *Measurement of co-polarized radiation patterns*

Both antennas are co-polarized and are initially pointed in the directions of maximum gain to obtain a reference bore-sight co-polarized signal level. The antenna under test is then rotated continuously or step by step through a specified angular range about the azimuth axis of the antenna positioner, and the received power is recorded as a function of the angle of rotation.

The antenna under test is then remounted on the positioner in such a way that the new, intended, measurement plane is again orthogonal to the azimuth axis of the positioner. The complete source antenna or the antenna feed only if applicable, is rotated by 90° and the measurement is repeated. In case of a dual polarized source antenna the transmit power may be connected to the other port, instead of rotating the antenna or its feed.

In this way, E and H plane (or Vertical and Horizontal, depending on orientation) radiation patterns may be measured by rotating the antenna only in the azimuth direction.

4.3.2.2 *Measurement of cross-polarized radiation patterns*

For the measurement of cross-polarization radiation patterns, again both antennas should initially be pointed for maximum co-polarized signal level.

The antenna under test and the source antenna should then be cross-polarized by rotating the complete source antenna, or the antenna feed, only if applicable, by exactly 90° around its axis, followed by a fine polarization adjustment to minimize the received signal. In the case of a dual-polarized source antenna, the transmit power may be connected to the other port instead of rotating the complete source antenna or its feed. The above radiation pattern measurement procedure is then repeated.

The level of the cross-polarization radiation pattern shall be referred to the peak of the co-polarization radiation pattern obtained during the initial bore-sight optimization procedure described above.

Usually at least three radiation patterns are measured, taken at the low, middle and high frequency points of the relevant frequency band(s) of the antenna under test maintaining the same fine polarization adjustment position.

4.3.3 *Presentation of results*

The results should preferably be presented in graphical form, e.g. as a copy of a chart recording, plotter output, etc.

For system engineering purposes an antenna pattern envelope is sometimes drawn from several radiation patterns as indicated in figure 5. For a symmetrical antenna, it is permissible to express the radiation pattern envelope from 0° to 180°, taking the complete radiation pattern into account.

Pour les antennes asymétriques, il convient de présenter l'enveloppe de diagramme de $+180^\circ$ à -180° , en passant par l'axe de visée, soit 0° .

Les maxima des diagrammes de rayonnement sont normalement reliés pour tracer l'enveloppe. Si certaines crêtes ne sont pas prises en compte, la méthode d'obtention de l'enveloppe doit être expliquée.

4.3.4 *Détails à spécifier*

Lorsque cette mesure est exigée, il y a lieu d'inclure les détails suivants dans le cahier des charges de l'antenne:

- a) fréquence(s) d'intérêt;
- b) plan(s) de polarisation et plages angulaires à mesurer;
- c) polarisation(s) d'antenne;
- d) limites autorisées pour l'ouverture du faisceau à mi-puissance;
- e) affaiblissement minimal exigé pour les lobes latéraux.

4.4 *Découplage en polarisation croisée (XPD)*

4.4.1 *Définition et considérations générales*

Le découplage en polarisation croisée est le rapport du niveau du signal à la crête du diagramme de rayonnement en copolarisation au niveau de signal en polarisation croisée dans une direction donnée. En général, le découplage de la polarisation croisée est rapporté au niveau le plus élevé en contrepolarisation dans un petit intervalle angulaire spécifié centré sur l'axe de visée en copolarisation.

4.4.2 *Méthode de mesure (antenne à une seule polarisation)*

Les deux antennes doivent être copolarisées et placées en position de gain maximal.

L'antenne émission complète ou seulement la source primaire, si cela est possible, est ensuite tournée de 90° autour de l'axe de visée. Dans le cas d'une antenne émission à double polarisation, le signal à émettre peut être connecté à l'autre point d'accès au lieu de faire tourner l'antenne ou sa source primaire.

On procède alors à un réglage fin de l'angle de rotation afin de générer une puissance de réception minimale à la sortie de l'antenne à l'essai.

