

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Electric traction – Short-primary type linear induction motors (LIM) fed by power converters

Applications ferroviaires – Traction électrique – Moteurs à induction linéaires (LIM) du type à primaire court alimentés par des convertisseurs de puissance





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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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



IEC 62520

Edition 1.0 2011-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Railway applications – Electric traction – Short-primary type linear induction motors (LIM) fed by power converters

Applications ferroviaires – Traction électrique – Moteurs à induction linéaires (LIM) du type à primaire court alimentés par des convertisseurs de puissance

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 45.060

ISBN 978-2-88912-490-9

CONTENTS

| | |
|--|----|
| FOREWORD..... | 4 |
| INTRODUCTION..... | 6 |
| 1 Scope..... | 7 |
| 2 Normative references..... | 7 |
| 3 Terms and definitions..... | 8 |
| 4 Environmental conditions..... | 12 |
| 5 Characteristics..... | 13 |
| 5.1 Exchange of information..... | 13 |
| 5.2 Reference temperature..... | 14 |
| 5.3 Specified characteristics..... | 14 |
| 5.4 Declared characteristics..... | 14 |
| 5.5 Efficiency characteristics..... | 15 |
| 5.6 Traction motor characteristics..... | 15 |
| 6 Marking..... | 15 |
| 6.1 Primary nameplate..... | 15 |
| 6.2 Secondary marking..... | 15 |
| 7 Test categories..... | 16 |
| 7.1 Test categories..... | 16 |
| 7.1.1 General..... | 16 |
| 7.1.2 Type tests..... | 16 |
| 7.1.3 Routine tests..... | 17 |
| 7.1.4 Investigation tests..... | 17 |
| 7.2 Summary of tests..... | 17 |
| 8 Type tests..... | 18 |
| 8.1 Temperature-rise tests..... | 18 |
| 8.1.1 General..... | 18 |
| 8.1.2 Ventilation during temperature-rise tests..... | 18 |
| 8.1.3 Measurement of temperature..... | 18 |
| 8.1.4 Judgement of results..... | 18 |
| 8.1.5 Limits of temperature rise..... | 18 |
| 8.2 Characteristic tests and tolerances..... | 19 |
| 8.2.1 General..... | 19 |
| 8.2.2 Tolerances..... | 20 |
| 8.3 Shock and vibration tests..... | 20 |
| 9 Routine tests..... | 20 |
| 9.1 Routine tests of primary..... | 20 |
| 9.1.1 General..... | 20 |
| 9.1.2 Characteristic tests and tolerance..... | 21 |
| 9.1.3 Dielectric tests..... | 21 |
| 9.1.4 Structural tests..... | 22 |
| 9.2 Routine tests of secondary..... | 23 |
| 9.2.1 Dimension test..... | 23 |
| 9.2.2 Chemical composition test..... | 23 |
| 9.2.3 Tension test..... | 23 |
| 9.2.4 Bending test..... | 23 |

| | | |
|---|--|----|
| 9.2.5 | Shear test..... | 23 |
| 9.2.6 | Ultrasonic flaw detection..... | 23 |
| 9.2.7 | Friction test | 23 |
| 9.2.8 | Electrical conductivity test | 23 |
| 10 | Investigation tests | 24 |
| 10.1 | General | 24 |
| 10.2 | Noise test..... | 24 |
| Annex A (normative) | Measurement of temperature | 25 |
| Annex B (informative) | Test method using a rotary test facility of a LIM..... | 27 |
| Annex C (normative) | Supply voltages of traction systems | 29 |
| Annex D (normative) | Agreement between user and manufacturer | 30 |
| Bibliography..... | | 31 |
| Figure B.1 – Rotary test facility for LIM | | 28 |
| Table 1 – Technical items transferred and requested between the manufacturer of the primary and his counterparts..... | | 14 |
| Table 2 – Summary of tests for the primary..... | | 17 |
| Table 3 – Summary of tests for secondary | | 18 |
| Table 4 – Limits of temperature rise for continuous and other ratings..... | | 19 |
| Table 5 – Dielectric test voltages | | 22 |

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS –
ELECTRIC TRACTION –
SHORT-PRIMARY TYPE LINEAR INDUCTION
MOTORS (LIM) FED BY POWER CONVERTERS**

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.

International Standard IEC 62520 has been prepared by IEC technical committee 9: Electric equipment and systems for railways.

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

| | |
|-------------|------------------|
| FDIS | Report on voting |
| 9/1531/FDIS | 9/1544/RVD |

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

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

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

This International Standard is introduced because there are significant differences between the rotary induction motor and the linear induction motor (LIM). These differences necessitate a different testing standard to ensure consistency, repeatability and dependability of the test results. For clarification, the significant differences are listed below:

- a) The LIM has a power factor and an electric efficiency substantially lower than those of rotary motors, because its magnetic gap length is several times that of the rotary motors. As such, the assumption made for the rotary induction motor that the primary leakage reactance is significantly less than the mutual reactance is no longer valid.
- b) The traction efficiency of a LIM does not include the mechanical transmission, typical of rotary motor propulsion.
- c) LIMs produce direct thrust between the primary and secondary without the need for mechanical contact. Therefore, there are no adhesion limits due to the rail and wheels contact of the typical rotary drive. No spin/slide controls are needed with LIMs and thus there is no need for testing of this function.
- d) LIMs produce not only thrust (which is in the longitudinal direction) but also normal and lateral forces which are effectively eliminated in the rotary induction motor, due to the symmetrical geometry of rotary motor. The normal force is either an attraction or a repulsion between the primary and secondary. The effect of these forces should be considered on deflection of primary and secondary and for their mechanical strength and rigidity, particularly as the deflection will affect the gap between primary and secondary and thereby change the LIM performance.
- e) The normal force mentioned in d) has a direct effect on the design of magnetically levitated vehicles. Depending on whether the normal force is attractive or repulsive, this force will either assist the suspension of the vehicle or oppose it. Thus testing of the LIM must ensure that the force occurs in the appropriate part of the LIM operating range.
- f) Information in Table 1 should be shared with subsystem component designers. Particular attention is drawn to the need for collaboration between the designers of the LIM and its associated converter as detailed in 5.1.

RAILWAY APPLICATIONS – ELECTRIC TRACTION – SHORT-PRIMARY TYPE LINEAR INDUCTION MOTORS (LIM) FED BY POWER CONVERTERS

1 Scope

This International standard applies to short-primary type linear induction motors (LIM) for propelling rail and road vehicles.

This standard applies to a specific configuration of LIM that has the primary mounted on either the vehicle body or trucks and a secondary that is fixed to the track and that is connected only by a magnetic field with the primary.

The object of this standard is to allow the performance of a LIM to be confirmed by tests and to provide a basis for assessment of its suitability for a specified duty.

The rating of LIMs fed in parallel by a common converter should take into account the effect on load-sharing due to differences of gap length and of LIM characteristics. The user should be informed of the maximum permissible difference in gap length for the particular application.

The electrical input to LIMs covered by this standard should come from an electronic converter.

NOTE At the time of drafting, only the following combination of LIMs and converters had been used for traction applications, but it may also apply to other combinations which may be used in the future:

- LIMs fed by voltage source converters.

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 60034-8, *Rotating electrical machines – Part 8: Terminal markings and direction of rotation*

IEC 60050-131, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 131: Circuit theory*

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-411, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 411: Rotating machinery*

IEC 60050-811, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 811: Electric traction*

IEC 60085, *Electrical insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60349-2:2010, *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 2: Electronic convertor-fed alternating current motors*

IEC 60850, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

IEC 61133:2006, *Railway applications – Rolling stock – Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service*

IEC 61373, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-131, IEC 60050-151, IEC 60050-411 and IEC 60050-811, apply, as do the following.

3.1

LIM rating

combination of simultaneous values of electrical and mechanical quantities, with their duration and sequence assigned to the LIM by the manufacturer

3.2

rated value

numerical value of any quantity included in a rating

3.3

continuous rating

mechanical output that the LIM can deliver on the test bed for an unlimited time under the conditions specified in 8.1 without exceeding the limits of temperature rise given in Table 4, all other appropriate requirements in this part also being satisfied

NOTE Several continuous ratings may be specified.

3.4

short-time rating (for example, one hour)

mechanical output that the LIM can deliver on the test bed for the stated time without exceeding the limits of temperature rise given in Table 4

NOTE The test being carried out as specified in 8.1 starting with the LIM cold, all other appropriate requirements in this part being also satisfied.

3.5

intermittent duty rating

duty cycle in which the LIM may be operated without the temperature rises exceeding the limits given in Table 4 at any point

3.6

equivalent rating

continuous rating with constant values of voltage, current and speed that, as far as temperature rise is concerned, is equivalent to the intermittent duty cycle which the LIM has to withstand in service

NOTE This rating should be agreed between user and manufacturer.

3.7

guaranteed rating

rating assigned by the manufacturer for test purposes

NOTE Normally this is continuous rating but in special cases the user and manufacturer may agree that it be a short-time or intermittent rating.

3.8

rated voltage

root-mean-square value of the fundamental component of the line-to-line voltage applied to a LIM when it is operating at a guaranteed rating

NOTE For LIMs fed directly or indirectly from a contact system, it is normally the highest voltage (excluding transients) which can be applied to the LIM when it is drawing the rated current with the contact system at its nominal voltage as defined in Annex C.

3.9

rated speed

speed at a guaranteed rating

3.10

maximum voltage

highest root-mean-square value of the fundamental component of the line-to-line supply voltage which can be applied to the LIM in service

3.11

repetitive peak voltage

peak value of the waveform of the converter output voltage, any random transient peaks arising from line voltage transients or other causes being disregarded

3.12

maximum current

maximum current shown on the specified characteristic as defined in 5.3

3.13

maximum output

maximum value of output in an operation

3.14

thrust

longitudinal accelerating or decelerating force produced when a LIM is in operation

3.15

maximum thrust

maximum value of thrust in an operation

3.16

efficiency

ratio of measured/calculated output power to measured/calculated input power

3.17

linear induction motor

LIM

type of electrical machine which operates on the same principles as the classical rotary induction motor

NOTE Similar to the rotary motor, the LIM's primary and secondary are magnetically coupled and the magnetic field from the primary induces eddy current in the secondary. This magnetic interaction produces a thrust/braking force between the primary and the secondary.

3.18

single-sided linear induction motor

SLIM

LIM whose primary exists only on one side of the secondary side

3.19

end effect

performance deterioration and three-phase asymmetry which appear in high-speed operation of an LIM due to the finite longitudinal length of primary

NOTE The primary core has finite length. The travelling magnetic field at both longitudinal ends is zero. When there is motion between the primary and secondary there is a non-uniform distribution of the flux density in the air

gap. This non-uniform magnetic flux density causes an asymmetry among three-phase currents and a reduction of thrust that increase with high speed.

3.20

transverse edge effect

phenomena caused by the finite lateral width of the primary and secondary sides

3.21

primary

the primary comprises three parts; a three-phase winding, a slotted laminated ferromagnetic core and a mechanical support structure

3.22

short primary type

short primary type has the primary installed on board the vehicle and the secondary fixed to the track or guideway; the secondary is essentially almost continuous along the track

3.23

secondary

reaction plate, reaction rail

conductor and ferromagnetic iron core distanced more than several millimetres from the primary

3.24

cladding reaction plate

method of bonding or securing the conductive reaction plate to the surface of the secondary core

3.25

secondary conductor

non-magnetic conductive reaction plate secured to the surface of the secondary ferromagnetic iron core

3.26

secondary overhangs

additional width of secondary reaction plate in comparison with primary core width

3.27

secondary supporting structure

steel fabricated structure which secures the conductive reaction plate and secondary ferromagnetic iron core to the guideway surface and provides for any adjustment

3.28

mechanical gap

physical vertical separation between the bottom surface of the primary and the top surface of the secondary

3.29

nominal gap length

mechanical gap applicable to LIM-rated performance design

3.30

magnetic gap

gap length in a magnetic circuit; the physical distance between the primary and the secondary ferro-magnetic cores

3.31**travelling magnetic field**

magnetic field produced by primary windings of a LIM, which corresponds to the rotating field in a rotary AC-machine

3.32**pole pitch** τ

longitudinal distance between two adjacent poles of the magnetic field

3.33**synchronous speed**

speed of the fundamental wave of travelling magnetic field of LIMs

$$v_s = 2f\tau \quad (\text{m/s})$$

where

f is the frequency of a power supply, i.e., primary frequency (Hz);

τ is the pole pitch (m).

3.34**slip**

difference between the synchronous speed and speed of the primary divided by the synchronous speed:

$$s = \frac{V_s - V_p}{V_s}$$

where

v_p is the primary speed (m/s).

3.35**slip frequency**

frequency of the secondary currents :

$$f_s = sf$$

3.36**normal force**

vertical force between primary and secondary and which is perpendicular to the direction of motion and to the surface of the primary

3.37**electric braking**

means of decelerating the vehicle by means of electric energy transfer

NOTE There are two different methods as described below.

3.38**regenerative braking**

braking force caused by converting mechanical power to electrical power that is returned to the electric power supply system used to power onboard vehicle electrical systems or dissipated in a braking resistor

3.39

reversing-phase braking

electric braking method produced by reversing the longitudinal direction of the magnetic field in the air-gap thereby creating a slip greater than 1 and dissipating the power in the secondary conductor as eddy currents

3.40

electromagnetic suspension

magnetic levitation method achieved by using attractive magnetic force between electromagnets onboard and ferromagnetic rails

3.41

magnetic levitation force

net vertical repulsive or attractive reactive forces generated between the LIM primary on the vehicle and the LIM secondary

3.42

magnetic lateral guidance force

net horizontal repulsive reactive forces generated between the LIM primary on the vehicle and the LIM secondary

3.43

space-harmonic analysis

electromagnetic analysis method for calculating the characteristics of a LIM

NOTE The method uses the space harmonic spectrum derived by a Fourier series representation of the current sheets produced by a periodic sequence of virtual primaries.

