

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE



**Rotating electrical machines –
Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency
of converter-fed AC induction motors**

**Machines électriques tournantes –
Partie 2-3: Méthodes d'essai spécifiques pour la détermination des pertes et
du rendement des moteurs à induction en courant alternatif alimentés
par convertisseur**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

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.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

TECHNICAL SPECIFICATION

SPÉCIFICATION TECHNIQUE



**Rotating electrical machines –
Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency
of converter-fed AC induction motors**

**Machines électriques tournantes –
Partie 2-3: Méthodes d'essai spécifiques pour la détermination des pertes et
du rendement des moteurs à induction en courant alternatif alimentés
par convertisseur**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

S

ICS 29.160

ISBN 978-2-8322-1275-2

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Symbols and abbreviated terms.....	8
5 Basic requirements.....	9
5.1 Instrumentation	9
5.1.1 General	9
5.1.2 Power analyzer and transducers.....	9
5.1.3 Mechanical output of the motor.....	10
5.2 Converter set up	10
5.2.1 General	10
5.2.2 Test converter set up for rated voltages up to 1 kV	10
5.2.3 Testing with the converter for the final application	11
6 Test methods for the determination of the efficiency of converter-fed motors	11
6.1 Test method (see Table 1).....	11
6.2 Method 2-3-A: Summation of losses with test converter supply	11
6.2.1 General	11
6.2.2 Test procedure	12
6.2.3 Efficiency determination.....	13
6.3 Method 2-3-B: Summation of losses with specific converter supply	14
6.4 Method 2-3-C: Input-output method.....	14
6.4.1 Test set-up	14
6.4.2 Test procedure.....	14
6.4.3 Efficiency determination.....	14
6.5 Method 2-3-D: Calorimetric method.....	14
7 Other procedures.....	14
Annex A (informative) Definition of the output voltage of the test converter	15
A.1 Definitions and schematic	15
A.2 Voltage reference and generation of output voltage waveform	16
A.3 Checking in the time domain	19
Bibliography.....	21
Figure A.1 – Schematic for PDS.....	15
Figure A.2 – Functional schematic for voltage generation system	17
Figure A.3 – Sinusoidal voltage set point and linearity extension voltage	17
Figure A.4 – Voltage set point and extended reference voltage	18
Figure A.5 – Pulse pattern of motor terminal voltage (fundamental frequency 50 Hz; switching triangle frequency 4 kHz).....	18
Figure A.6 – Magnification of marked area of Figure A.5.....	19
Figure A.7 – Filtered inverter terminal voltage (fundamental frequency of 50 Hz; 2 nd order low pass filter 500 Hz / 0,7)	19
Table 1 – Testing methods.....	11

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

**Part 2-3: Specific test methods for determining losses
and efficiency of converter-fed AC induction motors**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

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

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

IEC/TS 60034-2-3, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee 2: Rotating machinery.

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

Enquiry draft	Report on voting
2/1696/DTS	2/1719/RVC

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

NOTE A table of cross-references of all IEC TC 2 publications can be found on the IEC TC 2 dashboard on the IEC website.

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

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The objective of this technical specification is to define test methods for determining the additional harmonic motor losses of converter-fed induction motors. These losses appear in addition to the losses on nominally sinusoidal power supply as determined by the methods of IEC 60034-2-1. Results determined according to this specification are intended to allow for comparison of the harmonic losses of different AC induction motors when fed by converters.

In power-drive systems (PDS), the motor and the frequency converter are often manufactured by different suppliers. While motors of the same design are produced in large quantities, they may be operated from the grid or from frequency converters of many different types, supplied by many different manufacturers. The individual converter properties (switching frequency, DC link voltage level, etc.) may influence the system efficiency as well. It is impractical to determine the additional harmonic motor losses for every combination of motor, frequency converter, connection cable, output filter and parameter settings. Accepting that it is extremely difficult to specify motor efficiency for converter operation, this specification describes a limited number of approaches, depending on the voltage level and the rating of the machine under test.

The procedures described in this specification result in a single number, the harmonic loss ratio r_{HL} , which is the ratio of the additional harmonic motor losses and the motor losses measured using a nominally sinusoidal voltage power supply.

The losses determined according to this specification are not intended to represent the losses in the final application. They provide, however, an objective basis for comparing different motor designs with respect to suitability for converter operation.

The methods in this technical specification apply to induction motors used with variable frequency drives. However, the application to other AC motors or DC motors and converters, is not excluded. The methods are mainly intended for motors fed by voltage source converters.

In general, when fed from a converter, the motor losses are higher than during operation on a nominally sinusoidal system. The additional harmonic losses depend on the spectrum of the impressed converter output quantity (either current or voltage) which is influenced by its circuitry and control method. For further information see IEC/TS 60034-25.

This technical specification is aimed at evaluating the additional harmonic motor losses resulting from non-sinusoidal power supply and consequently the efficiency of the converter-fed motor. It is not the purpose of this technical specification to define test procedures either for power drive systems or for frequency converters alone.

This technical specification is applicable to motors rated for 50 Hz or 60 Hz fundamental frequency. However, for other rated motor frequencies the test procedure may be applied provided a suitable power source is available, e.g. a 4-pole motor used at 3 000 rpm can be tested with 100 Hz and actual voltage rating.

Low-voltage motors

Experience has shown that the additional harmonic motor losses generally increase with load. The methods in this technical specification are based on supplies from converters with pulse width modulation (PWM) and constant pulse pattern. This is generally the case for voltage source converters except for over-modulation. Such voltage source converters have by far the largest market share in the low-voltage industrial drive market.

With respect to these types of converters and the growing need for verification of compliance with national energy efficiency regulations, this technical specification introduces a so-called test converter for testing low voltage motors.

In principle, the test converter is a voltage source with a clearly defined and reproducible harmonic content to supply the machine under test. The motor efficiency is to be determined at rated load for 50 Hz or 60 Hz. Defining 50 Hz or 60 Hz as test conditions has the advantage of providing a direct comparison of motor efficiency for grid and converter operation.

The above outlined test converter concept is a new approach to weigh the converter impact on an electrical machine without being forced having the final converter for testing. By releasing this technical specification, test facilities are invited to gain practical experience with this approach and to provide feedback for further refinement of the test procedure.

Limitations for low-voltage motors and high-voltage motors with multi-level converters

It has to be noted that the test method described herein is only a standardized method intended to give comparable efficiency figures for standardized test conditions. A motor ranking with respect to suitability for converter operation may be derived, but it is not possible to determine the actual motor losses for operation with a specific converter which would require a test of the whole power drive system (PDS).

Deviations are also expected for motors driven by multi-level voltage source or current source converters where the additional harmonic motor losses differ much more depending on speed and load than for two-level voltage source converters. Hence the determination of losses and efficiency should preferably use procedures where the motor is operated together with the same converter with which it is driven in service.

Another option is the determination of the additional harmonic motor losses by calculation. If this is requested by the customer, the converter manufacturer has to provide the pulse pattern for the motor manufacturer.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC induction motors

1 Scope

This technical specification specifies test methods for determining losses and efficiencies of converter-fed AC induction motors within the scope of IEC 60034-1. The AC induction motor is then part of a variable frequency power drive system (PDS) as defined in IEC 61800-2, IEC 61800-4 or IEC/TS 61800-8.

The additional harmonic losses determined by use of this technical specification are for comparison of different motor designs, but they are not appropriate to be used for efficiency determination of a PDS in a driven application with its wide range of torque versus speed operating points.

2 Normative references

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

IEC 60034-1, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60034-2-1:2007, *Rotating electrical machines – Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*

IEC 60034-2-2, *Rotating electrical machines – Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from test – Supplement to IEC 60034-2-1*

IEC 61000-2-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-4: Environment – Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*

IEC/TS 61800-8, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 8: Specification of voltage on the power interface*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document the terms and definitions given in IEC 60034-1, IEC 60034-2-1 as well as the following apply.

3.1

motor losses with converter supply

when powered by a converter, motor losses are a combination of losses caused by fundamental frequency (usually 50 Hz or 60 Hz) and losses caused by the converter harmonics

3.2

fundamental losses

fundamental losses in the motor can be segregated into five different components: iron losses (varying with motor frequency and applied fundamental voltage), friction and windage losses (varying with motor speed), rotor winding losses, stator winding losses and additional load losses (all three varying with motor current). Fundamental losses are the losses of a motor running with rated voltage at fundamental frequency (usually 50 Hz or 60 Hz), without any harmonics.

3.3

harmonic losses

harmonic losses are produced in the motor by the non-sinusoidal voltage and current waveforms generated by the converter and are in addition to the fundamental losses of iron, rotor-winding, stator-winding and additional-load loss.

4 Symbols and abbreviated terms

For the purposes of this document the symbols given in IEC 60034-2-1, IEC TS 61800-8 as well as the following apply.

