

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure

Procédures de mesure des niveaux de champ magnétique générés par les appareils électriques et électroniques dans l'environnement ferroviaire en regard de l'exposition humaine



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2011 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE

Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure

Procédures de mesure des niveaux de champ magnétique générés par les appareils électriques et électroniques dans l'environnement ferroviaire en regard de l'exposition humaine

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

T

ICS 45.060

ISBN 978-2-88912-735-1

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Measurement procedure	9
4.1 General.....	9
4.2 Rolling stock	10
4.2.1 General	10
4.2.2 Accessible areas for workers inside rolling stock	10
4.2.3 Public areas inside rolling stock.....	10
4.2.4 Areas outside rolling stock (public and workers)	11
4.3 Fixed installation	12
4.3.1 General	12
4.3.2 Open railway route (public and workers).....	12
4.3.3 Areas close to fixed power supply installations (public and workers).....	13
4.3.4 Platform (public and workers).....	13
4.3.5 Simulation/calculation.....	13
4.4 Test conditions.....	14
4.4.1 Test of rolling stock	14
4.4.2 Test of fixed installation.....	14
4.5 Test environment.....	15
5 Measurement technique	15
5.1 General.....	15
5.2 Frequency range	15
5.3 Measurement equipment	15
5.3.1 General	15
5.3.2 Field probes	15
5.3.3 Summation of spatial components	15
5.3.4 Data logging.....	16
5.3.5 Dynamic range	16
5.3.6 Isotropy	16
5.3.7 Linearity	16
5.3.8 Calibration and accuracy	16
5.4 Evaluation methods.....	16
5.4.1 General	16
5.4.2 DC magnetic field	16
5.4.3 AC magnetic field	16
5.5 Measurement execution	17
5.5.1 General	17
5.5.2 Rolling stock.....	17
5.5.3 Fixed installation	18
6 Report.....	18
Annex A (informative) Test plan	20
Bibliography.....	24

Figure 1 – External surface of the rolling stock	11
Figure 2 – Measuring point of surface method	12
Table 1 – Location and distances.....	13

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 62597:2011

Withd 2011

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT PROCEDURES OF MAGNETIC FIELD LEVELS GENERATED BY ELECTRONIC AND ELECTRICAL APPARATUS IN THE RAILWAY ENVIRONMENT WITH RESPECT TO HUMAN EXPOSURE

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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- the subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC 62597, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This technical specification is based on EN 50500.

The text of this technical specification is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
9/1429/DTS	9/1499A/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

The intention of this Technical Specification is to summarize existing measuring/calculation methods for determining the magnetic fields in the space around the equipment mentioned in the scope.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 62597:2011

MEASUREMENT PROCEDURES OF MAGNETIC FIELD LEVELS GENERATED BY ELECTRONIC AND ELECTRICAL APPARATUS IN THE RAILWAY ENVIRONMENT WITH RESPECT TO HUMAN EXPOSURE

1 Scope

This Technical Specification applies to apparatus, systems and fixed installations which are intended for use in the railway environment. The frequency range covered is 0 Hz to 300 GHz.

Technical considerations and measurements are necessary for frequencies from d.c. to 20 kHz because no relevant field strengths are expected above due to the physical nature of EMF-sources in the railway environment.

- a) The regulations regarding the protection of human beings (also bearing active implantable medical devices) during exposure to non-ionizing electromagnetic fields in the railway environment are different according to the countries worldwide.

The object of this Technical Specification is to summarize measurement and simulation/calculation procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure (also for human beings bearing active implantable medical devices).

Transient conditions, such as short circuit, earth fault and transformer inrush are excluded.

Not covered are personal electronic devices (e.g. mobile phones, notebook computers, wireless communication systems, etc.) of passengers and workers.

Not covered are intentional transmitters with frequencies higher than 20 kHz.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61786, *Measurement of low-frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings – Special requirements for instruments and guidance for measurements*

IEC 62236 (all parts), *Railway applications – Electromagnetic compatibility*

IEC 62311, *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62236, IEC 62311, IEC 61786 and the following apply.

3.1

workers

drivers, train-staff and all people working in the railway environment. National definition of “workers” will have a priority if any

3.2

platform

place where passengers can enter, leave and change trains

3.3

fixed installation

infrastructure of railway environment without rolling stock

3.4

electric traction system / feeding system

railway electric distribution network to provide energy for an electrical motive power unit.

EXAMPLE This system may comprise

- contact line systems,
- return circuit systems,
- running rails of non-electric traction systems which are in the vicinity of, and conductively connected to the running rails of an electric traction system,
- electrical installations, which are supplied from contact lines either directly or via a transformer,
- electrical installations in power plants and substations, which are utilized solely for generation and distribution of power directly to the contact line,
- electrical installations of switching stations

3.5

main line

railway line for passenger and freight trains in regional and long-distances operation

3.6

urban transport

railway line for underground trainsets, trams, LRV (Light Rail Vehicles), trolleybuses to operate within the boundary of a metropolitan area

3.7

rolling stock

smallest unit which can be operated covering all vehicles with or without motors

3.8

level crossing

crossing of railway line and public way (street or footpath) on the same level

3.9

working area

area for workers without access for general public. National definitions of this area have priority.

3.10

the railway environment

the surrounding objects or region which may be influenced by electronic and electrical apparatus of the railway (see IEC 62236-2)

3.11**public**

all people in the railway environment except workers

3.12**open railway route**

railway route except station

4 Measurement procedure**4.1 General**

In railways three electromagnetic sources can affect human beings: rolling stock, traction power supply and signalling equipment.

According to generic EMF standard IEC 62311, there are two separate summation regimes for simultaneous exposure to fields of different frequencies. They depend on the effects of the exposure. In the frequency range from 1 Hz to 10 MHz the electrical stimulation is relevant. In the frequency range from 100 kHz to 300 GHz, thermal effects are relevant.

As the detectable emission of rolling stock, traction power supply and signalling equipment is in the frequency range from d.c. to 100 kHz, measurements, simulation and calculation are restricted to this range. Accordingly, only one summation regime is applied. In this frequency range the magnetic field is dominant and the electric field can be neglected.

As power of signalling equipment is low in comparison with other sources of EMF in the railway environment, its contribution can be neglected.

The load within the railway system can change widely in short times. Emission is related to load.

The measurement procedure of the whole railway system is divided into two cases.

Case 1: Rolling stock (see 4.2)

- measurements inside rolling stock, and
- measurements outside rolling stock.

Case 2: Fixed installation of existing infrastructure (see 4.3)

- measurement of existing railway infrastructure,
- simulation/calculation of worst case situation (e.g. bridges, level crossing, maximum possible current in overhead lines, third rails).

NOTE Compliance of rolling stock can be demonstrated with the first explained case. Compliance of fixed installation can be demonstrated with the second explained case.

For the apparatus, systems and fixed installations in railway environment there are basic restrictions for general public and workers specified in ICNIRP and IEEE standards (see Bibliography).

With compliance of case 1 and case 2, it can be assumed that the whole railway system complies with the relevant requirements and limits.

Subclause 4.2 defines the measurement points in established areas inside and outside rolling stock.

Subclause 4.3 defines the measurement points in established areas in fixed installation and gives details regarding simulation/calculation.

Subclause 4.4 defines the test conditions during the measurement of the magnetic field.

Subclause 4.5 is related to the test environment.

A test plan for rolling stock and fixed installation is given in Annex A.

4.2 Rolling stock

4.2.1 General

The following measurement points are specified inside and outside rolling stock:

4.2.2 Accessible areas for workers inside rolling stock

The measurements indicate the emissions of the train equipment in standstill and dynamic condition (see 4.4.1).

Measurements shall be carried out where workers are located when seated or accessing areas in the train during normal operation conditions of train taking into account the sources of emission within the train. This is defined as the occupied volume.

The occupied volume can be measured either by the surface method or by the volume method.

Surface method:

The enclosing surface of the volume shall be measured at a minimum distance (under the sensor restriction) and at an agreed number of measuring points (e.g. by measurement on the floor surface above emission sources and if necessary additional measurement heights above the floor may be 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m).

Failure to satisfy the value of the limits using the surface method does not necessarily mean the occupied volume limits are exceeded.

Volume method:

The occupied volume shall be measured at typical places where workers can be located. The measurement heights above the floor shall be 1,0 m and 1,5 m. The horizontal measuring distance to the walls is 0,3 m or at the minimum distance ($> 0,3$ m) where workers can be.