L'antenne à l'essai est alors tournée dans le plan azimuth sur tout l'intervalle angulaire spécifié pour établir le signal maximal en polarisation croisée dans un plan particulier. La procédure est répétée pour d'autres plans de polarisation jusqu'à trouver tous les signaux maximaux en polarisation croisée.

Il convient que le découplage en polarisation croisée de l'antenne émission soit beaucoup plus important que celui de l'antenne à l'essai.

Il y a lieu de mesurer les diagrammes de polarisation croisée avec le même réglage de polarisation pour les trois fréquences de mesure.

For asymmetrical antennas, the pattern envelope shall be presented from $+180^\circ$ to -180° , passing through the bore-sight direction at 0° .

The maxima of the radiation patterns are normally interconnected by an envelope. If some peaks are not taken into account, the method for obtaining the envelope has to be explained.

4.3.4 *Details to be specified*

The following items should be included, as required, in the antenna specifications:

- a) frequency(s) of interest;
- b) polarization plane(s) and angular ranges to be measured;
- c) antenna polarization(s);
- d) permitted limits for half-power beamwidth;
- e) minimum required side lobe attenuation.

4.4 *Cross-polarization discrimination (XPD)*

4.4.1 *Definition and general considerations*

Cross-polarization discrimination is the ratio of the signal level at the peak of the co-polarized beam pattern and the cross-polarized signal level for a given direction. Generally the cross-polarization discrimination is referred to the highest level of cross-polarized signal within a small specified angular interval centred on the co-polarization bore-sight direction.

4.4.2 *Method of measurement (single-polarized antenna)*

Both antennas shall be co-polarized and located at the positions of maximum gain.

The complete source antenna, or the antenna feed only, if applicable, is then rotated about its bore-sight direction through an angle of 90° . In the case of a dual-polarized source antenna, the transmit power may be connected to the other port instead of rotating the antenna or its feed.

The rotation angle is then finely adjusted in order to produce the minimum received power at the output of the antenna under test.

The antenna under test is then rotated in the azimuth plane throughout the specified angular interval to establish the maximum cross-polarized signal in the particular plane. The procedure is repeated for other polarization planes of interest until the maximum overall cross-polarized signal is found.

The cross-polarization discrimination of the source antenna should be large in comparison with the antenna under test.

The cross-polarized patterns should be measured with the polarization setting fixed at the three frequencies.

4.4.3 *Méthode de mesure (antenne à double polarisation, y compris les filtres de polarisation)*

La procédure de mesure précédente est répétée pour les deux polarisations. Néanmoins, l'ajustement fin de l'angle de rotation autour de l'axe de visée décrit au paragraphe ci-dessus ne doit être effectué qu'une seule fois pour une antenne donnée à l'essai.

4.4.4 *Présentation des résultats*

Il y a lieu de présenter le découplage en polarisation croisée en décibels.

4.4.5 *Détails à spécifier*

Lorsque cette mesure est exigée, il y a lieu d'inclure les détails suivants dans le cahier des charges de l'antenne:

- a) mesures dans des plans autres que les plans principaux, si cela est applicable;
- b) plages angulaires pour lesquelles il y a lieu d'effectuer les mesures;
- c) fréquence(s) d'intérêt;
- d) découplage minimal exigé en polarisation croisée;
- e) critère utilisé pour le réglage fin de l'angle de rotation autour de l'axe de visée (voir 4.4.3).

4.5 *Affaiblissement d'adaptation*

4.5.1 *Méthode de mesure*

L'antenne doit rayonner en espace libre ou en espace libre simulé. Le radôme, s'il existe, doit être mis en place. Les méthodes de mesure appropriées sont indiquées dans la CEI 835-1-2. L'affaiblissement d'adaptation de l'antenne est mesuré de préférence par la méthode de balayage en fréquence.

4.5.2 *Présentation des résultats*

Le résultat de cette mesure peut être donné par la plus mauvaise valeur obtenue dans la plage de fréquences spécifiée.

Il est également possible de fournir une copie des tracés enregistrés. La méthode utilisée et l'erreur probable seront indiquées.

Les quantités appelées «coefficient de réflexion» et «rapport d'ondes stationnaires», ROS, sont également utilisées pour quantifier l'adaptation de l'antenne.