PWM	Pulsewidth modulation,
f	Frequency, Hz,
f_{Mot}	Fundamental motor frequency, Hz,
f_{N}	Rated motor frequency, Hz,
f_{sw}	Switching frequency, Hz,
f_{r}	Maximum frequency of measuring equipment, Hz,
n	Speed, s^{-1}
p	Number of pole pairs,
P_{C}	Constant losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at nominally sinusoidal power supply, W,
P_{CC}	Constant losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at test-converter supply, W,
P_{fe}	Iron losses at rated frequency, W,
P_{fw}	Friction and windage losses at rated speed, W,
P_{fw0}	Friction and windage losses at synchronous speed, W,
P_{HL}	Total additional harmonic motor losses, W,
$P_{\text{HL Load}}$	Load-dependent part of the additional harmonic motor losses, W,
$P_{\text{HL No-Load}}$	Constant part of the additional harmonic motor losses, W,
P_{LL}	Additional load losses at rated load according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at nominally sinusoidal power supply, W,
P_{LLC}	Additional load losses at rated load according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at converter supply, W,
P_{Lr}	Residual losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at nominally sinusoidal power supply, W,
P_{LrC}	Residual losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at converter supply, W,
P_{r}	Rotor winding losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at nominally sinusoidal power supply, W,
P_{s}	Stator winding losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at nominally sinusoidal power supply, W,

P_{Tsin}	Total losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B at nominally sinusoidal power supply, W,
$P_{T \text{ test-converter}}$	Total losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B when supplied by the test converter, W,
P_1	Input power at nominally sinusoidal power supply, W,
P_{1C}	Input power at converter supply, W,
P_2	Output power at nominally sinusoidal power supply, W,
P_{2C}	Output power at converter supply, W,
r_{HL}	Ratio of harmonic voltage losses related to nominally sinusoidal voltage losses expressed in percentage and rounded to a full number,
s	Slip,
T	Machine torque at sinusoidal power supply, Nm,
T_C	Machine torque at converter supply, Nm,
U_{Mot}	Fundamental motor voltage, V,
U_N	Rated motor voltage, V.

5 Basic requirements

5.1 Instrumentation

5.1.1 General

In the case of AC machines, unless otherwise stated in this technical specification, the arithmetic average of the three line currents and voltages shall be used.

When testing electric motors under load, fluctuations in the output power and other measured quantities may be unavoidable. Therefore for each load point several measurements over a period of time (approximately 30 s) shall be simultaneously sampled and the average of these values shall be used for the determination of efficiency.

Considering the harmonics involved in converters feeding AC motors and their contribution to the motor losses, the measuring equipment has to be selected according to the range of relevant frequencies with sufficient accuracy.

For temperature measurements a thermo-sensor installed in the hot-spot may be optionally used, as described in IEC 60034-2-1:2007.

5.1.2 Power analyzer and transducers

The instrumentation for measuring power and current at the motor's input shall basically meet the requirements of IEC 60034-2-1:2007, but due to higher frequency components the following additional requirements have to be met.

The nominal accuracy of the power meters shall be 0,2 % or better at 50 Hz/60 Hz and 0,5 % up to a frequency f_r of at least:

$$f_r = 10 \times f_{sw} \text{ for PWM converter output.}$$

The measurement range shall be chosen adequately in relation to the measured currents and voltages.

It is preferred to feed current and voltage directly into the power analyser. If an external current transducer is required, no conventional current transformers shall be used. Instead, wide bandwidth shunts or zero-flux transducers shall be used.

The bandwidth of the current sensors and acquisition channels shall range at least from 0 Hz to 100 kHz.

Internal filters in digital power meters shall be turned off.

For power measurement the three-wattmeter method is recommended. The two-wattmeter method (Aaron-connection) is acceptable, but it has to be noted that not all available equipment is capable to compensate the possible errors of this method. This capability shall be verified from the equipment manufacturer data sheets.

All cables used to transmit measurement signals shall be shielded.

5.1.3 Mechanical output of the motor

The instrumentation for measuring torque and speed at the motor's output shall meet the requirements of IEC 60034-2-1:2007.

5.2 Converter set up

5.2.1 General

For all test methods using the test converter, it should be parameterized according to the requirements of this specification or, if a unique combination of converter and motor is to be tested, the converter should be parameterized for the specific application. The chosen parameter settings shall be recorded in the test report.

5.2.2 Test converter set up for rated voltages up to 1 kV

The test converter has to be understood as a voltage source independent of load current, set at rated voltage and fundamental frequency (50 Hz or 60 Hz) of the motor under test.

It has to be noted, that the so-called test converter operating mode is not intended or requested for any commercial application. The purpose of the test converter set up is only to establish comparable test conditions for motors designed for operation with commercially available converters.

The following reference conditions are defined:

- Two level voltage source converter.
- No motor current feedback control activated (to be deactivated, if necessary).
- "Slip compensation" shall not be applied.
- No additional components influencing output voltage or output current shall be installed between the test converter and the motor, except those required for the measuring instruments.
- Fundamental motor voltage equal to rated motor voltage $U_{\text{Mot}} = U_N$ at 50 Hz or 60 Hz. The input voltage of the test converter shall be set to a value that allows rated motor voltage to be applied and to avoid overmodulation. However the converter input voltage shall not be higher than just needed to fulfill the above.
- Fundamental motor frequency equal to rated motor frequency $f_{\text{Mot}} = f_N$ (50 Hz, 60 Hz).
- Switching frequency $f_{\text{SW}} = 4$ kHz for rated output powers up to 90 kW.
- Switching frequency $f_{\text{SW}} = 2$ kHz for output powers above 90 kW.

Annex A defines the test converter output stage and establishes test methods to check its conformity. The test converter can be fed by an appropriate AC or DC input.

A shielded cable shall connect the test converter to the motor. The cable length shall be less than 100 m. The cable size shall be selected according to the motor rating.

5.2.3 Testing with the converter for the final application

For converters with voltage ratings above 1 kV a generally accepted test converter and cable length cannot be specified. Such motors, cables and converters can only be tested as a complete power drive system because the pulse patterns of frequency converters for higher output powers vary between manufacturers and differ greatly between no-load and rated load.

6 Test methods for the determination of the efficiency of converter-fed motors

6.1 Test method (see Table 1)

Table 1 – Test methods

Ref	Method	Description	Subclause	Required facility
2-3-A	Summation of losses: Test converter supply	Harmonic loss determination with test-converter according to Annex A	6.2	Sinusoidal supply and test converter supply for full-load operation
2-3-B	Summation of losses: Supply with specific converter for final application	Harmonic loss determination with converter for final application	6.3	Sinusoidal supply and specific converter supply for full-load operation
2-3-C	Input-output	Torque measurement	6.4	Dynamometer for full-load; specific converter supply
2-3-D	Calorimetric	Loss determination from coolant temperature rise	6.5	Specific converter supply. Measurement according to IEC 60034-2-2

6.2 Method 2-3-A: Summation of losses with test converter supply

6.2.1 General

Even for voltage source converters with an output voltage and pulse pattern which is independent of load, experience has shown that the additional harmonic motor losses basically increase with load. For low voltage converters, a constant pulse pattern is generally the case as long as the voltage modulation amplitude is not reaching the limit of the intermediate circuit voltage.

Therefore, the total additional loss caused by converter supply can be determined from a load-test at fundamental frequency supply and a load-test at converter supply. The additional harmonic loss is the difference of the measured losses of both tests.

A sinusoidal voltage source according to IEC 61000-2-4, class 1, shall be available in addition to the converter to perform these tests (nominally sinusoidal power supply).

The converter used for these tests is a test converter as specified in Annex A. Using the test-converter allows for comparison of efficiency figures of different machines, because the pulse pattern is fixed and comparable. This is not the case for a specific converter with a specific control mechanism as described by method 2-3-B. In that case the output voltage depends on manufacturer specific control schemes.

6.2.2 Test procedure

The sequence of tests is as follows:

- Perform a load test with sinusoidal power supply of rated frequency and rated voltage according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.1 for the determination of the total losses P_{Tsin} .
- Determine the load losses according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.2.
- Perform a load curve test with sinusoidal power supply of rated frequency and rated voltage according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.3 and determine the losses accordingly.
- Perform a no-load test with sinusoidal power supply of rated frequency and rated voltage according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.4.
- Determine the constant losses P_C at sinusoidal power supply according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.5.
- Perform a load curve test with test converter supply of rated frequency and rated voltage according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.3 and determine the losses accordingly.
- Perform a no-load test with test converter supply of rated frequency and rated voltage according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.4.
- Determine the constant losses P_{CC} at test converter supply according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.5.