4.2.3 Public areas inside rolling stock

The measurements indicate the emissions of the train equipment in standstill and dynamic condition (see 4.4.1).

Measurements shall be carried out in areas occupied by public during normal operation conditions of train taking into account the sources of emission within the train. This is defined as the occupied volume.

The occupied volume can be measured either by the surface method or by the volume method defined in 4.2.2.

However in the case of the volume method the measurement heights above the floor shall be 0,3 m, 1,0 m and 1,5 m.

4.2.4 Areas outside rolling stock (public and workers)

The measurements indicate the emissions of the train equipment in standstill condition (see 4.4.1).

Measurements shall be carried out where public or workers are located outside the train during normal operation conditions of train when stationary taking into account the sources of emission within the train. This is defined as the occupied volume.

The occupied volume can be measured either by the surface method or by the volume method.

The external surface of the rolling stock is defined as shown in Figure 1. The occupied volume does not consider places below or above the rolling stock.

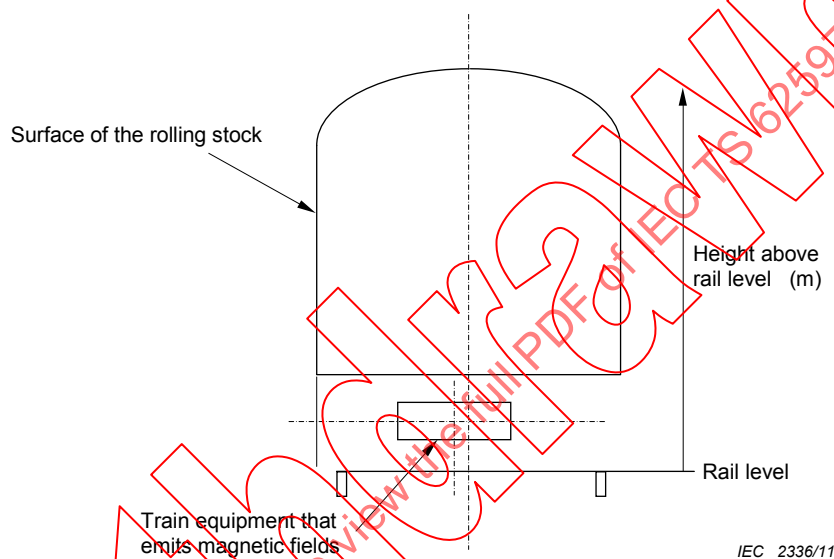


Figure 1 – External surface of the rolling stock

– Surface method.

The external surface of the train shall be measured at a minimum distance (under the sensor restriction) and at an agreed number of measuring points (e.g. by measurement at the height of the centre of the nearest side of the equipment as defined in Figure 2).

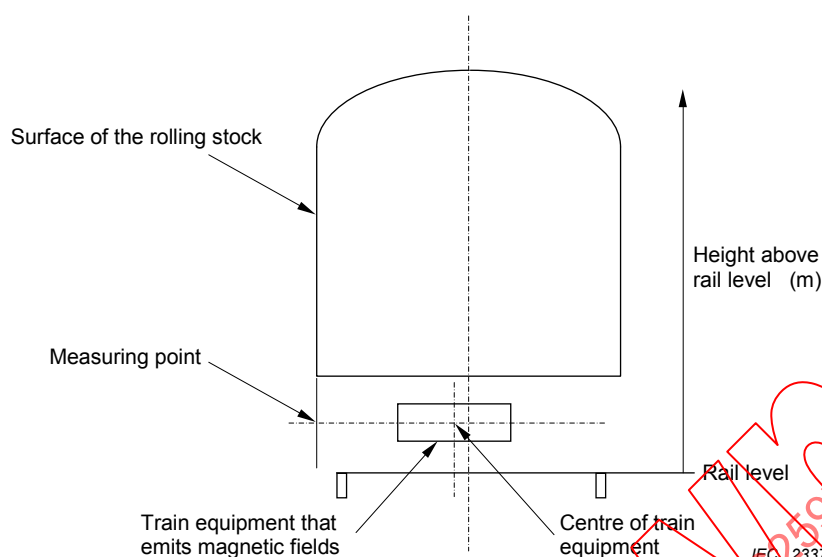


Figure 2 – Measuring point of surface method

Failure to satisfy the value of the limits using the surface method does not necessarily mean the occupied volume limits are exceeded.

– Volume method:

Measurements shall be carried out at distances of 0,3 m to the train surface taking into account the sources of emission of the rolling stock (e.g. power converters, power cables and power inductors) at 0,5 m, 1,5 m and 2,5 m height from the top of the running rails (rail level).

Measurements for public shall not be carried out at the same side of the third rail with respect to the tracks.

4.3 Fixed installation

4.3.1 General

Demonstration of compliance of the existing fixed installation shall include fixed electric traction system of railway environment.

Positions where compliance has to be demonstrated are given in 4.3.1 to 4.3.3.

Simulation/calculation can give worst case figures (see 4.3.4).

A test plan is given in Annex A.

For measurement of fixed installation, measurement should take into account coherency and compatibility with the measurement procedures for electric power systems. The international EMF standard for electric power systems IEC 62110 should be referenced.

4.3.2 Open railway route (public and workers)

Measurements and/or simulation/calculation regarding public shall be carried out at the distances measured from the centre of the nearest track of the considered system as given in Table 1, or at higher distances within the nearest accessible area for public, at 1,0 m or 1,5 m above ground level (standing area) where people can be at the detected location, see Table 1.

Measurements for workers on open railway routes shall be carried out at the closest possible (not restricted) position to the sources of emission where workers can be located.

NOTE 1 A measurement height of 1,0 m is a common practice for electric power systems in Japan and a measurement height of 1,5 m is common in Europe.

Table 1 – Location and distances

Location	Horizontal distance from centre of track m	Remark
Main line	10 (for public)	If not regulated by legislative requirements
Urban transport	3 (for public)	If not regulated by legislative requirements
Trams, trolley buses, etc.	0	
Level crossings	0	
Bridges	0	
Underpass	0	

Combined systems (main line and urban line close together) have to be regarded individually which may lead to other distances.

NOTE 2 There may be cases where the location of maximum field strength is different from the centre of the track. In these cases the place with the maximum field strength has to be considered.

4.3.3 Areas close to fixed power supply installations (public and workers)

Measurements and/or simulation/calculation shall be carried out at the closest possible (not restricted) position to the sources of emission from fixed power supply installations where public and workers can be located (e.g. as marked on the floor or given by fences).

There are two sets of measurement heights:

0,5 m, 1,0 m and 1,5 m and
0,3 m, 0,9 m and 1,5 m.

Only one set has to be chosen.

NOTE Measurement heights of 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m are a common practice for electric power systems in Japan and the horizontal distance is in these cases 0,2 m or at the minimum distance ($> 0,2$ m) where public and workers can be. If the field to be measured is considered to be uniform, measurements at heights of 0,5 m and 1,5 m can be omitted (same as single-point measurement at a height of 1,0 m).

Measurement heights of 0,3 m, 0,9 m and 1,5 m are common practice in Europe for public areas – without the height of 0,3 m for worker areas as it is not expected to have children as workers. The horizontal measuring distance to the walls or fences is 0,3 m or at the minimum distance ($> 0,3$ m) where public and workers can be.

4.3.4 Platform (public and workers)

On platforms three measurement heights above the platform level are given: 0,5 m, 1,0 m and 1,5 m.

The horizontal distance shall be 0,3 m or the closest possible horizontal distance ($> 0,3$ m) from the edge of the platform where public and workers can be.

4.3.5 Simulation/calculation

If measurements cannot cover the worst case conditions, simulation/calculation with maximum expected current values (to be set by the infrastructure manager) shall be carried out.

Harmonics known to be lower than a threshold value of 10 % of the limit value at the corresponding frequency can be neglected.

Validation of the calculation/simulation shall be performed by comparison between calculated/simulated results and measured values for known conditions.

NOTE Expected maximum current values may be extrapolated from notch curve for rolling stock and from the maximum allowable load of electric power equipment for substations.

4.4 Test conditions

4.4.1 Test of rolling stock

Tests are to be done under normal operating conditions, only.