4.5.3 *Détails à spécifier*

Lorsque cette mesure est exigée, il y a lieu d'inclure les détails suivants dans le cahier des charges de l'antenne:

- a) l'interface d'entrée de l'antenne;
- b) fréquence(s) d'intérêt;
- c) affaiblissement d'adaptation minimum exigé.

4.4.3 *Method of measurement (dual-polarized antenna, including polarization filters)*

The above measurement procedure is repeated, for both polarizations. However, the fine adjustment of the rotation angle about the bore-sight direction described in the above subclause is allowed to be done only once for a given antenna under test.

4.4.4 *Presentation of results*

The cross-polarization discrimination shall be given in decibels.

4.4.5 *Details to be specified*

The following items should be included as required in the antenna specification:

- a) measurements in planes other than the principal planes, if relevant;
- b) angular ranges over which measurements are to be made;
- c) frequency(s) of interest;
- d) minimum required cross-polarization discrimination;
- e) criterion used for the fine adjustment of the rotation angle about the bore-sight direction (see 4.4.3).

4.5 *Return loss*

4.5.1 *Method of measurement*

The antenna shall be arranged to radiate into free-space or simulated free-space. The radome, if any, shall be fitted. Suitable methods of measurement are given in IEC 835-1-2. The antenna return loss should preferably be measured using the swept-frequency method.

4.5.2 *Presentation of results*

The results of this measurement may be stated as a worst-case figure within a specified frequency band.

Alternatively, a copy of the recorded plot may be furnished. The method used and the probable error shall be stated.

The related quantities "reflection coefficient" and "voltage-standing-wave-ratio", v.s.w.r., are also used to describe the match of the antenna.

4.5.3 *Details to be specified*

The following items should be included as required in the antenna specifications:

- a) the antenna input interface;
- b) frequency(s) of interest;
- c) minimum required return loss.

4.6 *Isolation d'antenne à accès multiples*

4.6.1 *Définition et considérations générales*

L'isolation est le rapport en décibels en fonction de la fréquence du niveau de puissance appliqué à un accès d'entrée d'une antenne à accès multiples au niveau de puissance reçu à un autre accès de la même antenne.

Si tous les accès d'une antenne sont réciproques au niveau de l'émission ou de la réception, n'importe quel accès de l'antenne peut être un accès d'entrée ou de sortie. S'il n'y a pas réciprocité, les accès d'entrée ou de sortie peuvent être choisis en fonction des spécifications de l'antenne.

4.6.2 *Méthode de mesure*

L'antenne à accès multiple sera configurée pour rayonner en espace libre ou en espace libre simulé. La puissance r.f. est appliquée à un accès. La puissance reçue à l'autre accès est alors mesurée, tous les autres accès non utilisés terminés par des charges adaptées. Le rapport entre les deux niveaux de puissance est égal à l'isolation.

Les puissances d'entrée et de sortie sont habituellement mesurées avec des coupleurs directifs et des wattmètres ou des analyseurs de réseau. Il serait préférable que l'isolation soit mesurée par la méthode de balayage en fréquence.

4.6.3 *Présentation des résultats*

De préférence, il y a lieu de fournir une copie du tracé enregistré y compris la photographie, s'il est utilisé, de l'écran d'oscilloscope. Le résultat de cette mesure peut également être donné en décibels, en prenant la plus mauvaise valeur mesurée dans la bande de fréquence spécifiée. La méthode utilisée et l'erreur probable devront être indiquées.

Si les deux rapports mesurés en échangeant les accès d'entrée et de sortie ne coïncident pas, la valeur la plus mauvaise sera prise comme valeur d'isolation.

4.6.4 *Détails à spécifier*

Lorsque cette mesure est exigée, il y a lieu d'inclure les détails suivants dans le cahier des charges de l'antenne:

- a) les accès entre lesquels l'isolation doit être mesurée, c'est-à-dire les polarisations et les bandes de fréquence d'intérêt;
- b) isolation minimale exigée.

5 *Bibliographie*

- [1] *Normes IEEE des procédures de mesures des antennes* (1983) (y compris normes ANSI 145-1983)