Load-dependent additional harmonic losses – Residual losses P_{LL} and P_{LLC}

Based on the above mentioned tests, the residual losses shall be determined according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B, 6.1.2.1.6.

The residual losses shall be determined for each load point by subtracting from the input power: the output power, the uncorrected stator winding losses at the resistance of the test, the iron losses, the windage and friction losses, and the uncorrected rotor winding losses corresponding to the determined value of slip.

This has to be done for sinusoidal power supply

$$P_{Lr} = P_1 - P_2 - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw}$$

and test converter supply

$$P_{LrC} = P_{1C} - P_{2C} - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw}.$$

P_{LrC} to be determined for the same load points as P_{Lr} .

Where

$$P_{fw} = P_{fw0} \cdot (1-s)^{2.5} \text{ with } s = 1 - \frac{p \times n}{f}$$

are the corrected friction and windage losses according to IEC 60034-2-1:2007.

For both cases the residual loss data shall be smoothed by using the linear regression analysis in accordance to IEC 60034-2-1, based on expressing the losses as a function of the square of the load torque:

$$P_{Lr} = A \cdot T^2 + B \quad \text{and} \quad P_{LrC} = A_C \cdot T_C^2 + B_C$$

When the slope constants A and A_C are established, a value of additional load losses for rated load point shall be determined for sinusoidal and converter supply respectively by using the formulas:

$$P_{LL} = A \cdot T_N^2 \quad \text{and} \quad P_{LLC} = A_C \cdot T_N^2$$

The additional load losses P_{LLC} cover now all load-dependent additional losses, i.e. those caused by the fundamental load current and the load-dependent part of those caused by the harmonics of the test converter.

The difference between the additional load losses for operation with the test converter and with a sinusoidal power supply gives the load-dependent part of the additional harmonic motor losses:

$$P_{HL\text{Load}} = P_{LLC} - P_{LL}$$

Constant additional harmonic losses – Constant losses P_C and P_{CC}

The difference between the no-load losses for operation with the test converter P_{CC} and with a sinusoidal power supply P_C is the constant part of the additional harmonic motor losses:

$$P_{HL\text{No-Load}} = P_{CC} - P_C$$

6.2.3 Efficiency determination

The difference between the additional load losses for operation with the test converter and with a sinusoidal power supply are the additional harmonic motor losses.

$$P_{HL} = P_{HL\text{No-Load}} + P_{HL\text{Load}}$$

The additional harmonic motor losses shall be added to the fundamental motor losses as determined with a sinusoidal power supply according to IEC 60034-2-1:2007, method 2-1-1B in order to obtain the motor efficiency under frequency converter operation.

$$P_{T\text{ test-converter}} = P_{T\text{ sin}} + P_{HL}$$

The efficiency at test converter supply is determined from

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{T\text{ test-converter}}}$$

The harmonic loss ratio is given by

$$\eta_{HL} = \frac{P_{HL}}{P_{T\text{ sin}}} \cdot 100 \%$$

It should be rounded to a full (integer) number.

6.3 Method 2-3-B: Summation of losses with specific converter supply

The total additional loss caused by converter supply shall be determined from a load-test at fundamental frequency supply and a load-test at converter supply with the specific converter for the final application. Apart from using the specific converter system, the test procedure is equal to method 2-3-A.

6.4 Method 2-3-C: Input-output method

6.4.1 Test set-up

This is a test method in which the mechanical power P_{2C} of a machine is determined by measurement of the shaft torque and speed. The electrical power P_{1C} of the stator is measured in the same test.

6.4.2 Test procedure

Tests shall be conducted with the specific converter for the final application and an assembled motor with the essential components in place, to obtain test conditions equal or very similar to normal operating conditions.

Couple the motor under test to a load machine with a dynamometer. Operate the machine under test at rated torque until thermal equilibrium (rate of change of 1 K or less per half hour) has been reached.

At the end of the test, record:

T Output torque

n Speed

P_{1C} Input power at specific converter supply

6.4.3 Efficiency determination

Calculate the output power:

$$P_{2C} = 2\pi \cdot T \cdot n$$

Calculate the efficiency:

$$\eta = \frac{P_{2C}}{P_{1C}}$$

6.5 Method 2-3-D: Calorimetric method

Efficiency may also be determined by calorimetric measurement of the total losses of the tested equipment within the primary or secondary water cooling circuit. Test procedures for this method shall be in accordance with IEC 60034-2-2.

7 Other procedures

If the motor rating exceeds the available testing capabilities, the determination of the additional harmonic losses caused by converter operation based on calculations may be an alternative procedure to give an order of magnitude of the additional losses. This calculation has to be based on the real pulse patterns of the converter, the frequency-dependent equivalent circuit parameters of the electric motor and by using motor models capable to cover the effects of the harmonics.

Annex A (informative)

Definition of the output voltage of the test converter

A.1 Definitions and schematic

For the purposes of this part of the document, the following terms and definitions apply in addition to Clause 4.

NP	Neutral point
SP	Star point
U_d, U_{d+}, U_{d-}	DC link voltages of the converter section. U_{d+} means the voltage of the positive rail, U_{d-} the potential of the negative rail with reference to NP.
U_U, U_V, U_W	Phase to NP voltages at the inverter output; block shaped in steady state operation.
U^*_U, U^*_V, U^*_W	Set-points of the phase to NP voltages at the inverter output.
U_{UD}, U_{VD}, U_{WD}	Phase to starpoint voltages at the inverter output; block shaped in steady state operation.
$U^*_{UD}, U^*_{VD}, U^*_{WD}$	Set-points of the phase to starpoint voltages; sinusoidal in steady state operation.
U_{CCM}	Common mode voltage related to the star point of the motor.
U_{ref}	Amplitude of set-points of the phase voltages of the motor; constant in steady state operation
f_{1ref}	Frequency set-point of the motor voltage; constant in steady state operation.
U^*_{ext}	Linearity extension voltage. Common mode voltage used in the modulator.
S_U, S_V, S_W	Switching commands for the inverter phases.

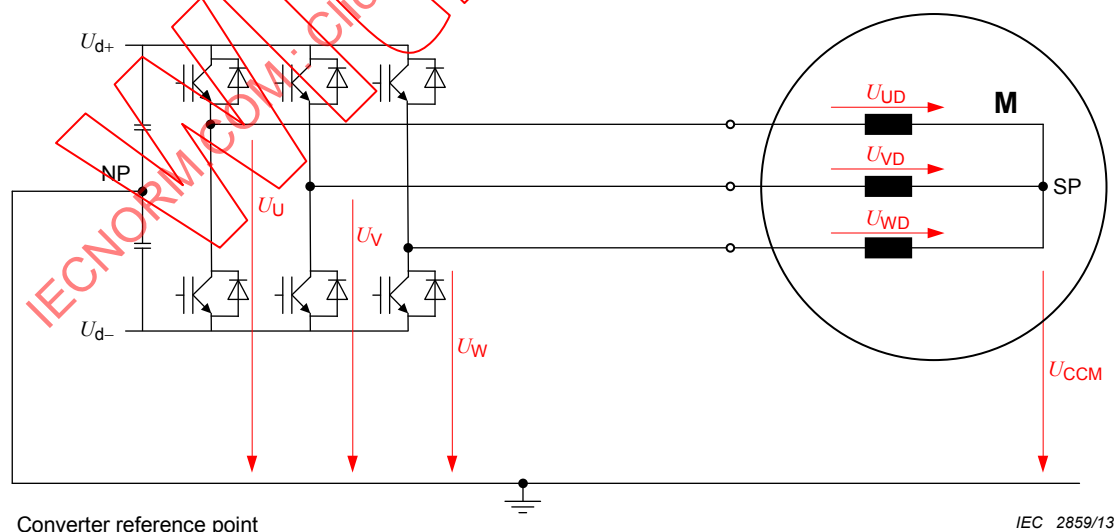


Figure A.1 – Schematic for PDS

Figure A.1 shows star-connected motor, nevertheless the technical specification can also be applied to delta-connected motors with internal or external star-points.

The output voltage of the inverter (U_U, U_V, U_W) can be divided into the differential mode (also known as symmetrical) voltage system (U_{UD}, U_{VD}, U_{WD}) and the common mode voltage to the reference point of the converter (U_{CCM}).

The differential mode voltage expresses the voltages of the three motor phases. For each phase, it can be calculated as the difference of the inverter output voltage and the common mode voltage.

This is e.g. for phase U :

$$U_{UD} = U_U - U_{CCM}$$

The common mode voltage can be calculated as follows:

$$U_{CCM} = (U_U + U_V + U_W) / 3$$

A.2 Voltage reference and generation of output voltage waveform

This clause describes a method to realize the pulse pattern of the test inverter and it explains, why the measurements should look like shown in Figure A.3.

A basic controller generates the set points of the absolute value of the desired motor voltage and the motor frequency U_{ref}, f_{1ref} for steady state operation.