The condition of the rolling stock during the magnetic field measurements is described below:

- Standstill condition (S)
The rolling stock is not moving.
The traction circuits shall be under voltage but not operating. The auxiliary circuits shall operate and all the relevant appliances shall be active (e.g. air conditioning/heating, lights, window heater, electric generators).
- Dynamic condition (D)
The rolling stock starts from the standstill with maximum acceleration to maximum speed, coasting and maximum electrical brake to stop.
The traction circuits shall be under voltage and operating. The auxiliary circuits shall operate and the load shall be active.
The maximum value of the field strength shall be recorded together with the line current.

There may be rolling stock (e.g. urban transport) which cannot accelerate with maximum line current under test conditions, or supply systems that cannot be deliberately set such that the rolling stock will draw the maximum line current for the purposes of the test. In these cases the maximum emission shall be calculated based on the measurement results and monitored line current using an appropriate method (e.g. linear extrapolation).

NOTE 1 Attention also should be paid to the emissions of car borne equipment, and the emissions of the third rail or catenary. While individual fields from car borne equipment will vary as a function of the current in the device, catenary or third rail field will vary as a function of number of cars and current.

The test has, as far as possible, to be done without the influence of other rolling stock.

If different circuits are used in the electrical brake systems they have to be tested separately.

NOTE 2 The line receptivity may be between zero and maximum and is not controlled for the purposes of this test.

4.4.2 Test of fixed installation

- Open railway route and platform
The actual line current of the open railway route/platform as the significant source of emission shall be noted during emission tests.
Maximum emission shall be calculated based on the measurement results and monitored line current using an appropriate method (e.g. extrapolation).
- Fixed power supply installation
The actual loading of the fixed power supply installation shall be noted during emission tests.
Maximum emission shall be calculated based on the measurement results and monitored line current using an appropriate method (e.g. extrapolation).

4.5 Test environment

Any magnetic induction sources outside the rolling stock and along the trackside can influence the measurements carried out. In order to be able to correlate particular magnetic induction values it is necessary, beforehand and during the measurements, to indicate the positions of any possible external sources on a plan of the line run.

5 Measurement technique

5.1 General

This clause defines the frequency range and the measurement equipment, evaluation methods and measurement execution.

5.2 Frequency range

Measurements and/or calculation and simulation shall be performed from d.c. up to 20 kHz.

NOTE 1 There may be measurement instrumentation with a gap between 1 Hz and 5 Hz which can be used also. This can be justified by the fact that the limit decreases from 1 Hz to 5 Hz by a factor $1/f^2$. In matching the limit at 5 Hz it is assumed that the limit is matched at lower frequencies too.

NOTE 2 Measurements are necessary for frequencies up to 20 kHz because no relevant field strengths are expected above.

NOTE 3 The frequency range of measurement can be reduced if no relevant field strengths are expected above. See A.1.3.

5.3 Measurement equipment

5.3.1 General

The measurement equipment shall meet the requirements as defined in the relevant regulations and shall be in accordance with the following technical requirements as a minimum.

The centre of each field probe shall be the reference point for the given measuring distances in this Technical Specification.

5.3.2 Field probes

The field probes should be compatible to IEC 61786 and shall meet the following requirements:

- measurement of the d.c. magnetic field: tri-axial isotropic probe;
- measurement of the a.c. magnetic field:
 - tri-axial probe with three orthogonal loops, loop with maximum 100 cm² area with a minimum frequency range of 5 Hz to 20 kHz, or
 - tri-axial probe fluxgate sensor with a minimum frequency range of d.c. to 20 kHz.

NOTE For measurements in the railway environment the magnetic flux density B is the magnitude of a field vector that is equal to the magnetic field H multiplied by the permeability μ_0 .

$$B = \mu_0 \cdot H$$

5.3.3 Summation of spatial components

Three measurements shall be performed at the same time in three orthogonal planes to obtain the different components of the field. The resultant H -field would be given by the following formula:

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

For a.c. fields the summation has to be performed either in the time domain after filtering or in the frequency domain after FFT (Fast Fourier Transform) of the measured components of the field.

NOTE The formula for H will give worst case values for summation in the frequency domain as the phase relation between the components is lost. More accurate methods may be used.

5.3.4 Data logging

It is recommended to use data logging equipment to make the measurement data available for further offline evaluation.

5.3.5 Dynamic range

The dynamic range of the measurement chain shall cover the range at the appropriate applicable limit.

5.3.6 Isotropy

The isotropy deviation of the complete system shall be 5 % or less.

5.3.7 Linearity

The linearity deviation of the complete system regarding measured field strength values shall be not more than ± 5 % in the required dynamic range.

5.3.8 Calibration and accuracy

All relevant measurement equipment shall be calibrated for the used frequency range. The uncertainty of the complete measurement chain from the field probes to the final display unit shall be not more than designated range (typical values may be 20 %).

The complete measurement chain shall be checked to verify its performance and accuracy.

5.4 Evaluation methods

5.4.1 General

The methods used for the evaluation and assessment of measurement data should be in line with the relevant regulations.

5.4.2 DC magnetic field

The evaluation of DC magnetic fields shall be done by using the formula stated in 5.3.3.

5.4.3 AC magnetic field

5.4.3.1 General

For a.c. magnetic fields, two basic methods for data evaluation and assessment are applicable. The method defined by ICNIRP guidelines (see Bibliography) is FFT (see below). This is the basic method. Further methods can be found in IEEE standards (see bibliography).

As the FFT overestimates magnetic fields in comparison with the results of time domain method (the railway environment is characterized by pulsed and complex non-sinusoidal waveforms) the application of the second method (as mentioned in ICNIRP statement (see Bibliography)) may be more realistic in some cases.

In case of exceeding the limit because of transients they should be identified. Transients with a duration of less than 1 s, e.g. during switching events, can be disregarded.

5.4.3.2 Frequency domain

Evaluation in the frequency domain with FFT-analyser, digital signal processor or equivalent equipment (online or offline of recorded data) and followed by spectral weighting and summation of spectral components as required by particular relevant requirements/standards and as necessary for conversion of the measured signals to values in terms of magnetic flux density ($B(f)$).

Record length of FFT-data (i.e. observation time and bandwidth of spectral signal) and sampling frequency should be in accordance with the relevant requirements/standards.

Recommendations/typical parameters (not mandatory):

Time window: Hanning (no overlap)

Record length: 0,5 s (realtime FFT)

Sampling frequency: > 40 kHz

Summation of spectral components: linear, spectral lines under a threshold value of 10 % of the limit value are not taken into account.

NOTE Evaluation of transients and variables frequencies by FFT analysis may cause wrong results. If peak hold result complies with limit values, a detailed analysis of each time step is not necessary. Changes in load (e.g. change from accelerating to coasting) may cause errors in FFT analysis. Therefore a separate investigation of different operating conditions without the transition is allowed.

5.4.3.3 Time domain

Evaluation in the time domain ($dB(t)/dt$ or $B(t)$) with digital or analogue filters with appropriate filter characteristics in order to perform the spectral weighting and conversion of the measured signals to values in terms of magnetic flux density ($B(t)$), if necessary followed by evaluation as required by particular basic requirements/standards (example is given in ICNIRP statement (see Bibliography)).

Sampling frequency: > 40 kHz

NOTE The two methods

- will produce identical results for sinusoidal magnetic fields (assuming that the weighting functions are the same for both methods);
- will produce comparable results for periodic magnetic fields;
- may produce different results for impulse shaped magnetic fields (for multi frequency signals the FFT method overestimates the exposure).

5.5 Measurement execution

5.5.1 General

Measure all three axis of the magnetic field at the same time.

For each point of every measurement area, magnetic fields are measured in the following way:

5.5.2 Rolling stock

- Inside rolling stock:

Measuring all 3 axis of the magnetic field in static condition for a duration of (30 – 60) s.

Measuring all 3 axis of the magnetic field in dynamic condition from the standstill with maximum acceleration to maximum speed, coasting for a duration of at least 10 s and maximum electrical break to stop.

For each measuring point and each condition one measurement is sufficient.

- Outside rolling stock:

Measuring all 3 axis of the magnetic field in static condition for a duration of (30 – 60) s.

5.5.3 Fixed installation

Monitor the current affecting the magnetic field at the same time of magnetic field measurement.

During measurement different railway related and other magnetic field sources may contribute to measuring result.

Measurement arrangements should be such that a correlation between line current and field strength is possible to find the maximum value of field strength.

6 Report

Guidelines to the report can be found in ISO/IEC 17025.