3.44

user

agency responsible for defining the operational requirements of the LIM and for signing the acceptance certificate

3.45

manufacturer

company responsible for validating that the LIM meets the user's performance requirements

NOTE It is possible that a number of different companies may be involved in the design, manufacture and test of the components of the LIM.

4 Environmental conditions

Unless otherwise specified by the user, the following environmental conditions apply:

- a) altitude: height above sea level not exceeding 1 200 m;
- b) temperature: air temperature in the shade not exceeding 40 °C.

Whenever LIMs are intended to operate where one or both of these limits will be exceeded, special requirements may be agreed between user and manufacturer.

Furthermore, the user shall inform the manufacturer of any particularly severe environmental condition such as dust, humidity, temperature, snow, dynamic effects, etc. to which the LIMs will be subjected.

5 Characteristics

5.1 Exchange of information

The LIM and converter designers shall collaborate to produce all the technical information necessary to ensure that the combined unit will meet the requirements of this standard.

To fulfil this requirement, the LIM designer shall provide the converter designer with all information necessary to fully evaluate the interaction between the LIM and the converter.

The converter designer shall also provide the LIM designer with the characteristics showing, for example, the converter line-to-line output voltage (including the repetitive voltage peaks), current, fundamental frequency, harmonics and power over the whole range of the application, including operation at the maximum and minimum values of the contact-system voltage.

The documents recording this exchange of information shall form an integral part of the specification of the LIM and of the converter.

NOTE 1 This requirement for the exchange of information is also included in IEC 61287-1.

NOTE 2 The length of cable run between LIM and converter and the effect on peak voltages seen at the LIM terminals should be considered.

In addition, the designer of the primary of a LIM, the designer of the secondary, the fastening device of the secondary, and the system integrator should coordinate all the necessary technical items so that the LIM fulfills the requests described in this standard.

The designer of the primary of the LIM shall supply necessary technical information to the designer of the secondary and fastening devices of the secondary, the system integrator, for sufficient investigation on interaction between the primary and the secondary.

Also the designer of the secondary shall supply all the necessary technical information to the primary and the fastening devices of the secondary and the system integrator.

Technical items transferred and requested between the manufacturer of the primary and his counterparts are shown in Table 1. The documents recording this exchange of information shall form an integral part of the specification of the LIM.

Table 1 – Technical items transferred and requested between the manufacturer of the primary and his counterparts

| Items | Manufacturer of primary | Manufacturer of secondary | Manufacturer of secondary fastening device | System integrator ^a |
|--|----------------------------|---------------------------|--|--------------------------------|
| Nominal gap length | ○ | ○ | | ■ |
| LIM type | ■ | ○ | | ○ |
| Technical data on primary | | | | |
| Technical data on secondary (type and form including its base) | ○ | ■ | ○ | ○ |
| Dimension and material of conductor | ■ | ○ | | ○ |
| Dimension and material of core | | | | |
| Maximum thrust | ■ | ○ | ○ | ○ |
| Maximum normal force | ■ | ○ | ○ | ○ |
| Distribution of the normal force | ■ | ○ | ○ | ○ |
| Maximum deflection | Primary | ■ | | ○ |
| | Secondary | | ■ | ○ |
| | Secondary fastening device | | ■ | ○ |
| Strength | Primary | ■ | | ○ |
| | Secondary | | ■ | ○ |
| | Secondary fastening device | | ■ | ○ |
| Stress of support by secondary fastening device | | ○ | ○ | ■ |
| ■ Primary information supplier. ○ Information sharer. | | | | |
| ^a System integrator may be either a system supplier or a transport authority. | | | | |

5.2 Reference temperature

All characteristics, irrespective of the class of insulation used on the LIM to which they apply, shall be drawn for a winding reference temperature of 150 °C which shall be stated in the characteristics.

5.3 Specified characteristics

LIM specifications shall, as a general rule, include characteristic curves in accordance with the relevant clauses of this standard. These curves, defined as the “specified characteristics”, shall be plotted to the designed operating limits of each variable. Unless otherwise agreed between user and manufacturer, the characteristics shall show the LIM performance at the nominal voltage of the supply system as defined in Annex C, and shall be submitted to the user before the order for the LIMs is placed.

5.4 Declared characteristics

Declared characteristics are derived from the results of type tests carried out in accordance with 8.2.1 and shall meet the requirements of 8.2.2.

Unless previously agreed, the declared characteristics of LIMs electromagnetically identical with any previously manufactured for the same user or application shall be those of the existing LIMs, in which case, the compliance with the characteristics shall be demonstrated by routine tests only.

5.5 Efficiency characteristics

Efficiency characteristics shall take into account losses arising from the harmonics in the supply from the converter.

5.6 Traction motor characteristics

The specified and declared characteristics of a traction motor shall be for the converter-supplied variable frequency characteristics, which show LIM line-to-line voltage, current, frequency, slip frequency, mean thrust and efficiency as a function of speed over the whole range of application of the LIM at the nominal gap length. Voltage curves shall show the root-mean-square value of the fundamental component. Current curves shall show the root-mean-square value of the fundamental component and the total root-mean-square value. For LIMs used in the braking mode, similar characteristics shall be produced showing the thrust input and the electrical output as a function of motor speed.

NOTE 1 The system integrator determines the nominal gap length considering tolerance of the attachment of primary and secondary, abrasion of wheel and rail, the deflection of gap length according to vibration and shocks in running.

NOTE 2 Subclause 5.1 refers to the need for the exchange of information between the designers of the LIM and of the converter.

6 Marking

6.1 Primary nameplate

All LIM primaries covered by this standard shall carry a nameplate. The nameplate will include at least the following information:

- a) manufacturer's name;
- b) primary type designation;
- c) primary serial number;
- d) year of manufacture.

Furthermore, a serial number shall be punched on the primary of every LIM. Those LIMs designed for unidirectional motion shall carry an arrow indicating the direction of motion.

NOTE 1 The primary serial number and direction arrow should be easily readable when the primary is installed in the vehicle.

Terminal and lead markings shall be in accordance with IEC 60034-8 unless otherwise agreed.

If the standard direction is not easily determined by the appearance of the LIM, it shall be indicated by the manufacturer.

NOTE 2 Example of marking for windings having 6 terminals:

- U1; U2; V1; V2; W1; W2.

6.2 Secondary marking

All LIM secondaries shall be permanently marked with an identification serial number. The marking will be placed on both sides of the support frame and have the following information:

- a) secondary type;

- b) length;
- c) manufacturer sequence number;
- d) special features.

7 Test categories

7.1 Test categories

7.1.1 General

There are three categories of tests:

- a) type tests;
- b) routine tests;
- c) investigation tests.

7.1.2 Type tests

7.1.2.1 General

Type tests are intended to prove the ratings, characteristics and performance of new types of LIM. They shall be carried out as specified in Clause 8 and on one primary of the LIM of every new design. Unless otherwise agreed, the LIM shall be one of the first ten manufactured. Where there is a change in place and/or method of manufacture, requirements of 7.1.2.3 apply.

Before testing commences, the manufacturer shall provide the user with a test specification outlining the tests to be undertaken to demonstrate compliance with this standard. Following completion of the type tests, the manufacturer shall supply the user with a full test report.

7.1.2.2 Type tests on converter supply

If each LIM is fed by its own converter, the type test shall preferably be carried out using the converter to be employed in service, but, as an alternative, a supply which closely resembles the supply from the vehicle converter in the magnitude and harmonics may be employed.

If several LIMs are fed in parallel from a single converter, the type test shall be carried out on a single primary of the LIM using a supply closely resembling the supply from the vehicle converter in magnitude and harmonic content of the waveform.

7.1.2.3 Type tests on sinusoidal supply

This test is to provide a reference for the characteristics of a LIM.

The test shall include a temperature rise test at a rating determined by the manufacturer.

Voltage, frequency, thrust, ventilation and test duration can be at the manufacturer's discretion, but the duration of the test shall be at least 1 h and at values that do not over-stress the LIM above those normally seen in service.

The test parameters shall be retained for any subsequent test on that design of LIM.

The temperature-rise measurements shall be carried out as detailed in 8.1.

7.1.2.4 Repeat type test

Subject to agreement, and to the results of both the type test on sinusoidal supply (refer to 7.1.2.3), and the routine test for the new LIM being within the tolerances established on the previous LIM's, a full type test is not required for the new LIM provided that the manufacturer

has produced a full type test report for a previous LIM of the same electromagnetic design at the same or higher rating. This also applies to repeat orders, and where there is a change of place and/or method of manufacture.

7.1.3 Routine tests

Routine tests are intended to demonstrate that the primary of a LIM has been assembled correctly, is able to withstand the appropriate dielectric tests and is in sound working order both mechanically and electrically. The tests listed in Table 2 shall be carried out on all LIM primaries.

The routine test on the secondary will demonstrate that the secondary conforms to the design configuration, meets the dimensional tolerances and other specific requirements agreed in advance by the user and manufacturer. The routine tests for the secondary are listed in Table 3. The test quantities for the secondary may be agreed between the user and manufacturer.

The routine tests specified in Clause 9 shall normally be carried out on all LIMs but, before placing an order, the user and manufacturer may agree to adopt an alternative test procedure (e.g. in the case of LIMs produced in large quantities under a strict quality assurance procedure). This may permit reduced routine testing of all LIMs or may require the full tests on a proportion of LIMs chosen at random from those produced on the order. Any such agreement shall require the dielectric tests specified in 9.1.3 to be carried out on all LIMs.

7.1.4 Investigation tests

Investigation tests are optional special tests performed to obtain additional information. They shall be carried out only if agreement between user and manufacturer has been reached before placing the order for manufacture of the LIMs. The results of these tests shall not influence acceptance of LIMs.

7.2 Summary of tests

Tables 2 and 3 list the tests required for compliance with this standard.

Table 2 – Summary of tests for the primary^a

| | Test category | | |
|---|---------------|--------------------|---------------|
| | Type | Routine | Investigation |
| Temperature rise | 8.1 | — | — |
| Short-time thermal test /heat run | 7.1.2.3 | 9.1.1 ^b | — |
| Characteristics | 8.2 | 9.1.2 | — |
| Dielectric | — | 9.1.3 | — |
| Shock and vibration | 8.3 | — | — |
| Structural tests | — | 9.1.4 | — |
| Noise | — | — | 10.2 |
| ^a All primaries, including those type tested, shall be routine tested. | | | |
| ^b Optional tests are subject to agreement between user and manufacturer. | | | |

Table 3 – Summary of tests for secondary

| Test item | Type test | Routine test | Investigation test |
|------------------------------|-----------|--------------|--------------------|
| Dimension test | — | 9.2.1 | — |
| Chemical composition test | — | 9.2.2 | — |
| Tension test | — | 9.2.3 | — |
| Bending test | — | 9.2.4 | — |
| Shear test | — | 9.2.5 | — |
| Ultrasonic flaw detection | — | 9.2.6 | — |
| Friction test | — | 9.2.7 | — |
| Electrical conductivity test | — | 9.2.8 | — |

8 Type tests

8.1 Temperature-rise tests

8.1.1 General

The tests shall be carried out at the guaranteed ratings of the primary.

In the case of continuous rating tests of primary current and frequency, the time to reach a steady temperature may be shortened by commencing the test at an increased load or reduced ventilation, provided that the rated conditions are subsequently maintained for at least 2 h or until it is demonstrated by appropriate means that steady temperatures have been reached.

The tests may be carried out without using the secondary.

NOTE Steady temperature is defined as a change in temperature of less than 2 K during the final hour of the test

8.1.2 Ventilation during temperature-rise tests

If cooling is by forced ventilation, the static pressure and the airflow specified by the manufacturer shall be used for testing.

In general, no cooling corresponding to that produced by the movement of the vehicle shall be provided but, where this cooling is particularly important, it may be provided subject to agreement between user and manufacturer.

8.1.3 Measurement of temperature

The temperature shall be measured in accordance with Annex A.

8.1.4 Judgement of results

The temperature rises of the windings at the “commencement of cooling” as defined in Annex A, and shall not exceed the values given in Table 4.

8.1.5 Limits of temperature rise

The different thermal classes of insulation systems are defined in IEC 60085.

Table 4 gives the permissible limits of temperature rise above the temperature of the cooling air, measured on the test bed, for windings and other parts insulated with materials of the thermal classes presently used in the construction of LIMs to which this part applies.

If different parts of the same primary have different thermal classes of insulation, the temperature-rise limit of each part shall be that of its individual thermal class.

Table 4 – Limits of temperature rise for continuous and other ratings

| Part | Method of measurement | Thermal class of insulation system | | | | | |
|------------------|-----------------------|------------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | 130(B) | 155(F) | 180(H) | 200 | 220 | 250 |
| Primary windings | Resistance | 130 K | 155 K | 180 K | 200 K | 220 K | 250 K |

Where the primaries are directly or indirectly exposed to the heat from an engine or from any other source, the adoption of temperature rises lower than those specified in Table 4 may be agreed between user and manufacturer.