The sinusoidal voltage set points ($U_{UD}^*, U_{VD}^*, U_{WD}^*$) to be applied to the motor are computed in the converter controller.

$$U_{UD}^* = U_{ref} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{1ref} \cdot t)$$

$$U_{VD}^* = U_{ref} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{1ref} \cdot t - 2\pi/3)$$

$$U_{WD}^* = U_{ref} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{1ref} \cdot t + 2\pi/3)$$

Then a linearity extension signal U_{ext}^* is added to all voltage set points. The linearity extension signal is a common mode voltage that increases the voltage range, in which the motor voltage corresponds to the set point without low order harmonics.

$$U_U^* = U_{UD}^* + U_{ext}^*$$

$$U_V^* = U_{VD}^* + U_{ext}^*$$

$$U_W^* = U_{WD}^* + U_{ext}^*$$

Finally these signals are compared to a switching triangle to compute the pulse pattern S_U, S_V, S_W . The switching triangle is a periodic symmetrical triangle waveform, the frequency of which defines the switching frequency of the inverter. The inverter generates the output voltages (U_U, U_V, U_W) according to the pulse pattern. The block diagram in Figure A.2 describes the system.

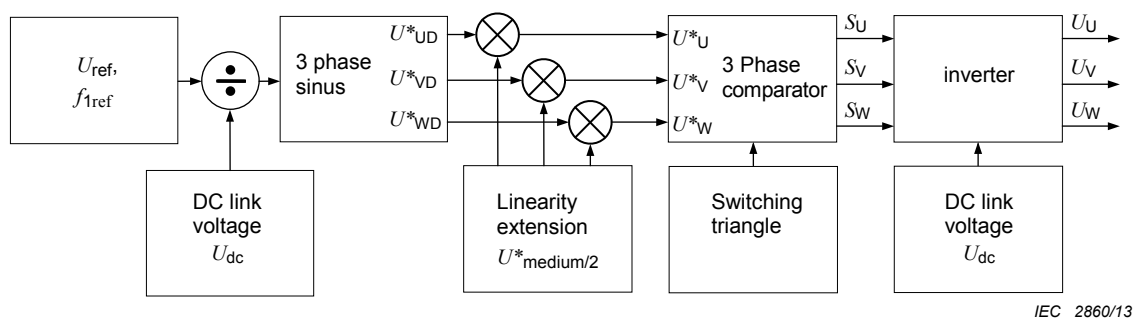


Figure A.2 – Functional schematic for voltage generation system

The linearity extension signal U^*_{ext} to be used in the test inverter is defined as half of the medium of the 3 sinusoidal voltage set points (U^*_{UD} , U^*_{VD} , U^*_{WD}). The medium voltage is the one with the lowest absolute value. The correlation is illustrated in Figure A.3 below:

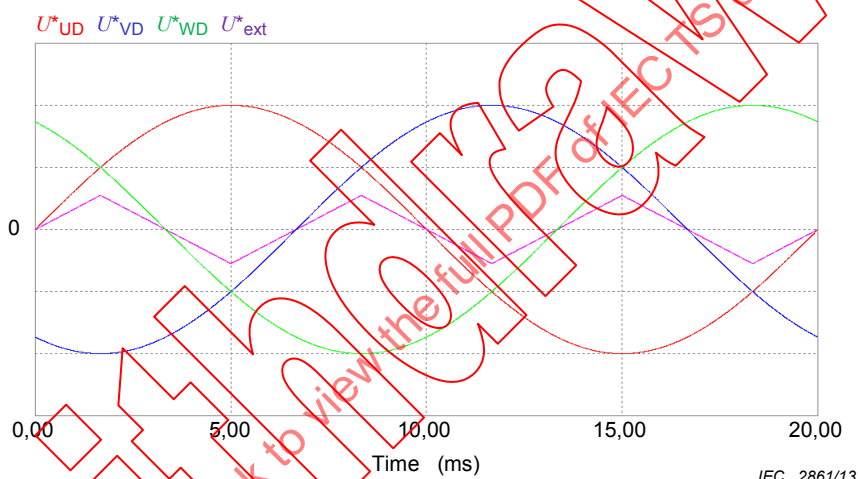


Figure A.3 – Sinusoidal voltage set point and linearity extension voltage

The sinusoidal voltage set point and the resulting reference voltage to be compared to the switching triangle are shown Figure A.4 for phase U :

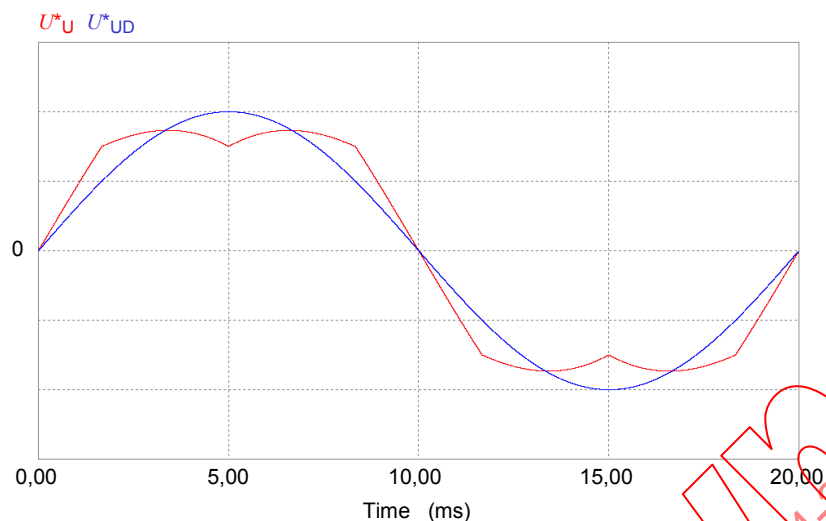
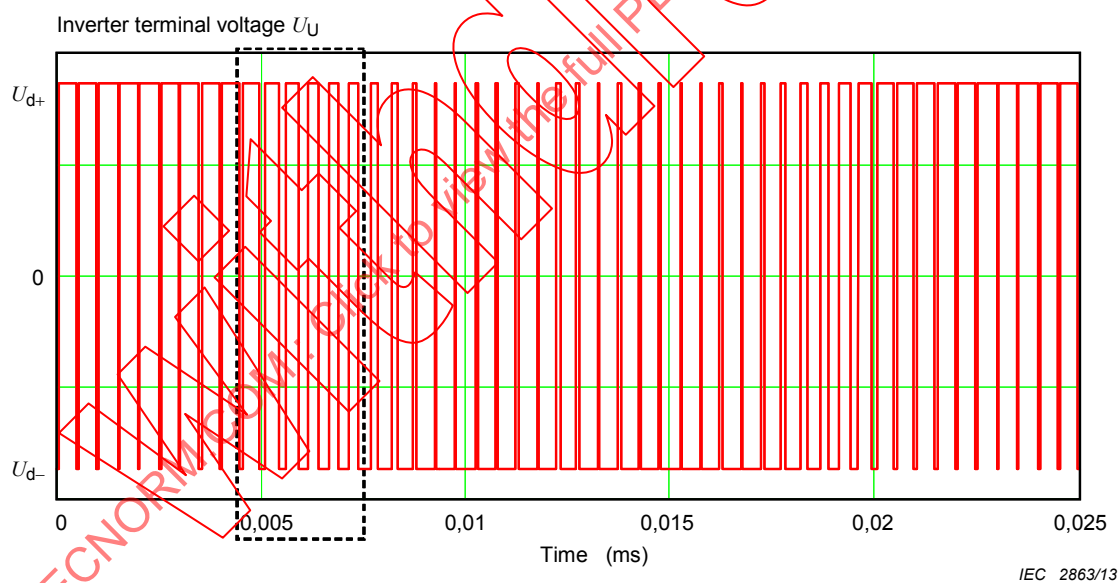


Figure A.4 – Voltage set point and extended reference voltage

The output voltage of the inverter measured between the inverter terminal and NP corresponds to the pattern resulting from the comparison of the extended reference voltage with the switching triangle (see A.2). It is exemplified in Figures A.5 and A.6 for a fundamental frequency of 50 Hz and a switching triangle frequency of 4 kHz.



**Figure A.5 – Pulse pattern of motor terminal voltage
(fundamental frequency 50 Hz; switching triangle frequency 4 kHz)**

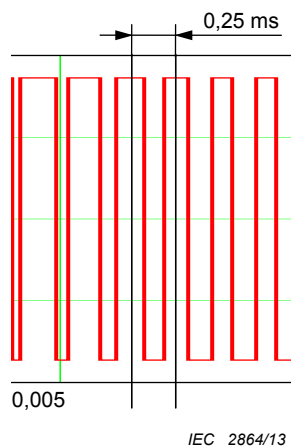


Figure A.6 – Magnification of marked area of Figure A.5

The distance between the centers of any two adjacent blocks is the reciprocal value of the switching triangle frequency which is identical with the switching frequency of the inverter.