The following information pertaining to the instrumentation and measurements should also be provided in all cases:

- date of measurements;
- post processing method;
- time of measurements;
- test set-up (e.g. heights and location of the measurement);
- environmental conditions (e.g. weather conditions, other field sources, magnetizing materials);
- measurement uncertainty;
- evaluation results (e.g. ICNIRP value of each performed assessment);
- spectrum analysis for selected places (e.g. with high emission or requested from third party);
- any deviation from the given test conditions (e.g. measurement duration, maximum currents) with a justification.

The following should be specifically noted during the rolling stock tests:

- track and direction of travel;
- train configuration - vehicles of the rolling stock and their relative position;
- approximate weight of the rolling stock (crush load or tare);
- position(s) of the active pantograph(s);
- feeding fixed power supply installation(s);
- nature of return circuit(s) (double track/single track) and cables for return current;
- location of booster transformers and feeding fixed power supply installation(s) related to the measuring positions;
- traction converters position;
- auxiliary converter position;
- main inductances positions.

It is also recommended as far as possible to record the line current corresponding to the total consumption of the rolling stock, and preferably also the rolling stock speed and catenaries voltage.

The following should be noted during track and platform tests:

- track and direction of travel;
- feeding fixed power supply installation;
- nature of overhead contact line / third rail;
- nature of return circuit and cables for return current;
- location of feeding fixed power supply installation(s) related to the measuring positions.

The following should be noted during fixed power supply installation test:

- type of fixed power supply installation (e.g., substation, booster-transformer, voltage-change post, switching station);
- fundamental frequency (e.g., d.c. and 50 Hz);
- location of tracks related to the measuring positions;
- nature of installation (e.g. operating frequency, rated voltage, rated capacity, insulation class, manufacturer);
- circuit configuration (e.g. single-line diagram);
- location of power apparatus;
- nature and location of receiving line if any (e.g. receiving voltage, line, phase sequence);
- nature and location of main circuit (e.g. overhead line, bus bar, cable layout);
- operating condition (e.g. switch positions, operating devices).

Other information which should be provided, when appropriate, includes drawings which describe the area and locations where measurements are performed.

Annex A (informative)

Test plan

A.1 General

A.1.1 Introductory remarks

Verification of magnetic field levels in rolling stock and fixed installation can consume large amounts of time. Therefore it is recommended to prepare a test plan.

D.C. magnetic field measurements are only to be performed if significant d.c. magnetic field sources are expected (e.g. lines with d.c. traction/d.c. power supply, coaches with d.c. train heating line).

A.1.2 Process of test plan

The process of test plan is

- a) identify electromagnetic sources to be analysed,
- b) define relevant frequency range to be considered,
- c) define measurement position and dynamic range.

A.1.3 Magnetic field sources

The measurement plan shall identify the sources of magnetic fields.

Identification of magnetic field sources shall be done including

- expected frequency range including d.c.,
- dependence on operating conditions of the train,
- external magnetic field sources (e.g. metal, magnetized objects).

A.1.4 Frequency range of measurement

If it can be verified that the maximum relevant frequency of the sources is below a set frequency then the time of measure and post processing of each measurement position can be reduced.

NOTE Not relevant frequencies are those with magnetic field strength below 10 % of the limit.

A.2 Rolling stock

A.2.1 Magnetic field sources

Primary sources are items that handle large currents such as transformers, electric motors, converters and associated cabling.

Identification of magnetic field sources shall be done including

- dependence on operating conditions of the train (current consumption, motor current or other physical quantities),
- external supply (e.g. catenary or third rail).

NOTE It is recommended that only the rolling stock under test is operated in the supply line section to minimize the influence of fixed installation (such as contact line and return circuit line). However, this condition may be impossible for crowded railways (e.g. urban transport in a large city).

A.2.2 Frequency range of measurement

The frequency range of this Technical Specification is chosen to include known and in the near future expected working frequencies of electrical equipment.

If it can be verified that the maximum relevant frequency of the sources is below a set frequency then the time of measure and post processing of each measurement position can be reduced.

The verification can be done before measurement on the rolling stock by measurement of magnetic fields of equipment in laboratory. Other means of verifications can be frequency analysis of currents in equipment.

A.2.3 Measurement positions

A.2.3.1 Stand still conditions

If it can be shown that the maximum magnetic field is local at a given measuring height (see 4.2), the other measuring height(s) can be omitted.

A.2.3.2 Dynamic conditions

In some cases measurement positions from stand still condition (see 4.4.1) can be valid also for the dynamic conditions.

This shall be deduced from the test results of the standstill position measurement together with an analysis of the position of other sources so that the magnetic field will not be increased in that position during dynamic condition measurement.

A.3 Fixed installation

A.3.1 Magnetic field sources

Typical magnetic field sources in fixed installation are transformers, reactors, lines and cables, overhead contact lines / third rail and return circuits. Major field sources are large current lines with long paths such as lines and cables, overhead contact lines and return circuits.

A.3.2 Open line

As the magnetic field levels around railway routes depend heavily on line current(s) and geometric arrangement of overhead contact line(s), supply line(s) and return circuit(s), it may be difficult to obtain a measurement result that can be applied to the whole line section. However, such typical measurement result will be necessary to verify compliance of the whole railway line. For this purpose, a procedure to obtain typical measurement values with a standard model is given below. The following procedure is recommended, but is not mandatory.

- a) Use a validated tool for simulation/calculation, define worst case situations for each of the typical constellations regarding
 - conductor geometry,
 - feeding line (with or without),
 - parallel feeding lines,
 - current (for example the expected maximum feeding current from the substation),
 - return current distribution or impedance of ground.

Typical constellations of railway routes to be considered are

- 1) single track line,
- 2) double track line,
- 3) two double track lines in parallel (for example one for high speed, one for local traffic),
- 4) multiple track lines are included in 3).

Simulation can be done either by simulating the current distribution in the conductors or by injecting currents considering worst case assumptions about current distribution.

NOTE 1 In complex systems the current distribution cannot be measured with sufficient accuracy. The tool is usually based on Biot-Savart's law for the magnetic field of each conductor. Therefore the tool can be validated at a practicable place with simple geometry and a small number of conductors.

- b) Compare the worst case results of simulation/calculation with limits.
- c) Verification measurement at 2 places of each of the typical constellations. It is recommended that measurement point(s) is (are) set apart from fixed power supply installation.

Verification measurement can be done by either

- a long time measurement (e.g. 24 h including rush hour) in a place apart from fixed power supply installation (1 km for a.c. and d.c. lines or the maximum available distance). Measured magnetic field shall be compared to simulated magnetic field,
- measuring current in each of the conductors and magnetic field at the same time (practicable only at a single tracked line). The measurement results have to be extrapolated to maximum current values.

NOTE 2 A verification of open line covers tunnels as well. The magnetic fields caused by railway sources can be lower in tunnels as the current distribution may include return paths via the reinforcement that improves compensation.

A.3.3 Level crossing

Procedure for assessment of level crossing is covered by open line.

A.3.4 Platform

A.3.4.1 General

The procedure is the same as that given for open lines. The worst case model of a platform includes only the two nearest tracks to each side (if existing) in a place apart from fixed power supply installation (1 km for a.c. and d.c. lines or the maximum available distance). The influence of additional tracks can be neglected.

A.3.4.2 Terminal station

Terminal station is covered by platform because of magnetic field compensation due to higher return currents portion in the track of terminal station and low traction current at low speed.

A.3.5 Bridges/underpass

The procedure is the same as that given for open lines. Care has to be taken in modelling the layout of the contact line system (e.g. overhead contact line itself, line feeders, reinforcing feeders).

A.3.6 Fixed power supply installation

Simulation/calculation of magnetic field in fixed power supply installation is usually complicated.

In addition to field emitted from lines and cables, magnetic disturbance due to metal and/or ferromagnetic material have to be taken into account.

Nevertheless an extrapolation at least for the magnetic field of cables is possible after measurement.

- a) Classify the different types of fixed installation regarding
- power classes;
 - rated voltage;
 - layout of cabling;
 - type of return current conductor system;
 - layout of electric power equipment (field source);
 - ground-plan (distance from magnetic field sources to the fence/boundary of the fixed power supply installation, location related to open railway route).
- b) Measurement shall be carried out only on one fixed power supply installation of each different type. Worst case measuring points shall be chosen close to sources of high magnetic fields. e.g.:
- switchgear close to the active bus bar;
 - transformer, rectifier, power inductor, series/parallel capacitor;
 - return bus bar (where all return currents are collected);
 - cable ducts with high currents;
 - fence of fixed power supply installation (close to emission sources as transformer, cabling or return, current collector).