8.2 Characteristic tests and tolerances

8.2.1 General

8.2.1.1 Test methods for LIMs

As it is more difficult to perform characteristic tests on LIMs than for a rotary induction machine, characteristics shall be checked by one of following special methods.

- a) rotary test facility of a LIM;
- b) electromagnetic force analysis method;
- c) dynamic thrust test with vehicle;
- d) vehicle dynamic test.

In the case of c) and d), the system integrator shall provide vehicles.

8.2.1.2 Rotary test facility of LIM

For verifying the design of a LIM, running tests may be requested, but it is difficult to execute dynamic testing of a LIM itself. For such cases, a special rotary test machine, whose primary length is approximately same as the investigated LIM, is often used. General technical information and examples are described in Annex B.

8.2.1.3 Electromagnetic force analysis method

8.2.1.3.1 Standstill test

The primary and secondary are fixed by keeping the nominal gap length between them. Then, a sinusoidal nominal voltage with nominal frequency is applied to the primary windings. The thrust and normal force are measured. The supporting structure shall be designed so that the interference from the deflection of this structure to the force measurements can be minimized. The surface temperature of the secondary conductor shall be measured and recorded. A manufacturer shall determine the nominal voltage, frequency, thrust, normal force and their margins, and shall inform the user before the type test. This test of the first machine for a specific new design is recommended, but the availability of the test depends on agreement between user and manufacturer.

8.2.1.3.2 Electromagnetic force analysis

If a test run of a LIM unit is not feasible, measurement of speed characteristics, which is normally carried out on rotating machines, may be replaced by the results of calculation by a program for electromagnetic characteristics.

It shall be confirmed that the results of calculation of characteristics as in 8.2.1 shall not vary by more than 10 % in the range up to the rated speed, i.e. the area of V/F-constant operation by comparison with the test values of speed characteristics in relation to the speed and thrust of at least one utility-scale LIM, e.g., a rotary test facility described in 8.2.1.1.

NOTE The program for calculating electromagnetic characteristics should be on the basis of Maxwell's equations, taking longitudinal end-effects into account with correction of secondary conductivity concerning transverse edge effects.

The tests described in 8.2.1.3.1 and 8.2.1.3.2 are both required.

8.2.1.4 Dynamic thrust test with vehicle

The LIM primary is installed on a vehicle and dynamically tested on a track with the appropriate secondary.

Dynamic thrust is determined directly by instrumentation or observed from the acceleration measurements. Corrections are made for vehicle weight, grade, rolling resistance and line voltage.

The dynamic thrust test may be replaced by an acceleration test.

8.2.1.5 Vehicle dynamic test

Refer to 9.2.1 of IEC 61133:2006.

The test shall be conducted at the nominal gap length within measurement tolerance. The nominal gap length shall be confirmed by measurement prior to starting dynamic tests.

8.2.2 Tolerances

The thrust at the breakpoint shall be between –5 % and +15 % of the specified value for the rated conditions.

The manufacturer shall present confirmation data to the user.

The temperature rise from the sinusoidal supply type test (see 7.1.2.3) where applicable, shall not vary by more than ± 12 % or ± 15 K, whichever is the highest, from the original type test.

8.3 Shock and vibration tests

Shock and vibration tests are subject to IEC 61373. This test can be omitted or the conditions of the test can be amended by agreement between user and manufacturer.

NOTE For a Maglev, which is free from rolling motion of wheels, reduced conditions of these tests may be used.

9 Routine tests

9.1 Routine tests of primary

9.1.1 General

Routine tests shall be carried out using a sinusoidal supply at power frequency or at a frequency used in service.

The frequencies used for different tests need not be the same but, once established, they shall not be changed. The declared values for the test points shall be the average of the tests on four primaries, one of which shall be the primary which has been type-tested. In order to reduce the effect of temperature variations, the tests shall be carried out in the same

sequence on all primaries. Efficiency measurements are not required nor are tests in the braking mode.

To confirm consistency within a series, the sinusoidal temperature rise type test (see 7.1.2.3) may be undertaken at intervals throughout the series, either randomly or at set intervals with agreement between user and manufacturer. The tolerances are as defined in 8.2.2.

9.1.2 Characteristic tests and tolerance

9.1.2.1 General

If a test run of a primary unit is not feasible, routine characteristic tests may be replaced by the following measurements.

9.1.2.2 Resistance measurement of primary winding

The resistance of the primary winding is calculated from the resistance values measured between each terminals of a LIM at arbitrary ambient temperature by the following formula:

$$r_1 = \frac{R_1}{2} \times \frac{235 + 150}{235 + t}$$

where

r_1 is the resistance per phase of the primary winding at 150 °C;

R_1 is the mean value of the resistance values measured between each terminals of the primary winding;

t is the ambient temperature at the time of resistance measurement.

When R_1 is measured with the current fall-of-potential method, the current for measurement shall be 10 % to 20 % of continuous rating current.

The standard value of resistance of the primary winding shall be the mean value of four LIMs, one of which has been type-tested.

NOTE For materials other than copper, the value 235 in the above formula should be replaced with the reciprocal of the temperature coefficient of resistance at 0 °C for the material.

9.1.2.2.1 Tolerances

Resistance of the primary winding shall not exceed the standard value obtained from the measurements in 9.1.2.2 by more than ± 5 %.

9.1.2.3 Measurement of impedance

With the secondary not fitted, impedance shall be calculated from the current, voltage and power factor measured with a sinusoidal current applied to the primary terminals at the commercial frequency or the frequency to be used in service. The frequency and number of phases, once used, shall not be changed.

The standard value of impedance shall be the mean value of four primaries, one of which has been type tested.

9.1.3 Dielectric tests

The tests shall normally be carried out using a.c. of near sinusoidal waveform and a frequency between 25 Hz and 100 Hz, but d.c. testing may be employed if agreed between user and manufacturer before placing an order.

The test voltage shall be applied in turn between the windings and the frame (primary iron core). The full value of the voltage shall be applied only to new LIMs with all their parts in place as under normal working conditions. The test shall be carried out with the hot LIM immediately after completion of the routine tests specified in the preceding clauses.

The test voltage shall be the highest of the values listed in Table 5 for the chosen test method and shall be applied gradually, commencing at not more than one-third of the final value. When reached, this final value shall be maintained for 60 s.

Table 5 – Dielectric test voltages

| Winding | Test voltage V | |
|---|-------------------|--|
| All windings | AC tests | $2 \times U_{dc} + 1\,000$ or $2 \times U_{rp} / \sqrt{2} + 1\,000$ or $U_{rpb} / \sqrt{2} + 1\,000$ |
| | DC tests | $3,4 \times U_{dc} + 1\,700$ or $2,4 \times U_{rp} + 1\,700$ or $1,2 \times U_{rpb} + 1\,700$ |
| U_{dc} is the highest mean voltage to earth which can be applied to the d.c. link when the contact system is at its maximum voltage and the machine is motoring. U_{rp} is the maximum repetitive peak voltage to earth which can be applied to the machine winding when the contact system is at its maximum voltage and the machine is motoring. (Repetitive peak voltage is defined in 3.11.) U_{rpb} is the maximum repetitive peak voltage to earth which can appear on the winding when the machine is braking. | | |

If neither the d.c. link nor the motor windings are normally earth referenced, then U_{dc} and U_{rp} shall be taken as the highest voltages to earth that can appear on their respective circuits, should any point on them become connected to earth.

9.1.4 Structural tests

9.1.4.1 Dimensions and appearance

Structural checks shall be performed by dimensions measurements using the drawing agreed between user and manufacturer. The acceptance criteria shall be based on agreement between user and manufacturer.

9.1.4.2 Flatness measurement

Flatness of the surface of the primary core, facing the secondary conductor, of the LIM shall be measured. This may be replaced by measurement of geometric tolerance based on the drawing agreed between user and manufacturer.

9.2 Routine tests of secondary

9.2.1 Dimension test

The thickness of the secondary conductor, thickness and width of secondary core, the height, the length, the longitudinal level, maximum camber, width, flatness, planarity of the complete reaction plate in combination of the secondary conductor and core shall be measured. They can be substituted by the measurement of geometrical tolerance based on drawings agreed between user and manufacturer.

9.2.2 Chemical composition test

Tests of chemical composition for the secondary conductor and secondary iron shall be executed. In addition, the material strength analysis shall be completed on the secondary supporting structure and fastener systems to ensure acceptable deflection and fatigue resistance characteristics. The tests can be substituted by the submission of material certification documents. These procedures shall be the confirmation that the materials of the secondary side fulfil the requests from the supplier of the primary side.

9.2.3 Tension test

The tensile strength of the ferromagnetic and conductive materials for the secondary side shall be measured. The test can be substituted by the submission of the material certification document or by analysis.

9.2.4 Bending test

The bending strength of the ferromagnetic and base materials for the secondary reaction plate shall be measured. The test can be substituted by the submission of the material certification document or by analysis.

9.2.5 Shear test

Strength in shear of the secondary conductor and the secondary core shall be measured if the reaction plate consists of clad material in conductor and ferromagnetic materials. Fastener strength shall be measured if the reaction plate is mechanically connected. This test can be substituted by analysis.

9.2.6 Ultrasonic flaw detection

The joint condition between the secondary conductor and the core shall be checked by an ultrasonic flaw detector. This test is applied to clad-type reaction plates.

9.2.7 Friction test

The dash friction force is measured by the force needed to draw the secondary conductor plate over the secondary iron, where the secondary core or the base is fixed, and the joint strength between the secondary conductor and the core is checked. This test is applied to mechanically jointed reaction plates. The acceptable friction force can also be determined by analysis.

9.2.8 Electrical conductivity test

Electrical conductivity of the secondary conductor shall be measured and the result shall be within the range agreed by the system integrator and the primary designer, if appropriate.

10 Investigation tests

10.1 General

Investigation tests are optional special tests performed to obtain additional information, as defined in detail in 7.1.4.

10.2 Noise test

Fundamentally, a noise test for the LIM primary is not necessary. If there are specific technical reasons for the necessity of a noise test, the methods of measurement shall be determined in agreement between user and manufacturer. The detailed informative description for rotary traction motors as well as the fundamental philosophy is set out in Annex C of IEC 60349-2:2010. The fundamental philosophy of the system noise test is described in 8.19 of IEC 61133:2006.

Annex A (normative)

Measurement of temperature

A.1 Temperature of LIM parts

The temperature of insulated windings shall be measured by the resistance method.

No correction shall be made to the measured temperature rises if the temperature of the cooling air is between 10 °C and 40 °C during the test.

If the cooling air temperature is outside these limits during a type test, a correction to the measured temperature rises may be agreed between user and manufacturer.

Before starting a short-time test, it shall be confirmed, by either thermometer or resistance measurements that the temperatures of the windings are within 4 K of the temperature of the cooling air. When calculating the winding temperature rises, any such difference in initial temperature up to 4 K shall be subtracted from the result if the winding is the hotter or added to it if it is the cooler.

Resistance method

In this method, the temperature rise of a winding is determined by its increase in resistance during the test.

For copper windings, the temperature rise at the end of a test is determined by the following formula:

$$\text{temperature rise} = t_2 - t_a = \frac{R_2}{R_1} (235 + t_1) - (235 + t_a)$$

where

t_1 is the initial temperature of the winding in Celsius;

R_1 is the resistance of the winding at temperature t_1 ;

t_2 is the temperature of the winding at the end of the test in Celsius;

R_2 is the resistance of the winding at the end of the test;

t_a is the temperature of the cooling air at the end of the test in Celsius.

NOTE For materials other than copper, the value 235 in the above formula should be replaced with the reciprocal of the temperature coefficient of resistance at 0 °C for the material.

A.2 Cooling air temperature

For forced ventilation, the temperature of the cooling air shall be as measured at its entry to the LIM and, in the case of more than one entry point, this temperature shall be the average of the measurements at each of the points.

The thermometers shall be protected from radiated heat and draughts so that they record the true temperature of the air entering the LIM and around it. In order to avoid errors due to variations in the temperature of the cooling air, all reasonable precautions shall be taken to keep such variations to a minimum.

The temperature of the cooling air at the end of a test shall be the average of the measurements taken at approximately 15 min intervals during the last hour of a continuous rating test or throughout the duration or short-time test.

A.3 Measurement of resistance

A.3.1 Initial cold resistance

The initial cold resistance measurement shall be carried out using the same instruments as for subsequent hot measurements but the measurement need not be repeated at the beginning of each test. The temperatures of the windings shall be taken as their surface temperature as recorded by thermometer at the time of the resistance measurement and shall not differ from the temperature of the ambient air at that time by more than 4 K.

A.3.2 Hot resistance

Hot resistance shall be measured as soon as possible after stopping the LIM at the end of the test. Measurement may be made using the voltmeter and ammeter method (volt-ampere method), by means of a bridge or other suitable means. The same method shall be employed for all readings on a given winding, including the initial cold one.

If the voltmeter and ammeter method is used the current shall be high enough to give the necessary accuracy, without itself influencing the temperature rise. (In general, a value not exceeding 10 % of the rated current will meet the latter requirement.)

A.4 Estimation of primary temperature

A.4.1 “Commencement of cooling” time

At the end of a test, the main circuits are opened immediately, any separate ventilation being cut off at this instant.

A.4.2 Hot resistance measurement and extrapolation of the cooling and heating curves time

Resistance measurements of each winding shall commence not later than 45 s after the “commencement of cooling” and shall be continued for at least 5 min.

The time between successive measurements on each winding shall not exceed 20 s during the first 3 min and 30 s thereafter.