A.3 Checking in the time domain

To check the correct pattern of voltage and frequency applied to the motor, a measurement shall be done at the operation point defined in 5.2.2.

The terminal voltage U_U of the inverter shall look as shown in Figures A.5. and A.6. No pulse shall be missing. The distance between the centers of two adjacent blocks shall be 0,25 ms for a switching frequency of 4 kHz or 0,5 ms for a switching frequency of 2 kHz.

If there are missing pulses, the DC link voltage shall be increased.

To check whether the linearity extension is correctly applied, the terminal voltage U_U shall be measured through a low pass filter. Figure A.7 shows how the signal should look like.

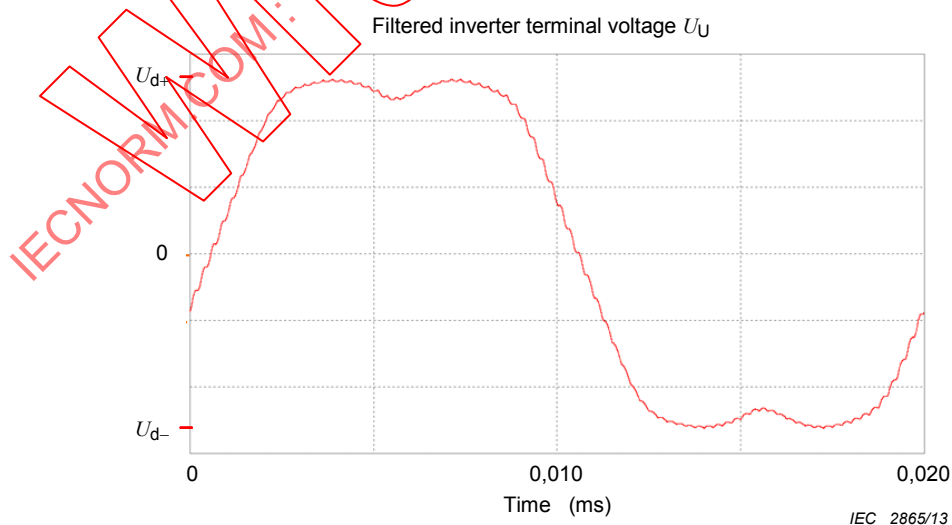


Figure A.7 – Filtered inverter terminal voltage (fundamental frequency of 50 Hz; 2nd order low pass filter 500 Hz / 0,7)

Only the shape form with double extrema is specific, the signal shall not show any sign of saturation such as a flat segment at the top or at the bottom.

Alternatively the terminal voltage may be measured with respect to the positive or the negative DC rail potential, resulting in an offset of $-/+U_d/2$.

The earth potential is not suitable as reference potential.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-2-3:2013

Withdawn

Bibliography

IEC/TS 60034-25, *Rotating electrical machines – Part 25: Guidance for the design and performance of a.c. motors specifically designed for converter supply*

IEC 61800-2, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 2: General requirements – Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems*

IEC 61800-4, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 4: General requirements – Rating specifications for high voltage adjustable frequency a.c. power drive systems above 1000 V a.c., and not exceeding 35 kV*

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-2-3:2013

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	24
INTRODUCTION	26
1 Domaine d'application	28
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	28
4 Symboles et abréviations	29
5 Exigences fondamentales	30
5.1 Instrumentation	30
5.1.1 Généralités	30
5.1.2 Analyseur de puissance et transducteurs	31
5.1.3 Sortie mécanique du moteur	31
5.2 Configuration du convertisseur	31
5.2.1 Généralités	31
5.2.2 Configuration du convertisseur de référence pour des tensions assignées jusqu'à 1 kV	31
5.2.3 Essais avec le convertisseur destiné à l'application finale	32
6 Méthodes d'essai pour la détermination du rendement des moteurs alimentés par convertisseur	33
6.1 Méthodes d'essai (voir Tableau 1)	33
6.2 Méthode 2-3-A: Sommation des pertes avec alimentation du convertisseur de référence	33
6.2.1 Généralités	33
6.2.2 Procédure d'essai	34
6.2.3 Détermination du rendement	35
6.3 Méthode 2-3-B: Sommation des pertes avec alimentation par le convertisseur spécifique	36
6.4 Méthode 2-3-C: Méthode entrée-sortie	36
6.4.1 Installation d'essai	36
6.4.2 Procédure d'essai	36
6.4.3 Détermination du rendement	36
6.5 Méthode 2-3-D: Méthode calorimétrique	36
7 Autres procédures	36
Annexe A (informative) Définition de la tension de sortie du convertisseur de référence	38
A.1 Définitions et schéma	38
A.2 Référence de tension et génération de forme d'onde de la tension de sortie	39
A.3 Vérification dans le domaine temporel	42
Bibliographie	44
Figure A.1 – Schéma relatif à un PDS	38
Figure A.2 – Schéma fonctionnel du système de génération de tension	40
Figure A.3 – Point de consigne de tension sinusoïdale et tension d'extension de linéarité	40
Figure A.4 – Point de consigne de tension et tension de référence étendue	41
Figure A.5 – Séquence d'impulsions de tension aux bornes du moteur (fréquence fondamentale 50 Hz; fréquence du triangle de commutation 4 kHz)	41

Figure A.6 – Grossissement de la zone marquée de la Figure A.5	42
Figure A.7 – Tension aux bornes de l'onduleur filtrée (fréquence fondamentale de 50 Hz; filtre passe-bas du 2 ^{ème} ordre 500 Hz/0,7).....	42
Tableau 1 – Méthodes d'essai	33

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC TS 60034-2-3:2013

Withdrawing

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 2-3: Méthodes d'essai spécifiques pour la détermination des pertes et du rendement des moteurs à induction en courant alternatif alimentés par convertisseur

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

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

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

La CEI/TS 60034-2-3, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 2 de la CEI: Machines tournantes.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
2/1696/DTS	2/1719/RVC

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

NOTE Un tableau des correspondances de toutes les publications du comité d'études 2 de la CEI peut être trouvé sur le site web de la CEI, à la page d'accueil de ce comité.

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

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

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Le but de la présente spécification est de définir des méthodes d'essai pour la détermination des pertes supplémentaires par harmoniques des moteurs à induction alimentés par convertisseur. Ces pertes se produisent en plus des pertes sous alimentation sinusoïdale telles que déterminées par les méthodes de la CEI 60034-2-1. Les résultats déterminés en fonction de la présente spécification permettent de comparer les pertes par harmoniques de différents moteurs à induction en courant alternatif alimentés par convertisseur.

Dans les systèmes d'entraînement électriques de puissance (PDS: power-drive systems), le moteur et le convertisseur de fréquence sont souvent fabriqués par différents fournisseurs. Des moteurs de même conception sont produits en grande quantité. Certains d'entre eux peuvent être exploités à partir du réseau, d'autres à partir de convertisseurs de fréquence dont les différents types sont nombreux, de même que les fabricants. Les réglages individuels des convertisseurs (fréquence de commutation, niveau de tension du bus continu, etc.) peuvent aussi avoir une influence sur le rendement du système. Il n'est pas réaliste de déterminer les pertes supplémentaires par harmoniques du moteur pour chaque combinaison de moteur, de convertisseur de fréquence, de câble, de filtre de sortie et de réglage des paramètres. Compte tenu du fait qu'il est extrêmement difficile de spécifier le rendement des moteurs alimentés par convertisseur, la présente spécification précise un nombre limité d'approches en fonction du niveau de tension et des caractéristiques assignées de la machine en essai.

Les procédures décrites dans la présente spécification donnent lieu à une valeur unique, le rapport des pertes par harmoniques k_{HL} , qui est le rapport des pertes supplémentaires par harmoniques du moteur aux pertes du moteur mesurées avec une alimentation en tension nominale sinusoïdale.

Les pertes déterminées conformément à la présente spécification ne sont pas destinées à représenter les pertes dans l'application finale. Elles fournissent cependant une base objective de comparaison des différentes conceptions des moteurs quant à leur adaptation à un fonctionnement avec des convertisseurs.

Les méthodes données dans la présente spécification technique sont prévues pour les moteurs à induction utilisés avec des convertisseurs à fréquences variables. Cependant, l'application à d'autres moteurs en courant alternatif ou à d'autres moteurs en courant continu et leurs convertisseurs, n'est pas exclue. Les méthodes sont principalement destinées à être appliquées aux moteurs alimentés par des convertisseurs de source de tension.