Railway substations and AC/AC substations are functionally similar, and the two different installations may be installed geometrically closed or into the same building.

Bibliography

Guidelines for limiting exposure to static magnetic fields, ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to static magnetic fields. Health Physics 66 (1): 100-106; 1994

Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4): 494-522; 1998

ICNIRP statement ("Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines" from March 2003)

Time-domain measurement and spectral analysis of non stationary low-frequency magnetic field emissions on board of rolling stock IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 46, no. 1, pp. 12-23, Feb. 2004

IEEE Std. C.95.6TM:2002, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 – 3 kHz*

IEEE Std. C.95.1TM:2005, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz – 300 GHz*

IEC 62110:2009, *Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure*

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 62597:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION	30
1 Domaine d'application	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	32
4 Procédure de mesure	33
4.1 Généralités	33
4.2 Matériel roulant	34
4.2.1 Généralités	34
4.2.2 Zones accessibles pour les travailleurs à l'intérieur du matériel roulant	34
4.2.3 Zones publiques à l'intérieur du matériel roulant	35
4.2.4 Zones à l'extérieur du matériel roulant (public et travailleurs)	35
4.3 Installation fixe	36
4.3.1 Généralités	36
4.3.2 Chemin de fer de surface (public et travailleurs)	36
4.3.3 Zones proches d'installations d'alimentation fixes (public et travailleurs)	37
4.3.4 Quai (public et travailleurs)	37
4.3.5 Simulation/calcul	38
4.4 Conditions d'essai	38
4.4.1 Essai du matériel roulant	38
4.4.2 Essai de l'installation fixe	39
4.5 Environnement d'essai	39
5 Technique de mesure	39
5.1 Généralités	39
5.2 Plage de fréquences	39
5.3 Équipement de mesure	39
5.3.1 Généralités	39
5.3.2 Sondes de champ	39
5.3.3 Sommation des composantes spatiales	40
5.3.4 Acquisition des données	40
5.3.5 Plage dynamique	40
5.3.6 Isotropie	40
5.3.7 Linéarité	40
5.3.8 Étalonnage et précision	40
5.4 Méthode d'évaluation	41
5.4.1 Généralités	41
5.4.2 Champs magnétiques en courant continu	41
5.4.3 Champs magnétiques en courant alternatif	41
5.5 Exécution des mesures	42
5.5.1 Généralités	42
5.5.2 Matériel roulant	42
5.5.3 Installation fixe	42
6 Rapport	42
Annex A (informative) Plan d'essai	45

Bibliographie.....	49
Figure 1 – Surface externe du matériel roulant.....	35
Figure 2 – Point de mesure de la méthode de la surface.....	36
Tableau 1 – Emplacements et distances	37

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 62597:2011

Withdrawing

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURES DE MESURE DES NIVEAUX DE CHAMP MAGNÉTIQUE GÉNÉRÉS PAR LES APPAREILS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT FERROVIAIRE EN REGARD DE L'EXPOSITION HUMAINE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

La CEI 62597, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Cette spécification technique est basée sur l'EN 50500.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
9/1429/DTS	9/1499A/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

L'objet de la présente Spécification Technique est de récapituler les méthodes de mesure/calcul existantes destinées à déterminer les champs magnétiques dans l'espace situé autour des équipements mentionnés dans le domaine d'application.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 62597:2011

Withd2Wm

PROCÉDURES DE MESURE DES NIVEAUX DE CHAMP MAGNÉTIQUE GÉNÉRÉS PAR LES APPAREILS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT FERROVIAIRE EN REGARD DE L'EXPOSITION HUMAINE

1 Domaine d'application

Cette Spécification Technique s'applique aux appareils, systèmes et installations fixes destinés à être utilisés dans l'environnement ferroviaire. La gamme de fréquences couverte est comprise entre de 0 Hz et 300 GHz.

Des considérations techniques et des mesures sont nécessaires pour des fréquences s'étendant du courant continu jusqu'à 20 kHz parce qu'aucune intensité de champ correspondante n'est prévue au-dessus de cette fréquence, en raison de la nature physique des sources de champs électromagnétiques (CEM) dans l'environnement ferroviaire.

- a) La réglementation relative à la protection des êtres humains (également ceux portant des dispositifs médicaux implantables actifs) au cours d'une exposition aux champs électromagnétiques non-ionisants dans l'environnement ferroviaire est différente dans les différents pays du monde.

L'objet de la présente Spécification Technique est de récapituler les procédures de simulation/ de calcul et celles de mesure des niveaux de champ magnétique générés par les appareils électroniques et électriques dans l'environnement ferroviaire en regard de l'exposition humaine (également pour les personnes portant des dispositifs médicaux implantables actifs).

Les conditions transitoires, telles que court-circuit, défaut à la terre et courant d'appel de transformateur, sont exclues.

Les dispositifs électroniques personnels des passagers et des travailleurs (par exemple, les téléphones mobiles, les ordinateurs portables, les systèmes de communication sans fil, etc.) ne sont pas couverts.

Les émetteurs intentionnels de fréquences supérieures à 20 kHz ne sont pas couverts.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 61786, *Mesure de champs magnétiques et électriques à basse fréquence dans leur rapport à l'exposition humaine – Prescriptions spéciales applicables aux instruments et recommandations pour les procédures de mesure*

CEI 62236 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique*

CEI 62311, *Évaluation des équipements électroniques et électriques en relation avec les restrictions d'exposition humaine aux champs électromagnétiques (0 Hz – 300 GHz)*

ISO/CEI 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans les CEI 62236, CEI 62311, CEI 61786, et les suivants s'appliquent.

3.1

travailleurs

conducteurs, personnel des trains et toute personne travaillant dans l'environnement ferroviaire. Si elle existe, la définition nationale de "travailleurs" aura un caractère de prioritaire

3.2

quai

endroit où les passagers peuvent prendre le train, le quitter et en changer

3.3

installation fixe

infrastructure de l'environnement ferroviaire sans matériel roulant

3.4

réseau de traction électrique / système d'alimentation

réseau de distribution électrique ferroviaire pour fournir l'énergie électrique pour une unité motrice électrique.

EXEMPLE Ce réseau peut comprendre

- les réseaux de lignes de contact,
- les systèmes de circuit de retour,
- les rails de roulement de réseaux de traction autre qu'électrique, situés à proximité et électriquement reliés aux rails de roulement d'un réseau de traction électrique,
- les installations électriques alimentées par les lignes de contact soit directement soit par un transformateur,
- les installations électriques dans les centrales électriques et les sous-stations utilisées uniquement pour la production et la distribution d'énergie directement à la ligne de contact,
- les installations électriques des postes de sectionnement

3.5

grande ligne

ligne ferroviaire pour trains de marchandises et de passagers, régionaux et de longues distances

3.6

transport urbain

ligne ferroviaire pour les rames de métro, les tramways, les VLR (Véhicules Légers sur Rails), les trolleybus exploitées à l'intérieur des limites d'une zone urbaine

3.7

matériel roulant

plus petite unité pouvant fonctionner et couvrant tous les véhicules avec ou sans moteurs

3.8

passage à niveau

croisement d'une ligne de chemin de fer et d'une voie publique (rue ou trottoir) au même niveau

3.9

zone de travail

zone réservée aux travailleurs à laquelle le grand public n'a pas accès. La définition nationale de cette zone a un caractère prioritaire

3.10

environnement ferroviaire

objets environnants ou aire géographique pouvant être influencés par l'appareillage électronique et électrique des voies ferrées (voir la CEI 62236-2)

3.11

public

toutes personnes dans un environnement ferroviaire, excepté les travailleurs

3.12

chemin de fer de surface

ligne de chemin de fer, à l'exception des quais

4 Procédure de mesure

4.1 Généralités

Dans le domaine ferroviaire, trois sources électromagnétiques peuvent affecter les êtres humains: le matériel de traction, l'alimentation électrique de traction et l'équipement de signalisation.