The temperature rises calculated from these readings shall be plotted as a function of time using a logarithmic scale for temperature and a linear scale for time. The resulting curve shall be extrapolated to the time of “commencement of cooling” to give the temperature rise at the end of the test.

Annex B (informative)

Test method using a rotary test facility of a LIM

B.1 General

A rotary test facility consists of an arch-formed primary whose arch-length is equal to the primary iron length of the primary side of a tested LIM, and rotatable drum of secondary reaction plate, between which the nominal gap length is kept constant.

The diameter of the rotor shall be sufficiently larger than the pole pitch of the primary to ensure that there is no interference by the residual eddy currents induced in the rotor by the trailing end of the primary magnetic field on the entry end field of the primary.

An example of the facility is shown in Figure B.1.

Tests to demonstrate compliance with the specified characteristics shall be carried out by measuring the electrical input to the arch-formed primary side and the mechanical output from the rotating secondary side. The output may either be measured directly or be calculated from the measured output of a driven electrical machine of known efficiency.

Load tests shall be carried out at approximately the reference temperature to which the results shall be corrected if the correction is significant. Sufficient test readings shall be taken to enable the declared characteristics of the LIM to be plotted.

The electrical input to the converter shall be measured by an agreed method, but it shall not influence the acceptance of the LIM.

The test shall be carried out in only one direction of rotation.

The instruments used to measure the complex waveforms of the input to the arch-formed primary shall indicate the value of the current, voltage and power with sufficient accuracy to enable compliance with the specified tolerances to be demonstrated.

B.2 Thrust

The thrust shall be calculated from the measured value of the torque of the rotating axis of the drum of the secondary reaction plate. The operating speeds for measuring the thrust are decided in agreement between user and manufacturer, but the thrust measurement at rated speed, i.e., the speed at which the applied primary voltage is equal to the rated voltage, is mandatory.

B.3 Normal force

The normal force of the arch-formed LIM primary is measured by stress gauges attached to the support between fixed frame and suspended table supporting the arch-formed primary side of the LIM.

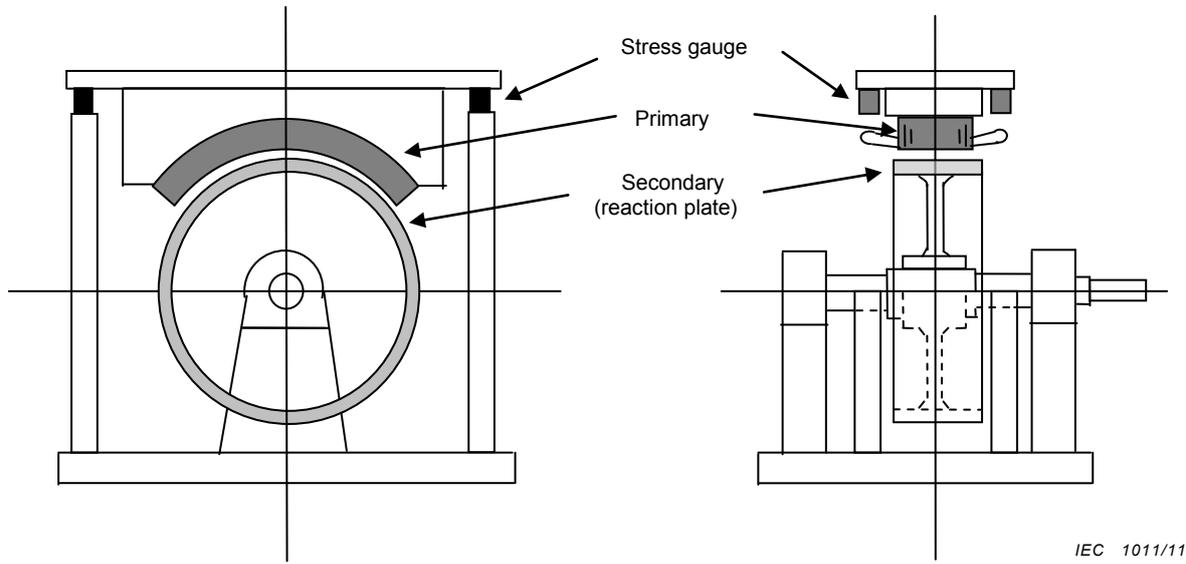


Figure B.1 – Rotary test facility for LIM

Annex C (normative)

Supply voltages of traction systems

The nominal, lowest and highest voltages of the traction supply system shall be specified by the user. They should preferably be the standard values which have been adopted in IEC 60850.

The nominal voltage is the basis of LIM ratings and characteristics and for the calculation of vehicle performance.

Performance at other than nominal voltage may vary inherently or may be controlled to reduce such a variation, but the holding of constant performance over a wide range of system voltage is not generally desirable.

Annex D
(normative)

Agreement between user and manufacturer

D.1 Special requirements of the user to be specified and agreed with the manufacturer

| Clause | Subject |
|---------|--|
| 4 | Exceptional environmental conditions |
| 5.3 | Voltage of the specified characteristics |
| 7.1.3 | Test quantities for the secondary |
| 7.1.4 | Investigation tests |
| Annex C | Supply voltage values |

D.2 Special requirements of the manufacturer to be specified and agreed with the user

| Clause | Subject |
|---------|---|
| 5.4 | Declared characteristics different from an existing one |
| 7.1.2.4 | Exemption from or reduction of type test |
| 7.1.3 | Alternative routine test procedure |
| 8.1.2 | Special external cooling arrangements |

D.3 Special requirements of the manufacturer to be specified and agreed with the system integrator

| Clause | Subject |
|--------|------------------------------|
| 8.2.1 | Characteristics check method |

D.4 Other special requirements which may be subject to an agreement between user and manufacturer

| Clause | Subject |
|---------|---|
| 6.1 | Terminal and lead markings not in accordance with IEC 60034-8 |
| 8.1.5 | Limits of temperature rise |
| 9.1.1 | Additional sinusoidal thermal test |
| 9.1.3 | Use of d.c. for dielectric tests |
| 9.1.4.1 | Acceptance criteria of structural check |

Bibliography

IEC 60034-5, *Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification*

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

IEC 61260, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters*

IEC 61287-1, *Railway applications – Power convertors installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

IEC 61377-1, *Railway applications – Rolling stock – Part 1: Combined testing of inverter-fed alternating current motors and their control system*

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| AVANT-PROPOS..... | 34 |
| INTRODUCTION..... | 36 |
| 1 Domaine d'application | 37 |
| 2 Références normatives..... | 37 |
| 3 Termes et définitions | 38 |
| 4 Conditions d'environnement | 42 |
| 5 Caractéristiques | 43 |
| 5.1 Echange d'informations | 43 |
| 5.2 Température de référence | 44 |
| 5.3 Caractéristiques spécifiées..... | 44 |
| 5.4 Caractéristiques de base..... | 45 |
| 5.5 Caractéristiques de rendement..... | 45 |
| 5.6 Caractéristiques des moteurs de traction..... | 45 |
| 6 Marquage | 45 |
| 6.1 Plaque signalétique du primaire | 45 |
| 6.2 Marquage de secondaire | 46 |
| 7 Catégories d'essais | 46 |
| 7.1 Catégories d'essais..... | 46 |
| 7.1.1 Généralités..... | 46 |
| 7.1.2 Essais de type | 46 |
| 7.1.3 Essais de série | 47 |
| 7.1.4 Essais d'investigation | 47 |
| 7.2 Résumé des essais | 47 |
| 8 Essais de type..... | 48 |
| 8.1 Essais d'échauffement | 48 |
| 8.1.1 Généralités..... | 48 |
| 8.1.2 Ventilation pendant les essais d'échauffement..... | 48 |
| 8.1.3 Mesure de la température..... | 49 |
| 8.1.4 Appréciation des résultats | 49 |
| 8.1.5 Limites d'échauffement..... | 49 |
| 8.2 Essais de caractéristiques et tolérances..... | 49 |
| 8.2.1 Généralités..... | 49 |
| 8.2.2 Tolérances | 51 |
| 8.3 Essais de choc et de vibration | 51 |
| 9 Essais de série..... | 51 |
| 9.1 Essais de série de primaire | 51 |
| 9.1.1 Généralités..... | 51 |
| 9.1.2 Essais de caractéristiques et tolérances..... | 51 |
| 9.1.3 Essais diélectriques..... | 52 |
| 9.1.4 Essais de structure | 53 |
| 9.2 Essais de série du secondaire..... | 53 |
| 9.2.1 Essai de dimensions..... | 53 |
| 9.2.2 Essai de composition chimique..... | 54 |
| 9.2.3 Essai de traction..... | 54 |
| 9.2.4 Essai de flexion | 54 |

| | | |
|------------------------|---|----|
| 9.2.5 | Essai de cisaillement | 54 |
| 9.2.6 | Détection de défaut par ultrasons | 54 |
| 9.2.7 | Essai de frottement | 54 |
| 9.2.8 | Essai de conductivité électrique..... | 54 |
| 10 | Essais d'investigation | 54 |
| 10.1 | Généralités..... | 54 |
| 10.2 | Essai de bruit | 54 |
| Annexe A (normative) | Mesure de la température | 56 |
| Annexe B (informative) | Méthode d'essai utilisant une installation d'essai rotative d'un LIM .. | 58 |
| Annexe C (normative) | Tensions d'alimentation des réseaux de traction | 60 |
| Annexe D (normative) | Accord entre exploitant et constructeur | 61 |
| Bibliographie..... | | 62 |
| Figure B.1 – | Installation d'essai rotative pour LIM..... | 59 |
| Tableau 1 – | Eléments techniques transférés et demandés entre le constructeur du primaire et ses homologues | 44 |
| Tableau 2 – | Résumé des essais pour le primaire | 48 |
| Tableau 3 – | Résumé des essais pour le secondaire..... | 48 |
| Tableau 4 – | Limites d'échauffement pour les régimes continus ou autres régimes assignés | 49 |
| Tableau 5 – | Tensions d'essais diélectriques | 53 |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPLICATIONS FERROVIAIRES – TRACTION ÉLECTRIQUE – MOTEURS À INDUCTION LINÉAIRES (LIM) DU TYPE À PRIMAIRE COURT ALIMENTÉS PAR DES CONVERTISSEURS DE PUISSANCE

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 Norme internationale CEI 62520 a été établie par le comité d'études 9 de la CEI: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 9/1531/FDIS | 9/1544/RVD |

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

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

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

La présente Norme internationale est introduite parce qu'il existe des différences importantes entre le moteur à induction rotatif et le moteur à induction linéaire (LIM). Ces différences nécessitent une norme d'essais différente pour garantir la cohérence, la fidélité et la fiabilité des résultats des essais. À des fins de clarification, les différences importantes sont énumérées ci-dessous:

- a) Le LIM a un facteur de puissance et un rendement électrique sensiblement inférieurs à ceux des moteurs rotatifs parce que sa longueur d'espace est plusieurs fois supérieure à celle des moteurs rotatifs. A ce titre, la supposition faite pour le moteur à induction rotatif selon laquelle la réactance de fuite du primaire est nettement inférieure à la réactance mutuelle, n'est plus valable.
- b) Le rendement de traction d'un LIM ne comprend pas la transmission mécanique, qui caractérise cependant la propulsion par moteur rotatif.
- c) Les LIM produisent une poussée directe entre le primaire et le secondaire sans qu'il soit nécessaire d'avoir un contact mécanique. Par conséquent, il n'y a pas de limites d'adhérence dues au contact du rail et des roues de l'entraînement rotatif type. Aucune commande de rotation/de coulissement n'est nécessaire avec les LIM et ainsi il n'est pas nécessaire de réaliser des essais de cette fonction.
- d) Les LIM produisent non seulement une poussée (qui est dans la direction longitudinale), mais également des forces normale et latérale qui sont éliminées efficacement dans le moteur à induction rotatif du fait de la géométrie symétrique du moteur rotatif. La force normale est soit une attraction, soit une répulsion entre le primaire et le secondaire. Il convient que l'effet de ces forces sur la déflexion du primaire et du secondaire soit pris en compte pour déterminer leur résistance mécanique et leur rigidité, particulièrement du fait que la déflexion affectera l'entrefer entre le primaire et le secondaire et modifiera de ce fait les performances du LIM.
- e) La force normale mentionnée en d) a un effet direct sur la conception des véhicules à sustentation magnétique. Selon que la force normale est attractive ou répulsive, cette force contribuera à la suspension du véhicule ou s'opposera à celle-ci. Ainsi, les essais du LIM doivent garantir que la force se trouve dans la partie appropriée de la plage de fonctionnement du LIM.
- f) Il convient que les informations contenues dans le Tableau 1 soient partagées avec les concepteurs des composants des sous-systèmes. L'attention est particulièrement attirée sur la nécessité d'une collaboration entre les concepteurs du LIM et de son convertisseur associé tel que détaillé en 5.1.

APPLICATIONS FERROVIAIRES – TRACTION ÉLECTRIQUE – MOTEURS À INDUCTION LINÉAIRES (LIM) DU TYPE À PRIMAIRE COURT ALIMENTÉS PAR DES CONVERTISSEURS DE PUISSANCE

1 Domaine d'application

Cette Norme internationale s'applique aux moteurs à induction linéaires (LIM)¹ de type à primaire court pour propulser des véhicules ferroviaires et routiers.

La présente norme s'applique à une configuration spécifique de LIM dont le primaire est monté soit sur la carrosserie du véhicule, soit sur des wagons, et qui a un secondaire fixé à la voie et qui n'est connecté au primaire que par un champ magnétique.