Généralement, lorsque le moteur est alimenté par un convertisseur, ses pertes sont plus élevées que lorsqu'il fonctionne alimenté par un système sinusoïdal. Les pertes supplémentaires par harmoniques dépendent du spectre d'harmoniques de la grandeur électrique imposée par le convertisseur (courant ou tension) qui est influencé par ses circuits et sa méthode de contrôle. Pour de plus amples informations, voir la CEI/TS 60034-25.

La présente spécification technique vise à évaluer les pertes supplémentaires par harmoniques d'un moteur, résultant de son alimentation électrique non sinusoïdale et par conséquent le rendement du moteur alimenté par le convertisseur. Le but de la présente spécification technique n'est pas de définir des procédures d'essai, ni pour les systèmes d'entraînement électriques de puissance, ni pour des convertisseurs de fréquence seuls.

La présente spécification technique est applicable aux moteurs de caractéristiques assignées pour une fréquence fondamentale de 50 Hz ou 60 Hz. Cependant, la procédure d'essai peut être appliquée à d'autres moteurs de fréquences fondamentales différentes à condition de disposer d'une source d'alimentation appropriée. Par exemple, un moteur 4 pôles utilisé à 3 000 t/min peut être soumis à essai à 100 Hz et une tension assignée réelle.

Moteurs à basse tension

L'expérience a montré que les pertes supplémentaires par harmoniques du moteur augmentent généralement en fonction de la charge. Les méthodes données dans la présente spécification technique sont fondées sur des alimentations fournies par des convertisseurs à modulation de largeur d'impulsions (MLI) et séquence d'impulsions constante. Ceci est généralement le cas pour les convertisseurs de source de tension, sauf pour la surmodulation. Ces convertisseurs de source de tension occupent, et de loin, la plus grande part du marché de l'entraînement à basse tension industrielle.

Pour ce qui concerne ces types de convertisseurs et compte tenu du besoin grandissant de vérifier leur conformité avec les réglementations nationales en matière de rendement énergétique, la présente spécification technique introduit un appareil désigné convertisseur de référence utilisé pour les essais des moteurs à basse tension.

En principe, le convertisseur de référence représente une source de tension à contenu harmonique clairement défini et reproductible permettant d'alimenter la machine en essai. Le rendement du moteur est à déterminer à la charge assignée à 50 Hz ou 60 Hz. Les conditions d'essai définies à 50 Hz ou 60 Hz permettent de pouvoir procéder à une comparaison directe du rendement du moteur alimenté par le réseau et le convertisseur.

Le concept de convertisseur de référence ci-dessus est une nouvelle approche d'évaluation de l'impact du convertisseur sur une machine électrique sans être forcé d'utiliser le convertisseur final pour l'essai. En publiant cette spécification technique, les laboratoires d'essai sont invités à acquérir de l'expérience pratique avec cette approche, afin d'apporter un retour d'informations et affiner la procédure d'essai.

Limitations relatives aux moteurs à basse tension et aux moteurs à haute tension avec des convertisseurs multiniveaux

Il est à noter que la méthode d'essai décrite ici ne constitue qu'une méthode normalisée destinée à fournir des valeurs de rendement comparables dans des conditions d'essai normalisées. Un classement des moteurs en termes d'adaptation pour un fonctionnement avec convertisseur peut être obtenu, mais il n'est pas possible de déterminer les pertes réelles du moteur pour un fonctionnement avec un convertisseur spécifique qui nécessiterait de réaliser un essai de l'ensemble du système d'entraînement électrique de puissance (PDS).

Des déviations sont attendues pour les moteurs entraînés par des convertisseurs multiniveaux à source de tension ou à source de courant pour lesquels les pertes supplémentaires par harmoniques du moteur diffèrent beaucoup plus avec la vitesse et la charge que pour les convertisseurs de source de tension à deux niveaux. Par conséquent, pour déterminer les pertes et le rendement, il convient d'utiliser de préférence des procédures dans lesquelles le moteur fonctionne avec le même convertisseur que celui qui est utilisé en exploitation.

Une autre option consiste à déterminer les pertes supplémentaires par harmoniques du moteur par calcul. Lorsque cette détermination est exigée par le client, le fabricant du convertisseur est tenu de fournir la séquence d'impulsions au fabricant du moteur.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 2-3: Méthodes d'essai spécifiques pour la détermination des pertes et du rendement des moteurs à induction en courant alternatif alimentés par convertisseur

1 Domaine d'application

La présente spécification technique spécifie les méthodes d'essai relatives à la détermination des pertes et du rendement des moteurs à induction en courant alternatif alimentés par convertisseur relevant du domaine d'application de la CEI 60034-1. Le moteur à induction à courant alternatif est alors considéré comme faisant partie intégrante d'un système d'entraînement électrique de puissance (PDS) à fréquence variable tel que défini dans la CEI 61800-2, la CEI 61800-4 ou la CEI/TS 61800-8.

Les pertes supplémentaires par harmoniques déterminées en utilisant la présente spécification technique sont destinées à la comparaison des différentes conceptions de moteurs, mais elles ne peuvent pas être utilisées pour la détermination du rendement d'un PDS dans une application d'entraînement avec sa plage étendue de fonctionnement dans le plan couple en fonction de la vitesse.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60034-1, *Machines électriques tournantes – Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement*

CEI 60034-2-1:2007, *Machines électriques tournantes – Partie 2-1: Méthodes normalisées pour la détermination des pertes et du rendement à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)*

CEI 60034-2-2, *Machines électriques tournantes – Partie 2-2: Méthodes spécifiques pour déterminer les pertes séparées des machines de grande taille à partir d'essais – Complément à la CEI 60034-2-1*

CEI 61000-2-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-4: Environnement – Niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites à basse fréquence*

CEI/TS 61800-8, *Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems – Part 8: Specification of voltage on the power interface* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60034-1, la CEI 60034-2-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

pertes du moteur avec alimentation par le convertisseur

lorsqu'un moteur est alimenté par un convertisseur, les pertes du moteur sont constituées de la combinaison des pertes induites par la fréquence fondamentale (généralement 50 Hz ou 60 Hz) et des pertes induites par les harmoniques du convertisseur

3.2

pertes dues à la fréquence fondamentale

les pertes dues à la fréquence fondamentale dans le moteur peuvent être séparées en cinq différentes composantes: les pertes dans le fer (variant avec la fréquence du moteur et la tension fondamentale appliquée), les pertes par frottement et par ventilation (variant avec la vitesse du moteur), les pertes dans l'enroulement du rotor, les pertes dans l'enroulement du stator et les pertes supplémentaires en charge (variant toutes trois avec le courant du moteur). Les pertes dues à la fréquence fondamentale sont les pertes d'un moteur fonctionnant à la tension assignée à la fréquence fondamentale (généralement 50 Hz ou 60 Hz), sans harmonique.

3.3

pertes dues aux fréquences harmoniques

les pertes dues aux fréquences harmoniques sont générées dans le moteur par les formes d'onde de tension et courant non sinusoïdales produites par le convertisseur, et s'ajoutent aux pertes dues à la fréquence fondamentale dans le fer, dans l'enroulement du rotor, dans l'enroulement du stator et aux pertes supplémentaires en charge.

4 Symboles et abréviations

Pour les besoins du présent document, les symboles donnés dans la CEI 60034-2-1, la CEI/TS 61800-8, ainsi que les suivants s'appliquent.

MLI	Modulation de largeur d'impulsions,
f	Fréquence, Hz,
f_{Mot}	Fréquence fondamentale du moteur, Hz,
f_N	Fréquence assignée du moteur, Hz,
f_{sw}	Fréquence de commutation, Hz,
f_r	Fréquence maximale de l'équipement de mesure, Hz,
n	Vitesse, s^{-1}
p	Nombre de paires de pôles,
P_C	Pertes constantes conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation nominale sinusoïdale, W,
P_{CC}	Pertes constantes conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation par le convertisseur de référence, W,
P_{fe}	Pertes dans le fer à la fréquence assignée, W,
P_{fw}	Pertes par frottement et par ventilation à la vitesse assignée, W,
P_{fw0}	Pertes par frottement et par ventilation à la vitesse synchrone, W,
P_{HL}	Pertes supplémentaires totales par harmoniques du moteur, W,
$P_{\text{HL Load}}$	Partie dépendant de la charge des pertes supplémentaires par harmoniques du moteur, W,
$P_{\text{HL No-Load}}$	Partie constante des pertes supplémentaires par harmoniques du moteur, W,
P_{LL}	Pertes supplémentaires en charge à la charge assignée conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation nominale sinusoïdale, W,

P_{LLC}	Pertes supplémentaires en charge à la charge assignée conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation par le convertisseur, W,
P_{Lr}	Pertes résiduelles conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation nominale sinusoïdale, W,
P_{LrC}	Pertes résiduelles conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation par le convertisseur, W,
P_r	Pertes dans l'enroulement du rotor conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation nominale sinusoïdale, W,
P_s	Pertes dans l'enroulement du stator conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation sinusoïdale, W,
P_{Tsin}	Pertes totales conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation nominale sinusoïdale, W,
$P_{T \text{ test-converter}}$	Pertes totales conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B avec alimentation par le convertisseur de référence, W,
P_1	Puissance d'entrée avec alimentation nominale sinusoïdale, W,
P_{1C}	Puissance d'entrée avec alimentation par le convertisseur, W,
P_2	Puissance de sortie avec alimentation nominale sinusoïdale, W,
P_{2C}	Puissance de sortie avec alimentation par le convertisseur, W,
r_{HL}	Rapport des pertes de tension harmonique aux pertes de tension nominale sinusoïdale, exprimé en pourcentage et arrondi à une valeur entière,
s	Glissement,
T	Couple de la machine avec alimentation sinusoïdale, Nm,
T_C	Couple de la machine avec alimentation par le convertisseur, Nm,
U_{Mot}	Tension fondamentale du moteur, V,
U_N	Tension assignée du moteur, V.