Conformément à la Norme générique relative aux champs électromagnétiques (EMF), CEI 62311, il existe deux régimes de sommation séparés pour l'exposition simultanée aux champs de différentes fréquences. Ils dépendent des effets de l'exposition. Dans la plage de fréquences comprises entre 1 Hz et 10 MHz, la stimulation électrique est pertinente. Dans la plage de fréquences comprises entre 100 kHz et 300 GHz, les effets thermiques sont pertinents.

Au même titre que l'émission détectable du matériel roulant, l'équipement d'alimentation de traction et de signalisation se situant dans la plage de fréquences s'étendant du courant continu jusqu'à 100 kHz, les mesures, la simulation et le calcul sont limités à cette gamme. En conséquence, seul un régime de sommation est appliqué. Dans cette plage de fréquences, le champ magnétique est dominant et le champ électrique peut être négligé.

Comme la puissance de l'équipement de signalisation est faible en comparaison avec d'autres sources de CEM dans l'environnement ferroviaire, sa contribution peut être négligée.

La charge au sein du système ferroviaire peut varier largement sur de courtes durées. L'émission est liée à la charge.

La procédure de mesure de l'ensemble du système ferroviaire est divisée en deux cas.

Cas 1: Matériel roulant (voir 4.2)

- mesures à l'intérieur du matériel roulant et
- mesures à l'extérieur du matériel roulant.

Cas 2: Installation fixe d'infrastructure existante (voir 4.3)

- mesure de l'infrastructure ferroviaire existante;
- simulation/calcul de la situation la plus défavorable (par exemple ponts, passage à niveau, courant maximal possible dans les lignes aériennes, les troisièmes rails).

NOTE La conformité du matériel roulant peut être démontrée avec le premier cas explicité. La conformité d'une installation fixe peut être démontrée avec le second cas explicité.

Pour les appareils, systèmes et installations fixes dans un environnement ferroviaire, il existe des restrictions de base pour le public et les travailleurs, spécifiées par l'ICNIRP et par l'IEEE (voir la Bibliographie).

Avec la conformité des cas 1 et 2, on peut supposer que l'ensemble du système ferroviaire est en conformité avec les exigences et les limites correspondantes.

Le paragraphe 4.2 définit les points de mesure dans les zones établies à l'intérieur et à l'extérieur du matériel roulant.

Le paragraphe 4.3 définit les points de mesure dans des zones établies sur une installation fixe et donne des détails relatifs à la simulation/au calcul.

Le paragraphe 4.4 définit les conditions d'essai pendant la mesure du champ magnétique.

Le paragraphe 4.5 se rapporte à l'environnement d'essai.

Un plan d'essai relatif au matériel roulant et à une installation fixe est donné à l'Annexe A.

4.2 Matériel roulant

4.2.1 Généralités

Les points de mesure suivants sont spécifiés à l'intérieur et à l'extérieur du matériel roulant:

4.2.2 Zones accessibles pour les travailleurs à l'intérieur du matériel roulant

Les mesures indiquent les émissions de l'équipement des trains à l'arrêt et dans des conditions dynamiques (voir 4.4.1).

Des mesures doivent être effectuées là où des travailleurs peuvent habituellement se trouver lorsqu'ils sont assis ou lorsqu'ils accèdent certaines zones du train, dans des conditions normales de fonctionnement de celui-ci, en tenant compte des sources d'émission internes au train. Ceci est défini comme le volume occupé.

Le volume occupé peut être mesuré soit par la "Méthode de la surface", soit par la "Méthode du volume".

Méthode de la surface:

La surface périphérique du volume doit être mesurée à une distance minimale (en fonction des restrictions dues au capteur) et en un nombre convenu de points de mesure (par exemple, par des mesures à la surface du sol au-dessus des sources d'émission et si nécessaire, des mesures supplémentaires à des hauteurs au-dessus du sol pouvant être de 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m).

Le fait de ne pas satisfaire à la valeur des limites, en utilisant la méthode de la surface, ne signifie pas nécessairement que les limites du volume occupé sont dépassées.

Méthode du volume:

Le volume occupé doit être mesuré aux emplacements habituels où les travailleurs peuvent se trouver. Les hauteurs de mesure au-dessus du sol doivent être de 1,0 m et de 1,5 m. La distance de mesure horizontale par rapport aux parois est de 0,3 m ou à la distance minimale (> 0,3 m) où des travailleurs peuvent se trouver.

4.2.3 Zones publiques à l'intérieur du matériel roulant

Les mesures indiquent les émissions de l'équipement des trains à l'arrêt et dans des conditions dynamiques (voir 4.4.1).

Des mesures doivent être effectuées dans les zones occupées par le public pendant les conditions normales de fonctionnement du train, en tenant compte des sources d'émission internes au train. Ceci est défini comme le volume occupé.

Le volume occupé peut être mesuré soit par la "Méthode de la surface", soit par la "Méthode du volume" définies en 4.2.2.

Cependant, dans le cas de la méthode du volume, les hauteurs de mesure au-dessus du sol doivent être de 0,3 m, 1,0 m et 1,5 m.

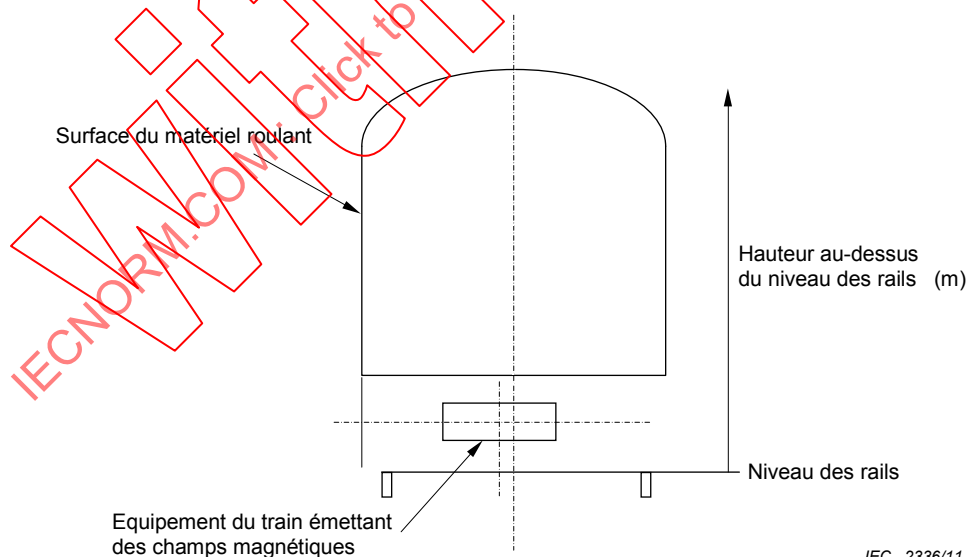
4.2.4 Zones à l'extérieur du matériel roulant (public et travailleurs)

Les mesures indiquent les émissions de l'équipement des trains à l'arrêt (voir 4.4.1).

Les mesures doivent être effectuées là où le public ou des travailleurs peuvent habituellement se trouver à l'extérieur du train, dans des conditions normales de fonctionnement de celui-ci lorsqu'il est à l'arrêt, en tenant compte des sources d'émission internes au train. Ceci est défini comme le volume occupé.

Le volume occupé peut être mesuré soit par la "Méthode de la surface", soit par la "Méthode du volume".

La surface externe du matériel roulant est définie suivant les indications de la Figure 1. Le volume occupé ne prend pas en compte les espaces au-dessous ou au-dessus du matériel roulant.



IEC 2336/11

Figure 1 – Surface externe du matériel roulant

– Méthode de la surface:

La surface externe du train doit être mesurée à une distance minimale (en fonction des restrictions dues au capteur) et en un nombre convenu de points de mesure (par exemple, par des mesures à la hauteur du centre, du côté le plus proche de l'équipement, comme indiqué à la Figure 2).