La présente norme a pour objet de permettre la confirmation des performances d'un LIM par des essais et de fournir une base d'évaluation de son aptitude à assurer un service spécifié.

Il convient que les caractéristiques assignées des LIM alimentés en parallèle par un convertisseur commun prennent en compte l'effet sur le partage des charges des différences de longueur d'espace et des caractéristiques du LIM. Il convient que l'exploitant soit informé de la différence de longueur d'espace maximum autorisée pour l'application particulière.

Il convient que l'alimentation électrique appliquée aux LIM couverts par la présente norme provienne d'un convertisseur électronique.

NOTE Au moment de la rédaction, seule la combinaison suivante de LIM et de convertisseurs a été utilisée pour des applications de traction, mais il est possible que la norme s'applique à d'autres combinaisons qui pourraient être utilisées à l'avenir:

- LIM alimentés par des convertisseurs source de tension.

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 60034-8, *Machines électriques tournantes – Partie 8: Marques d'extrémités et sens de rotation*

CEI 60050-131, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 131: Théorie des circuits*

CEI 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050-411, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 411: Machines tournantes*

CEI 60050-811, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 811: Traction électrique*

CEI 60085, *Isolation électrique – Evaluation et désignation thermiques*

¹ LIM en anglais: linear induction motor.

CEI 60349-2 :2010, *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers – Partie 2: Moteurs à courant alternatif alimentés par convertisseurs électroniques*

CEI 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

CEI 61133:2006, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de matériel roulant après achèvement et avant mise en service*

CEI 61373, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions données dans la CEI 60050-131, la CEI 60050-151, la CEI 60050-411 et la CEI 60050-811, ainsi que les suivantes s'appliquent.

3.1

régime assigné d'un LIM

ensemble des valeurs simultanées des grandeurs électriques et mécaniques, associées à leur durée et à leur ordre de succession, attribuées au LIM par le constructeur

3.2

valeur assignée

valeur numérique de toute grandeur mentionnée dans un régime assigné

3.3

régime continu assigné

puissance mécanique que le LIM peut délivrer au banc d'essai pour une durée illimitée, dans les conditions spécifiées en 8.1 sans dépasser les limites d'échauffement spécifiées données au Tableau 4, toutes les autres exigences de la présente partie étant également satisfaites

NOTE Plusieurs régimes continus assignés peuvent être spécifiés.

3.4

régime de courte durée assigné (par exemple une heure)

puissance mécanique que le LIM peut délivrer au banc d'essai pendant la durée fixée, sans dépasser les limites d'échauffement données au Tableau 4

NOTE L'essai étant effectué dans les conditions spécifiées en 8.1 avec le LIM froid au démarrage, toutes les autres exigences de la présente partie étant également satisfaites.

3.5

régime intermittent assigné

cycle de charge pour lequel le LIM peut fonctionner sans que l'échauffement d'aucun point ne dépasse les limites données au Tableau 4

3.6

régime assigné équivalent

régime continu assigné caractérisé par des valeurs constantes de la tension, du courant et de la vitesse, et considéré, du point de vue échauffement, comme équivalent au cycle de charge intermittent que le LIM doit supporter en service

NOTE Il convient que ce régime assigné fasse l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

3.7

régime garanti assigné

régime assigné garanti par le constructeur pour les besoins des essais

NOTE Normalement le régime continu assigné mais, dans des cas spéciaux, un régime de courte durée ou un régime intermittent assigné peuvent être utilisés comme régime garanti assigné après accord entre exploitant et constructeur.

3.8

tension assignée

valeur efficace de la composante fondamentale de la tension appliquée entre phases du LIM lorsqu'il fonctionne à un régime garanti assigné

NOTE Pour les LIM alimentés directement ou indirectement à partir d'une ligne de contact, la tension assignée est en général la tension la plus élevée (en excluant les transitoires) qui peut être appliquée au LIM quand il prélève son courant assigné, sous la tension nominale de la ligne de contact, comme elle est définie dans l'Annexe C.

3.9

vitesse assignée

vitesse à un régime garanti assigné

3.10

tension maximale

plus grande valeur efficace de la composante fondamentale de la tension entre phases de l'alimentation que le LIM est appelé à supporter en service

3.11

tension de crête répétitive

valeur de crête de la tension de sortie du convertisseur, sans prendre en considération les crêtes aléatoires provenant de la tension de la ligne ou de toute autre cause

3.12

courant maximal

valeur maximale du courant porté sur la caractéristique spécifiée telle qu'elle est définie en 5.3

3.13

sortie maximale

valeur maximale de sortie en service

3.14

poussée

force longitudinale d'accélération ou de décélération produite lorsqu'un LIM est en service

3.15

poussée maximale

valeur maximale de la poussée en service

3.16

rendement

rapport entre la puissance de sortie mesurée/calculée et la puissance d'entrée mesurée/calculée

3.17

moteur à induction linéaire

LIM

type de machine électrique qui fonctionne sur les mêmes principes que le moteur à induction rotatif classique

NOTE De manière similaire au moteur rotatif, le primaire et le secondaire du LIM sont couplés magnétiquement et le champ magnétique provenant du primaire induit un courant de Foucault dans le secondaire. Cette interaction magnétique produit une force de poussée/freinage entre le primaire et le secondaire.

3.18

moteur linéaire à simple inducteur

SLIM²

LIM dont le primaire n'existe que d'un seul côté du côté secondaire

3.19

effet d'extrémité

détérioration de la performance et asymétrie des trois-phasés qui apparaît pendant le fonctionnement à grande vitesse d'un LIM, ceci étant dû à la longueur finie longitudinale du noyau

NOTE Le noyau du primaire a une longueur finie. Le champ magnétique glissant aux deux extrémités longitudinales est nul. Lorsqu'il y a un mouvement entre le primaire et le secondaire, il y a une distribution non uniforme de la densité de flux dans l'entrefer. Cette densité de flux magnétique non uniforme entraîne une asymétrie parmi les courants triphasés et une réduction de poussée qui augmentent à grande vitesse

3.20

effet de bord transversal

phénomène dû à la largeur latérale finie des côtés primaire et secondaire

3.21

primaire

le primaire comprend trois parties: un enroulement triphasé, un noyau ferromagnétique feuilleté à encoches et une structure de support mécanique

3.22

type à primaire court

dans le type à primaire court, le primaire est installé à bord du véhicule et le secondaire est fixé à la voie ou aux dispositifs de guidage; le secondaire est essentiellement presque continu le long de la voie

3.23

secondaire

plateau de réaction, rail de réaction

conducteur et noyau en fer ferromagnétique éloignés de plusieurs millimètres du primaire

3.24

plateau de réaction de gainage

méthode de liaison ou de fixation du plateau de réaction conducteur à la surface du noyau du secondaire

3.25

conducteur de secondaire

plateau de réaction conducteur non magnétique fixé à la surface du noyau en fer ferromagnétique du secondaire

3.26

surlargeur du secondaire

largeur supplémentaire du plateau de réaction du secondaire comparée à la largeur du noyau du primaire

3.27

structure de support du secondaire

structure fabriquée en acier qui fixe le plateau de réaction conducteur et le noyau en fer ferromagnétique du secondaire à la surface du dispositif de guidage et qui permet tout ajustement

² SLIM en anglais: *single-sided linear induction motor*.

3.28**espace mécanique**

séparation verticale physique entre la surface inférieure du primaire et la surface supérieure du secondaire

3.29**longueur d'espace nominale**

espace mécanique applicable à la conception de performances assignées de LIM

3.30**entrefer magnétique**

longueur d'espace dans un circuit magnétique; la distance physique entre les noyaux ferromagnétiques du primaire et du secondaire

3.31**champ magnétique glissant**

champ magnétique produit par les enroulements primaires d'un LIM, qui correspond au champ tournant dans une machine tournante alternative

3.32**pas polaire**
 τ

distance longitudinale entre deux pôles adjacents du champ magnétique

3.33**vitesse synchrone**

vitesse de l'onde fondamentale de champ magnétique glissant des LIM

$$v_s = 2f\tau \quad (\text{m/s})$$

où

f est la fréquence d'une alimentation, c'est-à-dire, fréquence du primaire (Hz) ;

τ est le pas polaire (m).

3.34**glissement**

différence entre la vitesse synchrone et la vitesse du primaire divisée par la vitesse synchrone:

$$s = \frac{V_s - V_p}{V_s}$$

où

v_p est la vitesse du primaire (m/s)

3.35**fréquence de glissement**

fréquence des courants du secondaire

$$f_s = sf$$

3.36**force normale**

force verticale entre le primaire et le secondaire et qui est perpendiculaire à la direction de mouvement et à la surface du primaire

3.37

freinage électrique

moyen de décélérer le véhicule par transfert d'énergie électrique

NOTE Il existe, comme décrit ci-dessous, deux méthodes différentes.

3.38

freinage par récupération

force de freinage générée en convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique qui est renvoyée au système d'alimentation en énergie électrique utilisée pour alimenter les circuits électriques à bord des véhicules ou dissipée dans une résistance de freinage

3.39

freinage par inversion de phase

méthode de freinage électrique produite en inversant la direction longitudinale du champ magnétique dans l'entrefer, créant de ce fait un glissement supérieur à 1 et dissipant l'énergie dans le conducteur du secondaire en tant que courants de Foucault

3.40

suspension électromagnétique

méthode de sustentation magnétique obtenue en utilisant la force magnétique d'attraction entre les électroaimants embarqués et les rails ferromagnétiques

3.41

force de sustentation magnétique

forces de réaction verticales de répulsion ou d'attraction nettes générées entre le primaire du LIM sur le véhicule et le secondaire du LIM

3.42

force de guidage latérale magnétique

forces de réaction de répulsion horizontales nettes générées entre le primaire du LIM sur le véhicule et le secondaire du LIM

3.43

analyse d'harmoniques spatiales

méthode d'analyse électromagnétique pour calculer les caractéristiques d'un LIM

NOTE La méthode utilise le spectre d'harmoniques spatiales déduit par une représentation en série de Fourier des couches de courant produites par une séquence périodique de primaires virtuels.

3.44

exploitant

agence chargée de la définition des exigences opérationnelles du LIM et de la signature du certificat de réception

3.45

constructeur

société chargée de la validation du fait que le LIM satisfait aux exigences de performance de l'exploitant

NOTE Il est possible qu'un certain nombre de sociétés différentes soient impliquées dans la conception, la fabrication et l'essai des composants du LIM.

4 Conditions d'environnement

Sauf spécification contraire de l'exploitant, les conditions d'environnement suivantes s'appliquent:

- a) altitude: altitude au-dessus du niveau de la mer ne dépassant pas 1 200 m;

b) température: température de l'air à l'ombre ne dépassant pas 40 °C.

Si les LIM sont appelés à fonctionner dans des régions où l'une de ces limites ou les deux sont dépassées, des exigences spéciales peuvent être adoptées après accord entre l'exploitant et le constructeur.

De plus, le constructeur doit être informé par l'exploitant de toute condition d'environnement particulièrement sévère telle que poussière, humidité, température, neige, effets dynamiques, etc. dans lesquelles les LIM sont destinés à fonctionner.

5 Caractéristiques

5.1 Echange d'informations

Les concepteurs du LIM et du convertisseur doivent collaborer pour fournir toutes les informations techniques nécessaires pour permettre à l'ensemble de satisfaire aux exigences de la présente norme.

Pour satisfaire à cette exigence, le concepteur du LIM doit fournir au concepteur du convertisseur toutes les informations nécessaires à l'évaluation complète de l'interaction entre le LIM et le convertisseur.

Le concepteur du convertisseur doit aussi fournir au concepteur du LIM les caractéristiques montrant par exemple la tension entre phases du convertisseur (comprenant les crêtes de tensions répétitives), le courant, la fréquence fondamentale, les harmoniques et la puissance sur toute la plage de fonctionnement de l'application, en incluant le fonctionnement aux valeurs maximale et minimale de la tension de ligne du système.

Les documents qui consignent cet échange d'informations doivent constituer une partie intégrante de la spécification du LIM et du convertisseur.

NOTE 1 Cette exigence d'échange d'informations est également incluse dans la CEI 61287-1.

NOTE 2 Il convient de prendre en considération la longueur du câblage entre le LIM et le convertisseur ainsi que les effets des crêtes de tension observées aux bornes du LIM.

En outre, il convient, pour le concepteur du primaire d'un LIM, le concepteur du secondaire et du dispositif de fixation du secondaire et l'intégrateur du système, de coordonner tous les éléments techniques nécessaires de sorte que le LIM satisfasse aux exigences et demandes décrites dans la présente norme.

Le concepteur du primaire du LIM doit fournir les informations techniques nécessaires au concepteur du secondaire et des dispositifs de fixation du secondaire et à l'intégrateur du système pour qu'il y ait une investigation suffisante concernant l'interaction entre le primaire et le secondaire.

Par ailleurs, le concepteur du secondaire doit fournir toutes les informations techniques nécessaires au concepteur du primaire et des dispositifs de fixation du secondaire et à l'intégrateur du système.

Les éléments techniques transférés et demandés entre le constructeur du primaire et ses homologues sont présentés dans le Tableau 1. Les documents enregistrant cet échange d'informations doivent faire partie intégrante de la spécification du LIM.