5 Exigences fondamentales

5.1 Instrumentation

5.1.1 Généralités

S'agissant de machines à courant alternatif, sauf spécification contraire dans la présente spécification technique, la moyenne arithmétique des trois courants et tensions de ligne doit être utilisée.

Dans le cadre des essais de moteurs électriques en charge, des fluctuations de la puissance de sortie et des autres grandeurs mesurées peuvent être inévitables. Par conséquent, pour chaque point de charge, plusieurs mesures réalisées sur une durée donnée (environ 30 s) doivent être prises simultanément, et la moyenne de ces valeurs doit être utilisée pour déterminer le rendement.

Si l'on considère les harmoniques impliqués dans les convertisseurs alimentant les moteurs en courant alternatif et leur contribution aux pertes du moteur, le matériel de mesure est à choisir conformément à la gamme des fréquences correspondante, avec une précision suffisante.

Pour les mesures de température, un détecteur thermique installé au point chaud peut être utilisé en option, comme indiqué dans la CEI 60034-2-1:2007.

5.1.2 Analyseur de puissance et transducteurs

L'instrumentation pour mesurer la puissance et le courant à l'entrée du moteur doit en fait satisfaire aux exigences de la CEI 60034-2-1:2007, mais compte tenu des composantes de fréquence plus élevées, les exigences supplémentaires suivantes sont à satisfaire.

La précision nominale des wattmètres doit être de 0,2 % ou mieux à 50 Hz/60 Hz et de 0,5 % jusqu'à une fréquence f_r au moins égale à:

$$f_r = 10 \times f_{sw} \text{ pour la sortie du convertisseur à MLI.}$$

La gamme de mesure doit être choisie de manière appropriée par rapport aux courants et aux tensions mesurés.

Il est préférable d'injecter le courant et la tension directement dans l'analyseur de puissance. Si un transducteur de courant externe est exigé, aucun transformateur de courant conventionnel ne doit être utilisé. Des résistances shunt ou des transducteurs à flux nul à large bande passante doivent être utilisés à la place.

La bande passante des détecteurs de courant et des canaux d'acquisition doit au moins s'étendre de 0 Hz à 100 kHz.

Les filtres internes des wattmètres numériques doivent être désactivés.

Pour la mesure de puissance, il est recommandé d'appliquer la méthode des trois wattmètres. La méthode des deux wattmètres (connexion Aaron) est acceptable, mais il est à noter que les équipements disponibles ne sont pas tous capables de compenser les erreurs possibles de cette méthode. Cette possibilité doit être vérifiée à partir des fiches techniques des fabricants des équipements.

Tous les câbles utilisés pour la transmission des signaux de mesure doivent être blindés.

5.1.3 Sortie mécanique du moteur

L'instrumentation pour mesurer le couple et la vitesse à la sortie du moteur doit satisfaire aux exigences de la CEI 60034-2-1:2007.

5.2 Configuration du convertisseur

5.2.1 Généralités

Pour toutes les méthodes d'essai utilisant le convertisseur de référence, il convient de le paramétrer conformément aux exigences de la présente spécification ou, si une combinaison particulière de convertisseur et de moteur est à soumettre aux essais, il convient que le convertisseur soit paramétré pour cette application spécifique. Les réglages de paramètre choisis doivent être indiqués dans le rapport d'essai.

5.2.2 Configuration du convertisseur de référence pour des tensions assignées jusqu'à 1 kV

Le convertisseur de référence est à considérer comme une source de tension indépendante du courant de la charge, réglée à la tension assignée et à la fréquence fondamentale (50 Hz ou 60 Hz) du moteur en essai.

Il est à noter que le mode de fonctionnement avec le convertisseur de référence n'est prévu ou requis pour aucune application commerciale. La configuration d'essai du convertisseur de référence n'a pour objet que d'établir des conditions d'essai comparables pour les moteurs conçus pour fonctionner avec des convertisseurs disponibles dans le commerce.

Les conditions de référence suivantes sont définies:

- Convertisseur de source de tension à deux niveaux.
- Aucune commande en contre-réaction de courant du moteur activée (à désactiver si nécessaire).
- La "compensation de glissement" ne doit pas être appliquée.
- Aucun composant supplémentaire ayant une incidence sur la tension de sortie ou le courant de sortie ne doit être installé entre le convertisseur de référence et le moteur, à l'exception de ceux requis pour les instruments de mesure.
- La tension fondamentale du moteur est égale à la tension assignée du moteur $U_{\text{Mot}} = U_N$ à 50 Hz ou 60 Hz. La tension d'entrée du convertisseur de référence doit être réglée à une valeur correspondant à la tension assignée du moteur à appliquer et permettant d'éviter la surmodulation. Cependant, la tension d'entrée du convertisseur ne doit pas être supérieure à la valeur juste nécessaire pour satisfaire aux conditions ci-dessus.
- La fréquence fondamentale du moteur est égale à la fréquence assignée du moteur $f_{\text{Mot}} = f_N$ (50 Hz, 60 Hz).
- La fréquence de commutation $f_{\text{SW}} = 4 \text{ kHz}$ pour des puissances de sortie assignées inférieures ou égales à 90 kW.
- La fréquence de commutation $f_{\text{SW}} = 2 \text{ kHz}$ pour des puissances de sortie supérieures à 90 kW.

L'Annexe A définit l'étage de sortie du convertisseur de référence et établit les méthodes d'essai permettant de vérifier sa conformité. Le convertisseur de référence peut être alimenté par une source d'entrée en courant alternatif ou continu appropriée.

Un câble blindé doit relier le convertisseur de référence au moteur. La longueur du câble doit être inférieure à 100 m. Les dimensions du câble doivent être sélectionnées en fonction des caractéristiques assignées du moteur.

5.2.3 Essais avec le convertisseur destiné à l'application finale

Pour les convertisseurs ayant une tension assignée supérieure à 1 kV, il n'est pas possible de spécifier un convertisseur de référence et une longueur de câble acceptables. Ces moteurs, câbles et convertisseurs ne peuvent être soumis aux essais qu'en tant que système d'entraînement de puissance complet, du fait que la séquence des impulsions des convertisseurs de fréquence pour des puissances de sortie élevées est différente entre les fabricants et est très différente entre l'absence de charge et la charge assignée.

6 Méthodes d'essai pour la détermination du rendement des moteurs alimentés par convertisseur

6.1 Méthodes d'essai (voir Tableau 1)

Tableau 1 – Méthodes d'essai

Réf	Méthode	Description	Paragraphe	Dispositifs requis
2-3-A	Récapitulatif des pertes: Alimentation du convertisseur de référence	Détermination des pertes dues aux fréquences harmoniques avec convertisseur de référence selon l'Annexe A	6.2	Alimentation sinusoïdale et alimentation par le convertisseur de référence pour fonctionnement à pleine charge.
2-3-B	Sommation des pertes: Alimentation avec convertisseur spécifique destiné à l'application finale	Détermination des pertes dues aux fréquences harmoniques avec convertisseur destiné à l'application finale	6.3	Alimentation sinusoïdale et alimentation par le convertisseur spécifique pour fonctionnement à pleine charge.
2-3-C	Entrée-sortie	Mesure du couple	6.4	Dynamomètre pour pleine charge; alimentation par le convertisseur spécifique
2-3-D	Calorimétrique	Détermination des pertes à partir de l'élévation de température du liquide de refroidissement	6.5	Alimentation par le convertisseur spécifique. Mesure conformément à la CEI 60034-2-2

6.2 Méthode 2-3-A: Sommation des pertes avec alimentation du convertisseur de référence

6.2.1 Généralités

Même pour les convertisseurs de source de tension avec une tension de sortie et une séquence d'impulsions indépendante de la charge, l'expérience a montré que les pertes supplémentaires par harmoniques du moteur augmentent généralement en fonction de la charge. Pour les convertisseurs à basse tension, la séquence d'impulsions est généralement constante tant que l'amplitude de modulation de tension n'atteint pas la limite de la tension du circuit intermédiaire.