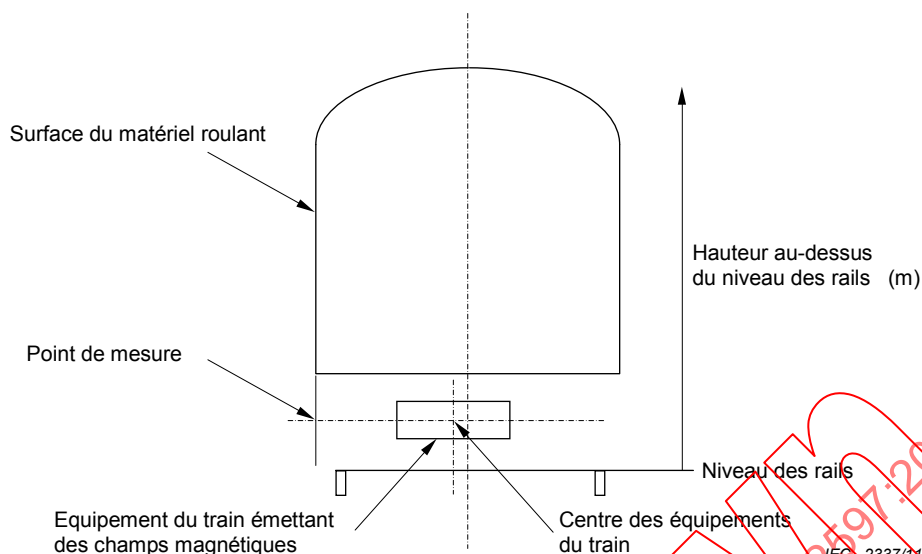


Figure 2 – Point de mesure de la méthode de la surface

Le fait de ne pas satisfaire à la valeur des limites, en utilisant la méthode de la surface, ne signifie pas nécessairement que les limites du volume occupé sont dépassées.

– Méthode du volume:

Les mesures doivent être effectuées à des distances de 0,3 m de la surface du train en tenant compte des sources d'émission du matériel roulant (par exemple, convertisseurs de puissance, câbles de puissance et bobines de puissance) à des hauteurs de 0,5 m, 1,5 m et 2,5 m par rapport au niveau supérieur des rails de roulement (niveau des rails).

Les mesures pour le public ne doivent pas être effectuées du même côté que le troisième rail par rapport aux voies.

4.3 Installation fixe

4.3.1 Généralités

La démonstration de conformité d'une installation fixe existante doit inclure un réseau de traction électrique fixe en environnement ferroviaire.

Les positions où la conformité doit être démontrée sont données aux 4.3.1 à 4.3.3.

La simulation/le calcul peuvent indiquer les chiffres correspondant aux cas les plus défavorables (voir 4.3.4).

Un plan d'essai est donné à l'Annexe A.

Concernant la mesure d'une installation fixe, il convient que la mesure tienne compte de la cohérence et de la compatibilité avec les procédures de mesure relatives à l'énergie électrique des systèmes. Il convient de prendre comme référence la Norme internationale relative aux champs électromagnétiques (EMF) générés par les systèmes d'alimentation électrique, CEI 62110.

4.3.2 Chemin de fer de surface (public et travailleurs)

Les mesures et/ou la simulation/le calcul concernant le public doivent être effectués à des distances à partir du centre de la voie la plus proche du système concerné comme indiqué ci-

dessous ou à des distances supérieures dans la zone la plus proche accessible au public, à 1,0 m ou à 1,5 m au-dessus du sol (base), là où des personnes peuvent se trouver à l'emplacement détecté, voir le Tableau 1.

Des mesures pour les travailleurs sur les lignes de chemins de fer de surface doivent être effectuées à la position (non restreinte) la plus proche possible des sources d'émission où peuvent se trouver des travailleurs.

NOTE 1 Une hauteur de mesure de 1,0 m est une pratique courante pour des systèmes d'alimentation électrique au Japon et une hauteur de mesure de 1,5 m est commune en Europe.

Tableau 1 – Emplacements et distances

Emplacement	Distance horizontale à partir du centre de la voie m	Remarque
Grande ligne	10 (pour le public)	Sauf si réglementé par des exigences légales
Transport urbain	3 (pour le public)	Sauf si réglementé par des exigences légales
Tramways, trolleybus, etc.	0	
Passages à niveau	0	
Ponts	0	
Passages souterrains	0	

Les systèmes combinés (grandes lignes et lignes urbaines proches les unes des autres) doivent être considérés individuellement, ce qui peut conduire à d'autres distances.

NOTE 2 Il peut y avoir des cas où l'emplacement de l'intensité de champ maximale peut être différent du centre de la voie. Dans ces cas, on doit prendre en compte l'emplacement où l'intensité du champ est maximale.

4.3.3 Zones proches d'installations d'alimentation fixes (public et travailleurs)

Des mesures et/ou une simulation/un calcul doivent être effectués à la position (non restreinte) la plus proche possible des sources d'émission des installations d'alimentation fixes où peuvent se trouver des travailleurs et le public (par exemple, ainsi que cela est délimité au sol ou par des clôtures).

Il y a deux ensembles de hauteurs de mesure:

0,5 m, 1,0 m et 1,5 m et

0,3 m, 0,9 m et 1,5 m.

Un seul ensemble doit être choisi.

NOTE Des hauteurs de mesure de 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m sont de pratique courante pour des systèmes d'alimentation électrique au Japon, et la distance horizontale est dans ce cas de 0,2 m ou bien est la distance minimale ($> 0,2$ m), là où le public et les travailleurs peuvent se trouver. Si le champ à mesurer est considéré comme uniforme, les mesures aux hauteurs de 0,5 m et de 1,5 m peuvent être omises (comme la mesure en un point unique à une hauteur de 1,0 m).

Les hauteurs de mesure de 0,3 m, de 0,9 m et de 1,5 m sont de pratique courante en Europe pour les zones publiques – hormis la hauteur de 0,3 m pour les zones des travailleurs, car il n'est pas prévu d'avoir des enfants comme travailleurs. La distance de mesure horizontale par rapport aux parois ou aux clôtures est de 0,3 m ou bien est la distance minimale ($> 0,3$ m), là où le public et les travailleurs peuvent se trouver.

4.3.4 Quai (public et travailleurs)

Sur les quais, trois hauteurs de mesure au-dessus du niveau du quai sont données: 0,5 m, 1,0 m et 1,5 m.

La distance horizontale doit être de 0,3 m ou bien la plus proche possible ($> 0,3$ m) à partir du bord du quai, là où le public et les travailleurs peuvent se trouver.

4.3.5 Simulation/calcul

Si des mesures ne peuvent pas couvrir les conditions les plus défavorables, une simulation/des calculs avec des valeurs de courant prévues maximales (à fixer par le gestionnaire d'infrastructure) doivent être effectués. Les harmoniques reconnues pour être inférieurs à une valeur seuil de 10 % de la valeur limite à la fréquence correspondante peuvent être négligées.

La validation du calcul/de la simulation doit être réalisée par une comparaison entre les résultats calculés/simulés et les valeurs mesurées pour des conditions connues.

NOTE Les valeurs maximales de courant prévues peuvent être extrapolées de la courbe en paliers relative au matériel roulant et de la charge maximale autorisée des équipements d'alimentation électrique pour des sous-stations.

4.4 Conditions d'essai

4.4.1 Essai du matériel roulant

Les essais doivent être effectués uniquement dans des conditions de fonctionnement normales.

Les conditions du matériel roulant au cours des mesures du champ magnétique sont décrites ci-dessous:

- Condition à l'arrêt (S)

Le matériel roulant ne se déplace pas.

Les circuits de traction doivent être sous tension mais ne pas être mis en fonctionnement. Les circuits auxiliaires doivent fonctionner et tous les appareils pertinents doivent être actifs (conditionnement d'air/chauffage à air, lampes, dégivreur, générateurs électriques).

- Condition dynamique (D)

Le matériel roulant démarre à partir de l'immobilisation avec une accélération maximale à la vitesse maximale, à la marche sur l'erre et au freinage électrique maximal en vue de l'arrêt.

Les circuits de traction doivent être sous tension et être en fonctionnement. Les circuits auxiliaires doivent fonctionner et la charge doit être active.

La valeur maximale de l'intensité du champ doit être enregistrée, ainsi que le courant de ligne.

Il peut y avoir un matériel roulant (par exemple en transport urbain) qui ne puisse pas accélérer avec le courant de ligne maximal dans des conditions d'essai, ou des réseaux d'alimentation ne pouvant pas être délibérément réglés de sorte que le matériel roulant consomme le courant de ligne maximal pour les besoins de l'essai. Dans ce cas, l'émission maximale doit être calculée sur la base des résultats de mesure et du courant de ligne contrôlé en utilisant une méthode appropriée (par exemple l'extrapolation linéaire).

NOTE 1 Il convient également de prêter attention aux émissions des équipements embarqués dans le matériel roulant et aux émissions du 3^{ème} rail ou de la caténaire. Alors que les champs individuels provenant des équipements embarqués dans le matériel roulant varient en fonction du courant dans l'appareil, les champs de la caténaire ou du 3^{ème} rail varient en fonction du nombre de voitures et du courant.

Dans la mesure du possible, l'essai doit être effectué sans l'influence d'autre matériel roulant.

Si différents circuits sont utilisés dans les systèmes de freinage électrique, ils doivent être soumis aux essais séparément.

NOTE 2 La réceptivité de la ligne peut être entre zéro et le maximum, et n'est pas contrôlée dans le cadre de cet essai.

4.4.2 Essai de l'installation fixe

- Chemin de fer de surface et quai

Le courant de ligne réel du chemin de fer de surface/du quai, considéré comme la source significative d'émission doit être noté pendant les essais d'émission.

L'émission maximale doit être calculée sur la base des résultats de mesure et du courant de ligne contrôlé en utilisant une méthode appropriée (par exemple l'extrapolation).

- Installation d'alimentation fixe

La charge réelle de l'installation d'alimentation fixe doit être notée pendant les essais d'émission.

L'émission maximale doit être calculée sur la base des résultats de mesure et du courant de ligne contrôlé en utilisant une méthode appropriée (par exemple l'extrapolation).

4.5 Environnement d'essai

Toutes sources d'induction magnétique à l'extérieur du matériel roulant et le long des bords de voies peuvent influencer les mesures effectuées. Afin d'être en mesure de corrélérer les valeurs d'induction magnétique particulières, il est nécessaire préalablement et pendant les mesures, d'indiquer les positions de toutes sources externes possibles sur un plan du parcours de la ligne.

5 Technique de mesure

5.1 Généralités

Le présent Article définit la plage de fréquences, l'équipement de mesure, les méthodes d'évaluation et l'exécution des mesures.

5.2 Plage de fréquences

Les mesures et/ou les calculs et les simulations doivent être réalisés à partir du courant continu jusqu'à 20 kHz.

NOTE 1 Il peut exister une instrumentation de mesure présentant une lacune entre 1 Hz et 5 Hz, mais elle peut être également utilisée. Ceci peut être justifié par le fait que la limite diminue de 1 Hz à 5 Hz d'un facteur $1/f^2$. En faisant correspondre la limite à 5 Hz on prend pour hypothèse que la limite est également adaptée aux fréquences inférieures.

NOTE 2 Des mesures sont nécessaires pour des fréquences jusqu'à 20 kHz parce qu'aucune intensité de champ correspondante n'est prévue au-dessus.

NOTE 3 La plage de fréquences peut être réduite, si aucune intensité de champ correspondante n'est prévue au-dessus de cette fréquence. Voir A.1.3.

5.3 Équipement de mesure

5.3.1 Généralités

L'équipement de mesure doit répondre aux exigences telles que définies dans la réglementation correspondante et doit être conforme, au minimum, aux exigences techniques qui suivent.

Le centre de chaque sonde de champ doit être le point de référence pour les distances de mesure données dans la présente Spécification Technique.

5.3.2 Sondes de champ

Il convient que les sondes de champ soient compatibles avec la CEI 61786 et elles doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- mesure du champ magnétique continu: sonde isotrope triaxiale;

- mesure du champ magnétique alternatif:
 - sonde triaxiale avec trois boucles orthogonales, boucle de surface 100 cm², avec une plage de fréquences minimale de 5 Hz à 20 kHz, ou
 - capteur magnétométrique à sondes triaxiales avec une plage minimale de fréquences du courant continu à 20 kHz.

NOTE Pour les mesures en environnement ferroviaire, la densité du flux magnétique B est la grandeur d'un vecteur champ égal au champ magnétique H multiplié par la perméabilité μ_0 .

$$B = \mu_0 \cdot H$$

5.3.3 Sommation des composantes spatiales

Trois mesures doivent être réalisées en même temps selon trois plans orthogonaux pour obtenir les différentes composantes du champ. Le champ H résultant serait exprimé par la formule suivante:

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Pour les champs en courant alternatif, la sommation doit être réalisée soit dans le domaine temporel après filtrage, soit dans le domaine fréquentiel après TFR (Transformée de Fourier Rapide) des composantes mesurées du champ.

NOTE La formule pour H donnera les valeurs des cas les plus défavorables pour la sommation dans le domaine fréquentiel étant donné que la relation de phase entre les composants est perdue. Des méthodes plus précises peuvent être utilisées.

5.3.4 Acquisition des données

Il est recommandé d'utiliser un équipement d'acquisition de données pour mettre à disposition les données de mesure en vue d'une évaluation hors-ligne supplémentaire.

5.3.5 Plage dynamique

La plage dynamique de la chaîne de mesure doit couvrir la plage appropriée de la limite applicable.

5.3.6 Isotropie

L'écart de l'isotropie du système complet doit être de 5 % ou inférieur.

5.3.7 Linéarité

L'écart de linéarité du système complet concernant les valeurs mesurées d'intensité du champ ne doit pas être de plus de ± 5 % dans la plage dynamique requise.

5.3.8 Étalonnage et précision

Tous les équipements de mesure doivent être étalonnés pour la plage de fréquences utilisées. L'incertitude de la chaîne de mesure complète, des sondes de champ jusqu'à l'unité finale d'affichage, ne doit pas être supérieure à la plage désignée (les valeurs habituelles peuvent être de 20 %).

La chaîne de mesure complète doit être vérifiée au regard de sa performance et de sa précision.

5.4 Méthode d'évaluation

5.4.1 Généralités

Il convient que les méthodes utilisées pour l'évaluation et l'estimation des données de mesure soient en accord avec les réglementations correspondantes.

5.4.2 Champs magnétiques en courant continu

L'évaluation des champs magnétiques en courant continu doit être faite en appliquant la formule donnée en 5.3.3.

5.4.3 Champs magnétiques en courant alternatif

5.4.3.1 Généralités

Pour les champs magnétiques en courant alternatif, deux méthodes de base sont applicables pour l'évaluation et l'estimation des données. La méthode définie par les recommandations ICNIRP (voir la Bibliographie) est la TFR (voir ci-dessous). Il s'agit de la méthode de base. D'autres méthodes peuvent être trouvées dans les normes IEEE (voir Bibliographie).

Comme la TFR surestime les champs magnétiques par comparaison avec les résultats de la méthode du domaine temporel, (l'environnement ferroviaire est caractérisé par des formes d'onde non sinusoïdales à impulsions et complexes) l'application de la seconde méthode (telle que mentionnée dans le rapport ICNIRP [voir la Bibliographie]) peut s'avérer plus réaliste dans certains cas.

Si la limite est dépassée à cause de transitoires, il convient d'identifier ces derniers. Les transitoires d'une durée inférieure à 1 s, par exemple, pendant des manœuvres, peuvent être négligés.

5.4.3.2 Domaine fréquentiel

Évaluation dans le domaine fréquentiel avec l'analyseur à TFR, un processeur de signal numérique ou un équipement équivalent (en ligne ou hors ligne des données enregistrées) et suivie par la pondération spectrale et la sommation des composantes spectrales conformément aux exigences/normes correspondantes particulières, et autant que nécessaire pour la conversion des signaux mesurés en valeurs, en termes de densité du flux magnétique ($B(f)$).

Il convient que la longueur d'enregistrement des données de TFR (c'est-à-dire le temps d'observation et la largeur de bande du signal spectral) ainsi que la fréquence d'échantillonnage soient conformes aux exigences/normes correspondantes.

Recommandations/paramètres typiques (caractère non obligatoire):

Fenêtre temporelle: Hanning (pas de chevauchement)

Longueur d'enregistrement: 0,5 s (TFR temps réel)

Fréquence d'échantillonnage: > 40 kHz

Sommation des composantes spectrales: les raies spectrales linéaires en dessous d'une valeur de seuil de 10 % de la valeur limite ne sont pas prises en compte.

NOTE L'évaluation des transitoires et des fréquences variables par l'analyse TFR peut entraîner des résultats erronés. Si le résultat du maintien de crête est conforme aux valeurs limites, une analyse détaillée de chaque incrément temporel n'est pas nécessaire. Des modifications de charge (par exemple, passage de l'accélération à la marche sur l'erre) peuvent provoquer des erreurs dans l'analyse TFR. Par conséquent, une investigation séparée de différentes conditions de fonctionnement sans la transition est autorisée.