Tableau 1 – Eléments techniques transférés et demandés entre le constructeur du primaire et ses homologues

| Eléments | | Constructeur du primaire | Constructeur du secondaire | Constructeur du dispositif de fixation du secondaire | Intégrateur du système ^a |
|--|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------|--|-------------------------------------|
| Longueur d'espace nominale | | ○ | ○ | | ■ |
| Type de LIM Données techniques concernant le primaire | | ■ | ○ | | ○ |
| Données techniques concernant le secondaire (type et forme, y compris sa base) | | ○ | ■ | ○ | ○ |
| Dimension et matériau du conducteur Dimension et matériau du noyau | | ■ | ○ | | ○ |
| Poussée maximale | | ■ | ○ | ○ | ○ |
| Force normale maximale | | ■ | ○ | ○ | ○ |
| Distribution de la force normale | | ■ | ○ | ○ | ○ |
| Déflexion maximale | Primaire | ■ | | | ○ |
| | Secondaire | | ■ | | ○ |
| | Dispositif de fixation du secondaire | | | ■ | ○ |
| Résistance | Primaire | ■ | | | ○ |
| | Secondaire | | ■ | | ○ |
| | Dispositif de fixation du secondaire | | | ■ | ○ |
| Contrainte de support par le dispositif de fixation du secondaire | | | ○ | ○ | ■ |
| <p>■ Fournisseur des informations du primaire.</p> <p>○ Parties partageant les informations.</p> | | | | | |
| <p>^a L'intégrateur du système peut être soit un fournisseur de système, soit une autorité de transport.</p> | | | | | |

5.2 Température de référence

Toutes les caractéristiques, quelle que soit la classe d'isolation utilisée pour le LIM doivent être tracées pour une température de référence de bobinage de 150 °C qui doit être portée sur la caractéristique.

5.3 Caractéristiques spécifiées

Les spécifications du LIM doivent inclure en général les courbes caractéristiques conformément aux articles pertinents de cette norme. Ces courbes définies comme les « caractéristiques spécifiées » doivent être tracées jusqu'aux limites de fonctionnement pour chaque variable. Sauf accord contraire entre exploitant et constructeur, les caractéristiques doivent représenter les performances du LIM à la tension nominale du réseau d'alimentation définie en Annexe C, et doivent être soumises à l'exploitant avant que la commande de LIM ne soit enregistrée.

5.4 Caractéristiques de base

A la fin des essais de type pratiqués suivant 8.2.1, on obtient à partir des résultats, des « caractéristiques de base » qui doivent satisfaire aux exigences de 8.2.2.

Sauf accord préalable, les caractéristiques de base des LIM électromagnétiquement identiques à tout LIM fabriqué antérieurement pour le même exploitant ou la même application doivent être celles des LIM existants. Dans ce cas, la conformité des caractéristiques doit seulement être démontrée par des essais de série.

5.5 Caractéristiques de rendement

Les caractéristiques de rendement doivent tenir compte des pertes provenant des harmoniques de l'alimentation fournie par le convertisseur.

5.6 Caractéristiques des moteurs de traction

Les caractéristiques spécifiées et de base d'un moteur de traction doivent être, pour les caractéristiques de fréquence variables fournies pour le convertisseur qui montrent la tension entre phases, le courant, la fréquence, la fréquence de glissement, la poussée moyenne et le rendement du LIM en fonction de la vitesse dans la plage entière d'application du LIM à la longueur d'espace nominale. Les courbes de tension doivent montrer la valeur efficace de la composante fondamentale. Les courbes de courant doivent montrer la valeur efficace de la composante fondamentale et la valeur efficace totale. Pour les LIM utilisés en mode freinage, des caractéristiques similaires doivent être produites montrant l'entrée de poussée et la sortie électrique en fonction de la vitesse du moteur.

NOTE 1 L'intégrateur du système détermine la longueur d'espace nominale en prenant en considération la tolérance de la fixation du primaire et du secondaire, l'abrasion de la roue et du rail, la déflexion de la longueur d'espace en fonction des vibrations et des chocs en service.

NOTE 2 Le paragraphe 5.1 fait référence à la nécessité d'échange d'informations entre le concepteur du LIM et celui du convertisseur.

6 Marquage

6.1 Plaque signalétique du primaire

Tous les primaires de LIM couverts par la présente norme doivent porter une plaque signalétique. La plaque signalétique comprendra au moins les informations suivantes:

- a) nom du constructeur;
- b) désignation du type de primaire;
- c) numéro de série du primaire;
- d) année de fabrication.

En outre, un numéro de série doit être poinçonné sur le primaire de chaque LIM. Dans le cas de LIM destinés à ne tourner que dans un seul sens de rotation, une flèche indiquant le sens normal de rotation doit être apposée.

NOTE 1 Il convient de s'assurer que le numéro de série du primaire et la flèche de direction puissent être lus facilement lorsque le primaire est installé dans le véhicule.

Le marquage des câbles et des bornes doit être effectué conformément à la CEI 60034-8, sauf accord contraire.

Si la direction standard n'est pas déterminée facilement par l'apparence du LIM, elle doit être indiquée par le constructeur.

NOTE 2 Exemple de marquage pour des enroulements comportant 6 bornes:

– U1; U2; V1; V2; W1; W2.

6.2 Marquage de secondaire

Tous les secondaires de LIM doivent être marqués de manière permanente avec un numéro de série d'identification. Le marquage est placé des deux côtés du cadre de support et comporte les informations suivantes:

- a) type de secondaire;
- b) longueur;
- c) numéro d'ordre du constructeur;
- d) caractéristiques particulières.

7 Catégories d'essais

7.1 Catégories d'essais

7.1.1 Généralités

Il existe trois catégories d'essais:

- a) les essais de type;
- b) les essais de série;
- c) les essais d'investigation.

7.1.2 Essais de type

7.1.2.1 Généralités

Les essais de type ont pour but de vérifier les régimes assignés, les caractéristiques et les performances de nouveaux types de LIM. Ils doivent être effectués comme spécifié à l'Article 8 et sur un primaire du LIM de chaque nouvelle conception. Le LIM doit être l'un des dix premiers LIM fabriqués, sauf accord contraire. Dans le cas d'un changement de lieu et/ou de méthode de fabrication, les exigences du 7.1.2.3 s'appliquent.

Avant de commencer les essais, le constructeur doit fournir à l'exploitant une spécification d'essai précisant les essais à réaliser afin de démontrer la conformité à la présente norme. Après avoir terminé les essais de type, le constructeur doit fournir le rapport d'essai complet à l'exploitant.

7.1.2.2 Essais de type avec alimentation par convertisseur

Si chaque LIM est alimenté par son propre convertisseur, l'essai de type doit être conduit de préférence avec le convertisseur qui doit être employé en service, mais on peut utiliser, à titre de remplacement, une alimentation dont la magnitude et les harmoniques sont très voisines de celles rencontrées sur le convertisseur du véhicule.

Si plusieurs LIM sont alimentés en parallèle à partir d'un convertisseur unique, l'essai de type doit être effectué sur un seul primaire du LIM en utilisant une alimentation ressemblant fortement à l'alimentation par le convertisseur du véhicule quant à l'amplitude et le contenu harmonique de la forme d'onde.

7.1.2.3 Essais de type sur alimentation sinusoïdale

Le présent essai a pour but de fournir une référence pour les caractéristiques d'un LIM.

L'essai doit inclure un essai d'échauffement au régime assigné déterminé par le constructeur.

La tension, la fréquence, la poussée, la ventilation et la durée de l'essai peuvent être choisis librement par le constructeur, mais la durée de l'essai doit être de 1 h au minimum et à des valeurs n'imposant pas des contraintes excessives au LIM au-delà de celles normalement observées en service.

Les paramètres d'essai doivent être consignés pour tout essai ultérieur sur des LIM de cette conception.

Les mesures d'échauffement doivent être réalisées conformément aux détails fournis en 8.1.

7.1.2.4 Essais de type répétitif

Sous réserve d'accord, un essai de type complet n'est pas requis pour le nouveau LIM, si le constructeur produit un rapport d'essai de type complet effectué pour un LIM précédent ayant la même conception électromagnétique, au même régime assigné ou à un régime assigné supérieur pour autant que les résultats de l'essai de type sur l'alimentation sinusoïdale (voir 7.1.2.3) et de l'essai de série pour le nouveau LIM soient dans les tolérances établies sur les LIM précédents. Ceci s'applique également aux commandes répétitives et en cas de changement du lieu et/ou de la méthode de fabrication.

7.1.3 Essais de série

Les essais de série ont pour but de démontrer que le primaire d'un LIM a été correctement monté, qu'il peut supporter l'essai diélectrique approprié et est en bon ordre de marche électriquement et mécaniquement. Les essais énumérés dans le Tableau 2 doivent être effectués sur tous les primaires de LIM.

L'essai de série sur le secondaire démontrera que le secondaire est conforme à la configuration de conception, satisfait aux tolérances dimensionnelles et aux autres exigences spécifiques convenues à l'avance par l'exploitant et le constructeur. Les essais de série pour le secondaire sont énumérés dans le Tableau 3. L'exploitant et le constructeur peuvent se mettre d'accord sur le nombre d'essais à effectuer pour le secondaire.

Les essais de série spécifiés à l'Article 9 doivent être normalement effectués sur tous les LIM mais, avant qu'une commande ne soit signée, l'exploitant et le constructeur peuvent se mettre d'accord pour adopter une autre procédure d'essai (par exemple, dans le cas de LIM produits en grandes quantités avec une qualité très stricte). Celle-ci peut permettre des essais de série réduits de tous les LIM ou peut exiger des essais complets sur une proportion de LIM choisis de manière aléatoire parmi ceux produits pour la commande. Tout accord de ce type doit impliquer que les essais diélectriques spécifiés en 9.1.3 soient effectués sur tous les LIM.

7.1.4 Essais d'investigation

Les essais d'investigation sont des essais spéciaux facultatifs permettant d'obtenir des informations complémentaires. Ils ne doivent être effectués que si un accord a été conclu entre exploitant et constructeur avant la signature de la commande de fabrication des LIM. Les résultats de ces essais ne doivent pas influencer l'acceptation des LIM.

7.2 Résumé des essais

Les Tableaux 2 et 3 donnent la liste des essais exigés pour la conformité à la présente norme.

Tableau 2 – Résumé des essais pour le primaire^a

| Elément | Catégorie d'essai | | |
|--|-------------------|--------------------|---------------|
| | Type | Série | Investigation |
| Echauffement | 8.1 | — | — |
| Essai thermique/essai d'échauffement de courte durée | 7.1.2.3 | 9.1.1 ^b | — |
| Caractéristiques | 8.2 | 9.1.2 | — |
| Diélectrique | — | 9.1.3 | — |
| Choc et vibration | 8.3 | — | — |
| Essais de structure | — | 9.1.4 | — |
| Bruit | — | — | 10.2 |

^a Tous les primaires, y compris ceux subissant l'essai de type, doivent faire l'objet d'un essai de série.
^b Les essais facultatifs sont soumis à un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Tableau 3 – Résumé des essais pour le secondaire

| Elément d'essai | Essai de type | Essai de série | Essai d'investigation |
|-----------------------------------|---------------|----------------|-----------------------|
| Essai de dimension | — | 9.2.1 | — |
| Essai de composition chimique | — | 9.2.2 | — |
| Essai de traction | — | 9.2.3 | — |
| Essai de flexion | — | 9.2.4 | — |
| Essai de cisaillement | — | 9.2.5 | — |
| Détection de défaut par ultrasons | — | 9.2.6 | — |
| Essai de frottement | — | 9.2.7 | — |
| Essai de conductivité électrique | — | 9.2.8 | — |

8 Essais de type

8.1 Essais d'échauffement

8.1.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés aux régimes garantis assignés du primaire.

Pour l'essai au régime continu assigné du courant et de la fréquence du primaire, la durée nécessaire pour atteindre la stabilisation de la température peut être raccourcie en commençant à une charge augmentée ou avec une ventilation réduite, pourvu que les valeurs assignées soient maintenues pendant au moins 2 h ou qu'on ait montré, grâce à des moyens appropriés, que les températures stabilisées ont été atteintes.

Les essais peuvent être effectués sans l'utilisation du secondaire.

NOTE La température est considérée comme stabilisée lorsque l'échauffement ne varie pas de plus de 2 K pendant la dernière heure de l'essai.

8.1.2 Ventilation pendant les essais d'échauffement

Si le refroidissement est effectué par ventilation forcée, la pression statique et le débit d'air spécifiés par le constructeur doivent être utilisés pour les essais.

En général, aucun refroidissement correspondant à celui qui est produit par le mouvement du véhicule ne doit être prévu; toutefois, lorsque ce refroidissement est particulièrement important, il peut être utilisé, pourvu qu'il ait fait l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur.

8.1.3 Mesure de la température

La température doit être mesurée conformément à l'Annexe A.

8.1.4 Appréciation des résultats

Les échauffements des enroulements, à l'instant « début de refroidissement » tel que défini à l'Annexe A ne doivent pas dépasser les valeurs données au Tableau 4.

8.1.5 Limites d'échauffement

Les différentes classes thermiques des systèmes d'isolation sont définies dans la CEI 60085.

Le Tableau 4 donne les limites d'échauffement admissibles mesurées au banc d'essai, par rapport à l'air de refroidissement, pour les enroulements et autres parties isolées avec les matériaux des classes thermiques utilisés actuellement dans la construction des LIM auxquels s'applique la présente partie de la norme.

Si diverses parties du même primaire ont des classes thermiques différentes, les limites d'échauffement relatives à chaque partie doivent être celles de la classe thermique correspondante.