Par conséquent, les pertes supplémentaires totales induites par l'alimentation par convertisseur peuvent être déterminées à partir d'un essai en charge avec alimentation à la fréquence fondamentale, et à partir d'un essai en charge avec alimentation par le convertisseur. La perte supplémentaire due aux fréquences harmoniques est la différence entre les pertes mesurées des deux essais.

En plus du convertisseur, une source de tension sinusoïdale conforme à la classe 1 de la CEI 61000-2-4 doit être disponible pour réaliser ces essais (alimentation nominale sinusoïdale).

Le convertisseur utilisé pour ces essais est un convertisseur de référence tel que spécifié à l'Annexe A. L'utilisation du convertisseur de référence permet de comparer les valeurs de rendement des différentes machines, dans la mesure où la séquence d'impulsions est fixe et comparable. Cela ne s'applique pas au convertisseur spécifique avec un mécanisme de contrôle spécifique tel que décrit dans la méthode 2-3-B. Dans ce cas, la tension de sortie dépend des configurations de contrôle spécifiques du fabricant.

6.2.2 Procédure d'essai

La séquence d'essais est la suivante:

- Réaliser un essai en charge avec une alimentation sinusoïdale de fréquence assignée et une tension assignée conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.1 pour la détermination des pertes totales P_{Tsin} .
- Déterminer les pertes en charge conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.2.
- Réaliser un essai de la courbe de charge avec une alimentation sinusoïdale de fréquence assignée et une tension assignée conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.3 et déterminer les pertes en conséquence.
- Réaliser un essai à vide avec une alimentation sinusoïdale de fréquence assignée et une tension assignée conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.4.
- Déterminer les pertes constantes P_C avec une alimentation sinusoïdale conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.5.
- Réaliser un essai de la courbe de charge avec une alimentation du convertisseur de référence de fréquence assignée et une tension assignée conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.3 et déterminer les pertes en conséquence.
- Réaliser un essai à vide avec une alimentation du convertisseur de référence de fréquence assignée et une tension assignée conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.4.
- Déterminer les pertes constantes P_{CC} avec une alimentation du convertisseur de référence conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.5.

Pertes supplémentaires par harmoniques dépendant de la charge – Pertes résiduelles P_{LL} et P_{LLC}

Sur la base des essais mentionnés ci-dessus, les pertes résiduelles doivent être déterminées conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B, 6.1.2.1.6.

Les pertes résiduelles doivent être déterminées pour chaque point de charge en soustrayant de la puissance d'entrée: la puissance de sortie, les pertes dans l'enroulement du stator non corrigées à la résistance de l'essai, les pertes dans le fer, les pertes par frottement et par ventilation et les pertes dans l'enroulement du rotor non corrigées correspondant à la valeur déterminée du glissement.

Ceci est à réaliser avec l'alimentation sinusoïdale

$$P_{Lr} = P_1 - P_2 - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw}$$

et l'alimentation du convertisseur de référence

$$P_{LrC} = P_{1C} - P_{2C} - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw}.$$

P_{LrC} à déterminer pour les mêmes points de charge que pour P_{Lr} .

où

$$P_{fw} = P_{fw0} \cdot (1-s)^{2,5} \text{ avec } s = 1 - \frac{p \times n}{f}$$

sont les pertes par frottement et par ventilation corrigées conformément à la CEI 60034-2-1:2007.

Dans les deux cas, les valeurs des pertes résiduelles doivent être lissées en utilisant une analyse de régression linéaire conformément à la CEI 60034-2-1, basée sur l'expression des pertes en fonction du carré du couple en charge:

$$P_{Lr} = A \cdot T^2 + B \text{ et } P_{LrC} = A_C \cdot T_C^2 + B_C$$

Lorsque les constantes de pente A et A_C sont établies, une valeur des pertes supplémentaires en charge pour chaque point de charge assignée doit être déterminée pour l'alimentation sinusoïdale et l'alimentation par le convertisseur respectivement à l'aide des formules:

$$P_{LL} = A \cdot T_N^2 \text{ et } P_{LLC} = A_C \cdot T_N^2$$

Les pertes supplémentaires en charge P_{LLC} couvrent désormais toutes les pertes supplémentaires dépendant de la charge, c'est-à-dire celles induites par le courant en charge à la fréquence fondamentale, et la partie dépendant de la charge des pertes induites par les harmoniques du convertisseur de référence.

La différence entre les pertes supplémentaires en charge pour le fonctionnement avec le convertisseur de référence et avec une alimentation sinusoïdale donne la partie dépendant de la charge des pertes supplémentaires par harmoniques du moteur:

$$P_{HL\text{Load}} = P_{LLC} - P_{LL}$$

Pertes supplémentaires constantes par harmoniques – Pertes constantes P_C et P_{CC}

La différence entre les pertes à vide pour un fonctionnement avec le convertisseur de référence P_{CC} et avec une alimentation sinusoïdale P_C est la partie constante des pertes supplémentaires par harmoniques du moteur:

$$P_{HL\text{No-Load}} = P_{CC} - P_C$$

6.2.3 Détermination du rendement

La différence entre les pertes supplémentaires en charge pour un fonctionnement avec le convertisseur de référence et avec une alimentation sinusoïdale représente les pertes supplémentaires par harmoniques du moteur.

$$P_{HL} = P_{HL\text{No-Load}} + P_{HL\text{Load}}$$

Les pertes supplémentaires par harmoniques du moteur doivent être ajoutées aux pertes à la fréquence fondamentale du moteur, telles que déterminées avec une alimentation sinusoïdale conformément à la CEI 60034-2-1:2007, méthode 2-1-1B afin d'obtenir le rendement du moteur fonctionnant avec le convertisseur de fréquence.

$$P_{T \text{ test-converter}} = P_{T \text{ sin}} + P_{HL}$$

Le rendement avec alimentation du convertisseur de référence est déterminé à partir de la formule suivante:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{T \text{ test-converter}}}$$

Le rapport des pertes par harmoniques est donné par

$$\eta_{HL} = \frac{P_{HL}}{P_{T \sin}} \cdot 100 \%$$

Il convient de l'arrondir à une valeur entière.

6.3 Méthode 2-3-B: Sommation des pertes avec alimentation par le convertisseur spécifique

Les pertes supplémentaires totales induites par l'alimentation par le convertisseur doivent être déterminées à partir d'un essai en charge avec alimentation à fréquence fondamentale et d'un essai en charge avec alimentation par le convertisseur en utilisant le convertisseur spécifique destiné à l'application finale. A l'exception du fait d'utiliser le convertisseur spécifique du système, la procédure d'essai est identique à celle de la méthode 2-3-A.

6.4 Méthode 2-3-C: Méthode entrée-sortie

6.4.1 Installation d'essai

Il s'agit d'une méthode d'essai dans laquelle la puissance mécanique P_{2C} d'une machine est déterminée par la mesure du couple sur l'arbre et de la vitesse. La puissance électrique P_{1C} du stator est mesurée pendant le même essai.

6.4.2 Procédure d'essai

Les essais doivent être conduits avec le convertisseur spécifique destiné à l'application finale et un moteur assemblé, avec les composants essentiels en place, afin d'obtenir des conditions d'essai identiques ou très similaires aux conditions normales de fonctionnement.

Coupler le moteur en essai à une machine en charge avec un dynamomètre. Appliquer à la machine en essai le couple assigné jusqu'à ce que l'équilibre de température (vitesse de variation de 1 K ou moins par demi-heure) ait été atteint.

A la fin de l'essai, enregistrer:

- T le couple de sortie
- n la vitesse
- P_{1C} la puissance d'entrée avec alimentation par le convertisseur spécifique

6.4.3 Détermination du rendement

Calculer la puissance de sortie:

$$P_{2C} = 2\pi \cdot T \cdot n$$

Calculer le rendement:

$$\eta = \frac{P_{2C}}{P_{1C}}$$

6.5 Méthode 2-3-D: Méthode calorimétrique

Le rendement peut également être déterminé par la mesure calorimétrique des pertes totales de l'équipement soumis aux essais dans le circuit primaire ou secondaire de refroidissement par eau. Les procédures d'essai pour cette méthode doivent être conformes à la CEI 60034-2-2.

7 Autres procédures

Si les caractéristiques assignées du moteur dépassent les capacités d'essai disponibles, la détermination des pertes supplémentaires par harmoniques induites par le fonctionnement du convertisseur basée sur le calcul peut être une procédure alternative permettant d'obtenir un