Tableau 4 – Limites d'échauffement pour les régimes continus ou autres régimes assignés

| Partie | Méthode de mesure | Classe thermique du système d'isolation | | | | | |
|------------------------|-------------------|---|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | 130(B) | 155(F) | 180(H) | 200 | 220 | 250 |
| Enroulements primaires | Résistance | 130 K | 155 K | 180 K | 200 K | 220 K | 250 K |

Lorsque les primaires sont directement ou indirectement exposés à la chaleur provenant d'un engin thermique ou de toute autre source de chaleur, l'adoption de limites d'échauffement plus basses que celles spécifiées au Tableau 4 peuvent faire l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur.

8.2 Essais de caractéristiques et tolérances

8.2.1 Généralités

8.2.1.1 Méthodes d'essai pour des LIM

Etant donné qu'il est plus difficile d'effectuer des essais de caractéristiques sur des LIM que sur une machine tournante à induction, les caractéristiques doivent être vérifiées par l'une des méthodes particulières suivantes:

- installation d'essai rotative d'un LIM;
- méthode d'analyse de force électromagnétique;
- essai de poussée dynamique avec un véhicule;
- essai dynamique de véhicule.

Dans les cas c) et d), l'intégrateur du système doit fournir des véhicules.

8.2.1.2 Installation d'essai rotative de LIM

Pour vérifier la conception d'un LIM, des essais de fonctionnement peuvent être demandés, mais il est difficile d'exécuter des essais dynamiques d'un LIM lui-même. Pour ces cas, une machine tournante d'essai spéciale, dont la longueur du primaire est approximativement identique à celle du LIM investigué, est souvent utilisée. Des informations et des exemples techniques généraux sont décrits à l'Annexe B.

8.2.1.3 Méthode d'analyse de force électromagnétique

8.2.1.3.1 Essai à l'arrêt

Le primaire et le secondaire sont fixés en conservant la longueur d'espace nominale entre eux. Ensuite, une tension sinusoïdale nominale avec une fréquence nominale est appliquée aux enroulements primaires. La poussée et la force normale sont mesurées. La structure de support doit être conçue de sorte que l'interférence provenant de la déflexion de cette structure avec les mesures de force puisse être réduite à un minimum. La température de surface du conducteur du secondaire doit être mesurée et enregistrée. Un constructeur doit déterminer la tension nominale, la fréquence, la poussée, la force normale et leurs marges, et doit informer l'exploitant avant l'essai de type. Cet essai de la première machine pour une nouvelle conception spécifique est recommandé, mais la validité de l'essai dépend de l'accord entre l'exploitant et le constructeur.

8.2.1.3.2 Analyse de force électromagnétique

Si un fonctionnement d'essai d'une unité de LIM n'est pas réalisable, la mesure des caractéristiques de vitesse, qui est normalement effectuée sur des machines tournantes, peut être remplacée par les résultats de calcul par un programme des caractéristiques électromagnétiques.

Il doit être confirmé que les résultats de calcul de caractéristiques selon 8.2.1 ne doivent pas varier de plus de 10 % dans la plage jusqu'à la vitesse assignée, c'est-à-dire, la zone de fonctionnement à V/F constant en comparaison avec les valeurs d'essai de caractéristiques de vitesse en relation avec la vitesse et la poussée d'au moins un LIM à l'échelle d'utilité, par exemple, une installation d'essai rotative décrite en 8.2.1.1.

NOTE Il convient de baser le programme pour calculer des caractéristiques électromagnétiques sur les équations de Maxwell prenant en compte les effets d'extrémité longitudinaux avec correction de la conductivité du secondaire concernant les effets de bord transversaux.

Les essais décrits en 8.2.1.3.1 et 8.2.1.3.2 sont tous deux nécessaires.

8.2.1.4 Essai de poussée dynamique avec un véhicule

Le primaire du LIM est installé sur un véhicule et soumis à essai dynamiquement sur une voie avec le secondaire approprié.

La poussée dynamique est déterminée directement par l'instrumentation ou observée à partir des mesures d'accélération. Des corrections sont apportées pour le poids, la catégorie, la résistance au roulement et la tension de ligne du véhicule.

L'essai de poussée dynamique peut être remplacé par un essai d'accélération.

8.2.1.5 Essai dynamique de véhicule

Voir le 9.2.1 de la CEI 61133:2006.

L'essai doit être effectué à la longueur d'espace nominale dans les tolérances de mesure. La longueur d'espace nominale doit être confirmée par mesure avant de débiter les essais dynamiques.

8.2.2 Tolérances

La poussée au point de rupture doit être entre –5 % et +15 % de la valeur spécifiée pour les conditions assignées.

Le constructeur doit présenter les données de confirmation à l'exploitant.

Le cas échéant, l'échauffement de l'essai de type des alimentations sinusoïdales (voir 7.1.2.3) ne doit pas s'écarter de plus de ±12 % ou ±15 K, la valeur la plus élevée étant retenue, de l'essai de type initial.

8.3 Essais de choc et de vibration

Les essais de choc et de vibration sont réalisés selon la CEI 61373. Cet essai peut être omis ou encore les conditions de l'essai peuvent être modifiées suivant un accord entre l'exploitant et le constructeur.

NOTE Pour une lévitation magnétique, qui est exempte de mouvement de roulement des roues, des conditions réduites de ces essais peuvent être utilisées.

9 Essais de série

9.1 Essais de série de primaire

9.1.1 Généralités

Les essais de série doivent être effectués en utilisant une alimentation sinusoïdale à la fréquence industrielle ou à une fréquence utilisée en service.

Les fréquences utilisées pour les différents essais ne doivent pas nécessairement être les mêmes mais, une fois choisies, elles ne doivent plus être changées. Les valeurs de base retenues pour les points d'essai doivent être les moyennes des valeurs des essais de quatre primaires, dont l'un doit être celui qui a subi les essais de type. Afin de réduire l'effet des variations de température, les essais doivent être effectués en suivant la même séquence sur tous les primaires. Ni les mesures de rendement, ni les essais en freinage ne sont exigés.

Afin de confirmer la cohérence d'une série, il est possible de réaliser l'essai de type sinusoïdal d'échauffement (voir 7.1.2.3) à des intervalles donnés tout au long de la série, soit à des intervalles aléatoires ou à des intervalles fixes convenus entre exploitant et constructeur. Les tolérances sont celles définies en 8.2.2.

9.1.2 Essais de caractéristiques et tolérances

9.1.2.1 Généralités

Si un fonctionnement d'essai d'une unité de primaire n'est pas réalisable, les essais de caractéristiques de série peuvent être remplacés par les mesures suivantes.

9.1.2.2 Mesure de résistance d'enroulement primaire

La résistance de l'enroulement primaire est calculée à partir des valeurs de résistance mesurées entre chacune des bornes d'un LIM, à une température ambiante arbitraire, par la formule suivante:

$$r_1 = \frac{R_1}{2} \times \frac{235 + 150}{235 + t}$$

où

- r_1 est la résistance par phase de l'enroulement primaire à 150 °C;
 R_1 est la valeur moyenne des valeurs de résistance mesurées entre chacune des bornes de l'enroulement primaire;
 t est la température ambiante au temps de mesure de la résistance.

Lorsque R_1 est mesurée selon la méthode courant-chute de potentiel, le courant pour la mesure doit être égal à 10 % à 20 % du courant continu assigné.

La valeur type de résistance de l'enroulement primaire doit être la valeur moyenne de quatre LIM, dont l'un a fait l'objet d'un essai de type.

NOTE Pour les matériaux autres que le cuivre, il convient de remplacer la valeur 235 dans la formule ci-dessus par l'inverse du coefficient de température de résistance à 0 °C pour le matériau.

9.1.2.2.1 Tolérances

La résistance de l'enroulement primaire ne doit pas dépasser de plus de ± 5 %, la valeur type obtenue par les mesures de 9.1.2.2.

9.1.2.3 Mesure d'impédance

Le secondaire n'étant pas monté, l'impédance doit être calculée à partir du courant, de la tension et du facteur de puissance mesurés avec un courant sinusoïdal appliqué aux bornes du primaire à la fréquence commerciale ou à la fréquence à utiliser en service. La fréquence et le nombre de phases, une fois utilisés, ne doivent pas être modifiés.

La valeur type de l'impédance doit être la valeur moyenne de quatre primaires, l'un d'eux ayant fait l'objet d'un essai de type.

9.1.3 Essais diélectriques

Les essais doivent normalement être effectués en utilisant une onde alternative de forme approximativement sinusoïdale, de fréquence comprise entre 25 Hz et 100 Hz, mais des essais en courant continu peuvent être effectués si un accord entre exploitant et constructeur a été conclu avant signature de la commande.

La tension d'essai doit être appliquée successivement entre les enroulements et la carcasse (noyau en fer du primaire). La valeur totale de la tension ne doit être appliquée qu'à des LIM neufs, avec toutes leurs parties en place comme en fonctionnement normal. L'essai doit être effectué sur le LIM chaud, immédiatement après les essais de série spécifiés dans les articles précédents.

La tension d'essai doit être la plus élevée des valeurs indiquées au Tableau 5 pour la méthode d'essai choisie et doit être appliquée progressivement, en commençant par une valeur ne dépassant pas le tiers de la valeur finale. Une fois atteinte, cette valeur finale doit être maintenue pendant 60 s.

Tableau 5 – Tensions d'essais diélectriques

| Enroulement | Tension d'essai V | |
|---|----------------------|--|
| Tous les enroulements | Essais en c.a. | $2 \times U_{dc} + 1\,000$ ou $2 \times U_{rp} / \sqrt{2} + 1\,000$ ou $U_{rpb} / \sqrt{2} + 1\,000$ |
| | Essais en c.c. | $3,4 \times U_{dc} + 1\,700$ ou $2,4 \times U_{rp} + 1\,700$ ou $1,2 \times U_{rpb} + 1\,700$ |
| <p>U_{dc} est la plus haute tension moyenne par rapport à la terre qui peut être appliquée au circuit côté continu lorsque le système de contact est à sa tension maximale, pour un fonctionnement moteur.</p> <p>U_{rp} est la tension de crête répétitive maximale par rapport à la terre qui peut être appliquée à l'enroulement de la machine lorsque le système de contact est à sa tension maximale, pour un fonctionnement en moteur. (La tension de crête répétitive est définie en 3.11.)</p> <p>U_{rpb} est la tension de crête répétitive maximale par rapport à la terre qui peut apparaître sur l'enroulement lorsque la machine est en freinage.</p> | | |

Si ni le circuit continu ni les enroulements du moteur ne sont normalement référencés par rapport à la terre, U_{dc} et U_{rp} doivent être les plus hautes tensions par rapport à la terre qui peuvent apparaître sur leurs circuits respectifs, si l'un quelconque des points de ces circuits était relié à la terre.

9.1.4 Essais de structure

9.1.4.1 Dimensions et aspect

Des vérifications de structure doivent être effectuées par des mesures de dimensions en utilisant le schéma ayant fait l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur. Les critères d'acceptation doivent être basés sur un accord entre l'exploitant et le constructeur.

9.1.4.2 Mesure de planéité

La planéité de la surface du noyau du primaire, faisant face au conducteur du secondaire, du LIM doit être mesurée. Cette mesure peut être remplacée par la mesure de tolérance géométrique basée sur le schéma ayant fait l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

9.2 Essais de série du secondaire

9.2.1 Essai de dimensions

L'épaisseur du conducteur du secondaire, l'épaisseur et la largeur du noyau du secondaire, la hauteur, la longueur, le niveau longitudinal, la cambrure maximum, la largeur, la planéité du plateau de réaction complet en combinaison avec le conducteur et le noyau du secondaire doivent être mesurés. Ces mesures peuvent être remplacées par la mesure de tolérance géométrique basée sur les schémas ayant fait l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

9.2.2 Essai de composition chimique

Des essais de composition chimique pour le conducteur du secondaire et le fer du secondaire doivent être réalisés. De plus, l'analyse de résistance du matériau doit être réalisée sur la structure de support et les systèmes de fixation du secondaire pour garantir des caractéristiques de déflexion et de résistance à la fatigue acceptables. Les essais peuvent être remplacés par la soumission de documents de certification de matériau. Ces procédures doivent confirmer que les matériaux du côté secondaire satisfont aux demandes du fournisseur du côté primaire.

9.2.3 Essai de traction

La résistance à la traction des matériaux ferromagnétiques et conducteurs pour le côté secondaire doit être mesurée. L'essai peut être remplacé par la soumission du document de certification de matériau ou par une analyse.

9.2.4 Essai de flexion

La résistance à la flexion des matériaux ferromagnétiques et de base pour le plateau de réaction du secondaire doit être mesurée. L'essai peut être remplacé par la soumission du document de certification de matériau ou par une analyse.

9.2.5 Essai de cisaillement

La résistance au cisaillement du conducteur du secondaire et du noyau du secondaire doit être mesurée si le plateau de réaction consiste en un matériau de gainage dans les matériaux conducteurs et ferromagnétiques. La résistance des fixations doit être mesurée si le plateau de réaction est relié mécaniquement. Cet essai peut être remplacé par une analyse.

9.2.6 Détection de défaut par ultrasons

La condition de la jonction entre le conducteur du secondaire et le noyau doit être vérifiée par un détecteur de défaut par ultrasons. Cet essai est appliqué aux plateaux de réaction du type gaine.

9.2.7 Essai de frottement

La force de frottement est mesurée par la force nécessaire pour tirer le plateau du conducteur du secondaire sur le fer du secondaire lorsque le noyau du secondaire ou la base sont fixés, et que la résistance de la jonction entre le conducteur du secondaire et le noyau est vérifiée. Cet essai est appliqué aux plateaux de réaction joints mécaniquement. La force de frottement acceptable peut également être déterminée par une analyse.

9.2.8 Essai de conductivité électrique

La conductivité électrique du conducteur du secondaire doit être mesurée et le résultat doit être dans la plage ayant fait l'objet d'un accord entre l'intégrateur du système et le concepteur du primaire, le cas échéant.

10 Essais d'investigation

10.1 Généralités

Les essais d'investigation sont des essais spéciaux facultatifs réalisés pour obtenir des informations supplémentaires, tel que spécifié en détail au 7.1.4.

10.2 Essai de bruit

Fondamentalement, un essai de bruit pour le primaire du LIM n'est pas nécessaire. S'il existe des raisons techniques spécifiques qui rendent nécessaires l'exécution d'un essai de bruit,

les méthodes de la mesure doivent être déterminées par un accord entre l'exploitant et le constructeur. La description informative détaillée et la philosophie fondamentale sont données dans l'Annexe C de la CEI 60349-2 :2010, pour les moteurs de traction rotatifs. La philosophie fondamentale de l'essai de bruit du système est décrite en 8.19 de la CEI 61133:2006.

Annexe A (normative)

Mesure de la température

A.1 Température des parties du LIM

La température des enroulements isolés doit être mesurée par la méthode de variation de résistance.

Aucune correction de l'échauffement mesuré ne doit être appliquée si la température ou l'air de refroidissement est compris entre 10 °C et 40 °C pendant l'essai.

Si la température de l'air de refroidissement est en dehors de ces limites pendant un essai de type, une correction de l'échauffement mesuré peut faire l'objet d'un accord entre l'exploitant et le constructeur.

Avant de commencer un essai de courte durée, on doit s'assurer, par thermomètre ou par mesure de résistance, que les températures des enroulements ne diffèrent pas de plus de 4 K de celle de l'air de refroidissement. Pour calculer l'échauffement de l'enroulement, toute différence de température jusqu'à 4 K doit être retranchée du résultat si l'enroulement est initialement à une température supérieure à celle de l'air de refroidissement, ou additionnée dans le cas contraire.

Méthode de variation de résistance

Dans cette méthode, l'échauffement d'un enroulement est déterminé par son augmentation de résistance au cours de l'essai.

Pour les enroulements en cuivre, l'échauffement d'un enroulement à la fin d'un essai est déterminé par la formule suivante:

$$\text{échauffement} = t_2 - t_a = \frac{R_2}{R_1} (235 + t_1) - (235 + t_a)$$

où

t_1 est la température initiale de l'enroulement, en degrés Celsius;

R_1 est la résistance de l'enroulement à la température t_1 ;

t_2 est la température de l'enroulement à la fin de l'essai, en degrés Celsius;

R_2 est la résistance de l'enroulement à la fin de l'essai;

t_a est la température de l'air de refroidissement à la fin de l'essai, en degrés Celsius.

NOTE Pour les matériaux autres que le cuivre, il convient de remplacer la valeur 235 dans la formule ci-dessus par l'inverse du coefficient de température de résistance, pris à 0 °C, du matériau considéré.

A.2 Température de l'air de refroidissement

Pour la ventilation forcée, la température de l'air de refroidissement doit être telle que mesurée à son entrée dans le LIM et, lorsqu'il y a plusieurs points d'entrée, cette température doit être la moyenne des mesures à chacun des points.

Les thermomètres doivent être protégés de la chaleur rayonnée et des courants d'air de sorte qu'ils enregistrent la vraie température ou l'air entrant dans le LIM et autour de celui-ci. Afin d'éviter des erreurs dues à des variations de la température de l'air de refroidissement, toutes les précautions raisonnables doivent être prises pour maintenir ces variations à un minimum.

La température de l'air de refroidissement à la fin de l'essai doit être la moyenne des mesures relevées approximativement toutes les 15 min pendant la dernière heure d'un essai au régime continu assigné ou pendant toute la durée d'un essai de courte durée.

A.3 Mesure de la résistance

A.3.1 Résistance initiale à froid

La mesure de la résistance initiale à froid doit s'effectuer en utilisant les mêmes instruments de mesure que ceux utilisés pour les mesures à chaud ultérieures, mais cette mesure n'a pas besoin d'être répétée au début de chaque essai. Les températures des enroulements doivent être relevées lorsque la température mesurée par thermomètre à leur surface au moment de la mesure de résistance ne doit pas différer de celle de l'air ambiant de plus de 4 K.

A.3.2 Résistance à chaud

La résistance à chaud doit être mesurée dès que possible après l'arrêt du LIM à la fin de l'essai. La mesure peut être effectuée en utilisant la méthode à voltmètre et à ampèremètre (méthode volt-ampère), au moyen d'un pont ou avec d'autres moyens appropriés. La même méthode doit être utilisée pour toutes les lectures sur un enroulement donné, y compris la lecture initiale à froid.

Si la méthode du voltmètre et de l'ampèremètre est utilisée, le courant doit être de valeur suffisamment élevée pour obtenir la précision nécessaire, sans qu'il influence lui-même l'échauffement. (En général, une valeur ne dépassant pas 10 % du courant assigné est satisfaisante pour respecter cette dernière exigence.)

A.4 Estimation de température de primaire

A.4.1 Instant « début de refroidissement »

A la fin d'un essai, les circuits principaux sont ouverts immédiatement et toute ventilation séparée est arrêtée à cet instant.

A.4.2 Mesure des résistances à chaud et extrapolation des courbes d'échauffement et de refroidissement

Les mesures de résistance de chaque enroulement doivent commencer dans les 45 s qui suivent l'instant « début de refroidissement » et doivent être poursuivies pendant au moins 5 min.

L'intervalle de temps entre les mesures successives effectuées sur chacun des enroulements ne doit pas dépasser 20 s pendant les premières 3 min, et 30 s ensuite.

Les échauffements calculés à partir de ces lectures doivent être portés sur un graphique en fonction du temps, en utilisant une échelle logarithmique pour les températures et linéaire pour le temps. La courbe qui en résulte doit être extrapolée jusqu'à l'instant « début de refroidissement » pour donner l'échauffement à la fin de l'essai.

Annexe B (informative)

Méthode d'essai utilisant une installation d'essai rotative d'un LIM

B.1 Généralités

Une installation d'essai rotative consiste en un primaire en forme d'arc, dont la longueur d'arc est égale à la longueur du fer du primaire du côté primaire d'un LIM soumis à essai, et un tambour rotatif de plateau de réaction de secondaire, entre lesquels la longueur d'espace nominale est maintenue constante.

Le diamètre du rotor doit être suffisamment supérieur au pas polaire du primaire pour garantir l'absence d'interférence entre les courants de Foucault résiduels induits dans le rotor par l'extrémité arrière du champ magnétique du primaire et le champ d'extrémité d'entrée du primaire.

Un exemple de l'installation est montré sur la Figure B.1.

Les essais pour démontrer la conformité avec les caractéristiques spécifiées doivent être effectués en mesurant l'entrée électrique du côté du primaire en forme d'arc et la sortie mécanique du côté du secondaire rotatif. La sortie peut être mesurée directement ou peut être calculée à partir de la sortie mesurée d'une machine électrique entraînée, dont le rendement est connu.

Les essais en charge doivent être effectués approximativement à la température de référence à laquelle les résultats doivent être corrigés si la correction est significative. Des lectures d'essai suffisantes doivent être prises pour permettre de tracer les caractéristiques de base du LIM.

L'entrée électrique appliquée au convertisseur doit être mesurée par une méthode convenue, mais elle ne doit pas influencer l'acceptation du LIM.

L'essai ne doit être effectué que dans un seul sens de rotation.

Les instruments utilisés pour mesurer les formes d'onde complexes de l'entrée appliquée au primaire en forme d'arc doivent indiquer la valeur du courant, de la tension et de la puissance avec une précision suffisante pour permettre de démontrer la conformité avec les tolérances spécifiées.

B.2 Poussée

La poussée doit être calculée à partir de la valeur mesurée du couple de l'axe de rotation du tambour du plateau de réaction du secondaire. Les vitesses de fonctionnement pour la mesure de la poussée sont convenues entre l'exploitant et le constructeur, mais la mesure de la poussée à la vitesse assignée, c'est-à-dire la vitesse à laquelle la tension de primaire appliquée est égale à la tension assignée, est obligatoire.

B.3 Force normale

La force normale du primaire en forme d'arc du LIM est mesurée par des jauges de contrainte fixées au support entre un cadre fixe et une table suspendue supportant le côté du primaire en forme d'arc du LIM.

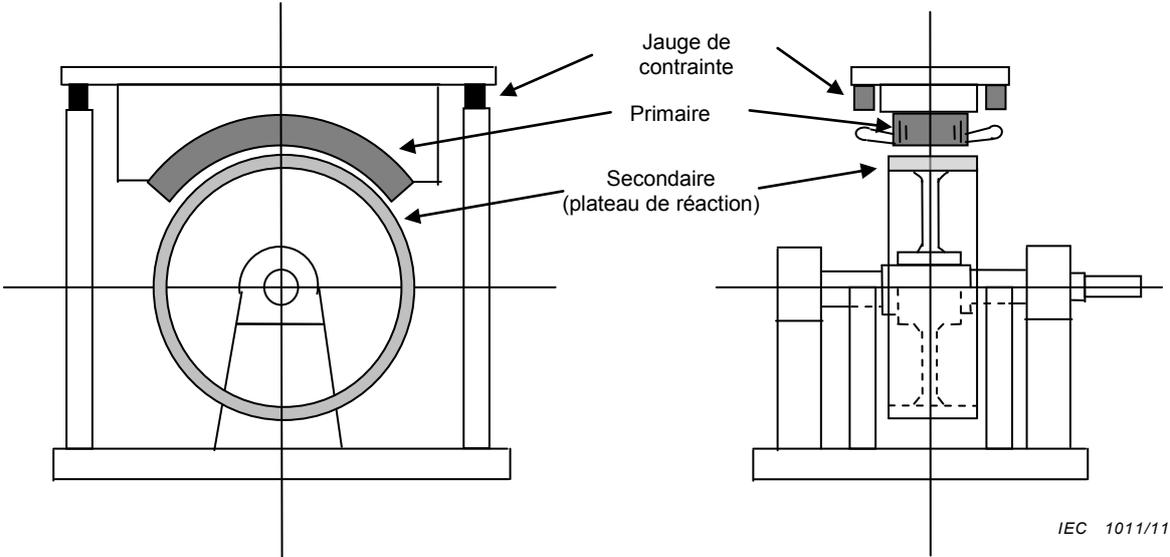


Figure B.1 – Installation d’essai rotative pour LIM

Annexe C (normative)

Tensions d'alimentation des réseaux de traction

Les valeurs nominale, la plus basse, et la plus élevée, de la tension d'alimentation du réseau de traction doivent être spécifiées par l'exploitant. Il convient de préférence de les choisir parmi les valeurs types qui ont été adoptées dans la CEI 60850.

La tension nominale sert de base à l'établissement des régimes assignés et des caractéristiques du LIM et au calcul des performances du véhicule.

Les performances à des tensions autres que la tension nominale peuvent suivre une variation naturelle ou peuvent être contrôlées pour réduire une telle variation, mais le maintien de performances constantes sur une large plage de tensions n'est pas généralement souhaitable.

Annexe D (normative)

Accord entre exploitant et constructeur

D.1 Exigences particulières de l'exploitant à spécifier et devant faire l'objet d'un accord avec le constructeur

| Article | Sujet |
|----------|--|
| 4 | Conditions d'environnement exceptionnelles |
| 5.3 | Tension des caractéristiques spécifiées |
| 7.1.3 | Nombre d'essais pour le secondaire |
| 7.1.4 | Essais d'investigation |
| Annexe C | Valeurs de la tension d'alimentation |

D.2 Exigences particulières du constructeur à spécifier et devant faire l'objet d'un accord avec l'exploitant

| Article | Sujet |
|---------|--|
| 5.4 | Caractéristiques de base différentes d'une caractéristique existante |
| 7.1.2.4 | Exemption ou réduction des essais de type |
| 7.1.3 | Autres procédures d'essai de série |
| 8.1.2 | Dispositions particulières du refroidissement externe |

D.3 Exigences particulières du constructeur à spécifier et devant faire l'objet d'un accord avec l'intégrateur du système

| Article | Sujet |
|---------|---|
| 8.2.1 | Méthode de vérification de caractéristiques |

D.4 Autres exigences particulières qui peuvent faire l'objet d'un accord entre exploitant et constructeur

| Article | Sujet |
|---------|---|
| 6.1 | Marquage des bornes et des câbles non conforme à la CEI 60034-8 |
| 8.1.5 | Limites d'échauffement |
| 9.1.1 | Essais d'échauffement sinusoïdal supplémentaires |
| 9.1.3 | Utilisation de tension continue pour les essais diélectriques |
| 9.1.4.1 | Critères d'acceptation de vérification de structure |

Bibliographie

CEI 60034-5, *Machines électriques tournantes – Partie 5: Degrés de protection procurés par la conception intégrale des machines électriques tournantes (code IP) – Classification*

CEI 61672-1, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 1: Spécifications*

CEI 61260, *Electroacoustique – Filtres de bande d'octave et de bande d'une fraction d'octave*

CEI 61287-1, *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essai*

CEI 61377-1, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Partie 1: Essais combinés de moteurs à courant alternatif alimentés par onduleur et de leur régulation*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch