

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Power transformers –

Part 22-3: Power transformer and reactor fittings – Insulating liquid to air heat exchangers

Transformateurs de puissance –

Partie 22-3: Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance – Aéroréfrigérants

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 online and once a month by email.

IEC 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: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC 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.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Power transformers –

Part 22-3: Power transformer and reactor fittings – Insulating liquid to air heat exchangers

Transformateurs de puissance –

Partie 22-3: Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance – Aéroréfrigérants

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.180

ISBN 978-2-8322-6634-2

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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 General requirements	8
4.1 Service conditions.....	8
4.2 Degree of protection of electrical components (IP)	8
4.3 Corrosion protection	8
4.3.1 External (atmosphere)	8
4.3.2 Insulating liquid side	8
4.4 Insulating liquid characteristics	8
5 Design and characteristics.....	9
5.1 Main components and characteristics	9
5.1.1 Headers.....	9
5.1.2 Tube sheets.....	9
5.1.3 Tube bundle	9
5.1.4 Turbulators	9
5.1.5 Passes	9
5.1.6 Standard design and cooling arrangement.....	9
5.2 General characteristics	9
5.2.1 Rating plate information.....	9
5.2.2 Rated cooling capacity.....	10
5.2.3 Information to be provided with enquiry and order.....	10
5.2.4 Mechanical design	11
5.2.5 Preparation for transport and storage	12
6 Tests	13
6.1 General requirements for tests.....	13
6.1.1 General	13
6.1.2 List of tests	13
6.2 Routine tests.....	13
6.2.1 Tightness tests	13
6.2.2 Visual inspection	14
6.2.3 Functional test.....	14
6.2.4 Cleanliness.....	14
6.2.5 External painting.....	14
6.3 Type tests – Rated values test.....	14
Annex A (informative) Design details of heat exchangers.....	15
A.1 Dimensions and designs	15
A.1.1 General	15
A.1.2 Schematic design of cooling unit (without oil pump).....	15
A.1.3 Versions of flange arrangement	16
A.2 Constructional materials – Common selection of materials.....	17
Annex B (informative) Performance of heat exchangers.....	18
B.1 General.....	18
B.2 Performance of heat exchangers.....	18

B.3	Variation of cooling capacity as function of average oil temperature rise	19
B.4	Variation of cooling capacity for modified flow quantities	20
B.4.1	Variation of cooling capacity as function of air flow quantity	20
B.4.2	Variation of cooling capacity as function of oil flow quantity	21
Bibliography		22
Figure A.1 – Schematic design of cooling unit (without oil pump)		15
Figure A.2 – Versions of flange arrangement		16
Figure B.1 – General diagram for cooling temperatures		18
Figure B.2 – Variation of cooling capacity as function of average oil temperature rise		19
Figure B.3 – Variation of cooling capacity as function of air flow quantity		20
Figure B.4 – Variation of cooling capacity as function of oil flow quantity		21
Table 1 – Mandatory fittings		12

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

**Part 22-3: Power transformer and reactor fittings –
Insulating liquid to air heat exchangers**

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 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 60076-22-3 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

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

FDIS	Report on voting
14/995/FDIS	14/1003/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 60076 series, published under the general title *Power transformers*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

INTRODUCTION

Under the part title “Power transformer and reactor fittings”, this part of IEC 60076-22 covers the insulating liquid to air heat exchangers in the cooling circuits of power transformers and reactors.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

POWER TRANSFORMERS –

Part 22-3: Power transformer and reactor fittings – Insulating liquid to air heat exchangers

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to liquid to air heat exchangers, using forced air and forced liquid circuits, used on liquid immersed power transformers according to IEC 60076-1 and reactors according to IEC 60076-6 with and without conservator for indoor or outdoor installation. It outlines the service conditions and the mechanical and electrical requirements that are common to this equipment.

It also outlines the operation requirements specific to this equipment as well as the preferred dimensions relevant for interchangeability and the type and routine tests to be performed.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-7, *Power transformers – Part 7: Loading guide for mineral oil-immersed power transformers*

IEC 60296, *Fluids for electrotechnical applications – Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

ISO 3746, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*

ISO 4406, *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles*

ISO 7005 (all parts), *Pipe flanges*

ISO 9614-2, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 2: Measurement by scanning*

ISO 12944 (all parts), *Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

insulating liquid to air heat exchanger

component for the cooling of the insulating liquid of the transformer, using forced circulation of the insulating liquid and a forced air flow

4 General requirements

4.1 Service conditions

The normal service conditions set out in IEC 60076-1 represent the normal scope of operation of the device and equipment specified in this document.

Device and equipment specification for operation under unusual service conditions as per IEC 60076-1 shall be subject to agreement between the purchaser and supplier, as they require special consideration in the design of the device and equipment.

In addition to the unusual service conditions of IEC 60076-1, any unusual condition, which can influence the correct functioning of the cooler, shall be mentioned, such as heavy snow, permanent wind, pollen, sealing dust.

4.2 Degree of protection of electrical components (IP)

The degree of protection of the connecting box or terminal box for an outdoor installation shall be at least IP 54 according to IEC 60529, unless otherwise specified by the purchaser.

4.3 Corrosion protection

4.3.1 External (atmosphere)

The materials used for the construction of the equipment or the surface treatment shall be resistant to accidental contact with the insulating liquid and suitable to withstand the environmental conditions given in 4.1. The corrosion protection shall be agreed between purchaser and manufacturer according to ISO 12944 (all parts). The responsibility to specify the correct level of corrosion protection lies with the purchaser and is dependent on the environment where the transformer will be located and on the durability required. Unless otherwise specified, the minimum withstand level shall be C4 medium durability according to ISO 12944-6.

4.3.2 Insulating liquid side

In consideration of the storage conditions and expected time between shipment and commissioning, the corrosion protection on the insulating liquid side of the cooling system shall be agreed between purchaser and manufacturer. As a minimum requirement, precautions shall be taken to prevent the ingress of moisture and the development of internal corrosion. The internal flushing with insulation liquid fully miscible and compatible with the liquid to be used in service conditions and the use of blanking plates with gaskets are considered as a minimum. Internal painting, nitrogen filling, dehydrating material, etc., can be used as other or additional solutions.

4.4 Insulating liquid characteristics

If not otherwise specified, the insulating liquid is mineral oil according to IEC 60296 and the operating temperature shall be in accordance with IEC 60076-7.

When the insulating liquid is not mineral oil then the purchaser shall indicate the viscosity variation, the operating temperature and all the other operating characteristics.

5 Design and characteristics

5.1 Main components and characteristics

5.1.1 Headers

Liquid collecting and guiding compartment with flanged connections to the circuit of the transformer.

5.1.2 Tube sheets

Flat plates at both ends of the cooler where the cooling tubes are connected.

5.1.3 Tube bundle

Consisting of a bundle of single tubes and fins connected to both tube sheets. Tubes might have different shapes and can be made of different materials.

5.1.4 Turbulators

Inserts inside the tubes aimed at enhancing the cooling efficiency.

5.1.5 Passes

Number of times the insulating liquid flows through the exchanger. For instance, the number of passes "1" means that the liquid is flowing one way from one header to the other (liquid inlet and outlet in the opposite headers).

5.1.6 Standard design and cooling arrangement

The liquid to air heat exchanger arrangement can be with:

- vertical cooling pipes and horizontal air direction;
- horizontal cooling pipes and horizontal air direction;
- horizontal cooling pipes and vertical air direction;
- forced-draught type or induced draught type fan arrangement can be used.

5.2 General characteristics

5.2.1 Rating plate information

The rating plate shall be corrosion resistant and acid proof. It shall be visible when the heat exchanger is assembled to the transformer and carry following data:

- logo or name of manufacturer;
- country and manufacturing location;
- number of this document;
- manufacturer identification;
- manufacturer serial number;
- year of manufacturing;
- maximum oil pressure in service [kPa];
- maximum oil temperature [°C];

- minimum ambient temperature [$^{\circ}\text{C}$].

Rating data:

- rated cooling capacity [kW];
- rated air flow/liquid flow quantity [m^3/h];
- temperature of air and oil at inlet and outlet [$^{\circ}\text{C}$];
- pressure drop of oil and air [kPa/Pa];
- mass of heat exchanger without oil [kg];
- oil volume [dm^3].

5.2.2 Rated cooling capacity

The rated cooling capacity of the heat exchanger is the minimum capacity which the manufacturer has to guarantee when the cooler is new and in free field conditions.

An additional cooling capacity can be agreed between purchaser and manufacturer to take into consideration the fouling that can occur in service.

The point of operation on the fan characteristic curve for nominal air duty shall be at least 15 % below the area of instability.

Air pollution, piping conditions, wind direction and fan rotation direction not conforming to design can affect the efficiency and the life expectancy of the cooler and the fans.

Unless otherwise agreed between purchaser and manufacturer, the calculation of rated cooling capacity shall consider dry ambient air at a pressure of $p_{\text{abs}} = 101,3 \text{ kPa}$ and the selected cooling liquid.

Conversion of rated cooling capacity into other operating conditions can be calculated according to Annex B. Changes of flow quantities should generally be co-ordinated with the manufacturer.

5.2.3 Information to be provided with enquiry and order

The purchaser shall supply to the manufacturer the following information with the enquiry:

- insulation liquid characteristics;
- design arrangement conforming with 5.1.6;
- required cooling capacity Q_r kW;
- maximum ambient temperature (inlet air temperature) t_1' $^{\circ}\text{C}$;
- maximum allowed liquid temperature t_2' $^{\circ}\text{C}$;
- liquid temperature difference (min. value/max. value) Δt_2 K;
- maximum sound power measurement according to ISO 9614-2 or sound pressure measurement according to ISO 3746 L_w dB(A);
- minimum ambient temperature $^{\circ}\text{C}$;
- altitude above sea level h m.

In case of order, the manufacturer should fix the following rated values:

- insulation liquid characteristics;
- design arrangement conforming with 5.1.6;
- rated cooling capacity Q_r kW;

- rated air flow quantity V_1 m³/s;
- rated liquid flow quantity V_2 m³/h;
- air temperature at inlet t_1' °C;
- air temperature at outlet t_1'' °C;
- liquid temperature at cooler inlet t_2' °C;
- liquid temperature at cooler outlet t_2'' °C;
- air side pressure drop Δp_1 Pa;
- liquid side pressure drop Δp_2 kPa;
- maximum sound power level (including any tolerance) L_w dB(A);
- minimum ambient temperature °C;
- altitude 4 m.

5.2.4 Mechanical design

5.2.4.1 General

The mechanical design is based on the environmental conditions described in 4.1. The maximum liquid temperature shall be 100 °C. Other environmental conditions, temperatures as well as other cooling liquids shall be agreed between manufacturer and purchaser.

Connection between cooling pipes and tube sheets shall be oil tight. Excessive thermal expansion shall be avoided by appropriate design features.

The heat exchanger shall be designed for outside mounting without further protection and without any place to accumulate rain or condense water.

For transformers with a frequency of 50 Hz, significant resonance frequency (mass participation > 20 %) of the operable heat exchanger should not be in the range of (80 to 320) Hz, and for transformers with a frequency of 16 2/3 Hz it should not be in the range of (25 to 180) Hz.

It is the responsibility of the transformer or cooling circuit designer to design the pipework and the dampers to prevent the transfer of vibration from the transformer to the cooling equipment.

Appropriate reinforcements shall be used to prevent vibration of the tube bundle.

Types of flanges and fixing shall be agreed between purchaser and manufacturer. Possible flange arrangements are shown in Figure A.2.

It shall be possible to clean the heat exchanger on the air side by means of water under high pressure.

The mechanical design of the heat exchanger shall withstand a vacuum of 2,5 kPa absolute pressure.

The maximum permissible oil pressure in service for the heat exchanger is limited to 330 kPa.

Annex A provides informative dimensions and design parameters which have to be determined.

5.2.4.2 Materials

The liquid to air heat exchanger can be made of different materials depending on the environmental and operation conditions.

5.2.4.3 Mandatory fittings

The liquid to air heat exchanger shall be equipped with at least the following fittings (see Table 1):

Table 1 – Mandatory fittings

Number	Description	Remark
2	Connection flanges PN 10	For connection to oil circuit, diameter to be agreed
1	Plug for air release	Venting of oil circuit
1	Plug for draining	Residual oil
2	Lifting lugs	For transport, assembly and disassembly
1	Blind flange including gasket and fastenings	For closing oil circuit during transport or storage
1	Blind flange with vent including gasket and fastenings	For closing oil circuit during transport or storage and filling with synthetic air
2	Earthing cam	
1	Rating plate	See 5.2.1
1	U-bolt cable hanger	Fixing of cable

5.2.4.4 Manufacturing requirements

Internal surfaces shall be flushed with insulation liquid to remove any potential debris resulting from the manufacturing process.

Number and size of particles, for example according to ISO 4406, as well as particle test procedure and flushing velocity or other cleaning criteria, have to be agreed. The recommended minimum level according to ISO 4406 is -/12/10.

The flushing via a micron filter shall continue until the amount of particles is less than the agreed limited value. The flushing oil shall be in accordance with IEC 60296. During flushing the oil flow velocity shall be sufficient to remove all the particles.

Immediately after the flushing procedure the flushing liquid shall be removed; possible small residuals are acceptable. All flanges shall be closed with covers not to be removed without a reason.

5.2.5 Preparation for transport and storage

5.2.5.1 Transport

The liquid to air heat exchanger shall be arranged on a pallet suited for easy handling with a forklift and to prevent damages during the transport.

As a minimum requirement, it shall be protected against water ingress in the motors of the fans and other electrical parts.

For difficult transport conditions, such as overseas transport, specific requirements may apply.

5.2.5.2 Storage

Unless otherwise specified the storage configuration shall be designed to ensure a minimum storage period of three months until commissioning in the environmental conditions defined in IEC 60076-1.

For a storage period over three months the manufacturer shall be informed about the exact storage conditions (for example humidity and temperature changes) and storage requirements may be specified.

Upon demand by the purchaser, the heat exchanger shall be filled under an overpressure of approximately 45 kPa with nitrogen or dry air (humidity less than 10 %) using a valve installed in one of the blind flanges. For long-term storage, which has to be indicated by the purchaser, the overpressure shall remain at minimum 5 kPa and therefore has to be checked regularly.

6 Tests

6.1 General requirements for tests

6.1.1 General

Tests shall be made at an ambient temperature between 10 °C and 40 °C, unless otherwise specified.

All measuring instruments used for the tests shall have traceable accuracy and be subject to periodic calibration. An example of a quality management system is ISO 9001 .

6.1.2 List of tests

6.1.2.1 Routine tests

The following list of tests is not in any specific order:

- tightness tests (6.2.1);
- visual inspection (6.2.2);
- functional test (6.2.3);
- cleanliness (6.2.4);
- external painting (6.2.5).

6.1.2.2 Type tests

The following list of tests is not in any specific order:

- rated values test (6.3).

6.2 Routine tests

6.2.1 Tightness tests

The liquid to air heat exchanger has to be submitted to one of the following alternative tightness tests by agreement between manufacturer and purchaser:

- hydraulic test with transformer's oil filled at (60 ± 5) °C and a pressure of 500 kPa for 2 h;
- pneumatic test with compressed air under water at 500 kPa for 30 min.

Any leakage has to be detected (by visual inspection) during the above period.

6.2.2 Visual inspection

6.2.2.1 Outer surfaces

All surfaces shall be free of damages, deformations and dirt. No sort of filling compounds shall be used.

6.2.2.2 Inner surfaces

All visible surfaces shall be free of damages, deformations and dirt.

6.2.3 Functional test

The liquid to air heat exchanger has to be tested to verify that all the components perform as expected.

6.2.4 Cleanliness

The cleanliness of the internal surfaces shall comply with the values indicated in 5.2.4.4.

6.2.5 External painting

Application of painting shall be documented and thickness of painting shall be tested and found conforming to the order specification. Other tests shall be agreed between purchaser and manufacturer.

6.3 Type tests – Rated values test

The manufacturer shall be able to perform a rated values type test, at least at partial rated power; the values at full power shall be extrapolated. Usually rated values are tested together with the transformer. Separate type tests shall be agreed between manufacturer and purchaser.

Annex A (informative)

Design details of heat exchangers

A.1 Dimensions and designs

A.1.1 General

The dimensions indicated in Figure A.1 and Figure A.2, the exact position of flanges and their diameter, as well as the fixing of heat exchangers have to be agreed between purchaser and manufacturer. The arrangement of the lifting lugs, air- and drain plugs has to be chosen according to the design of the heat exchanger.

A.1.2 Schematic design of cooling unit (without oil pump)

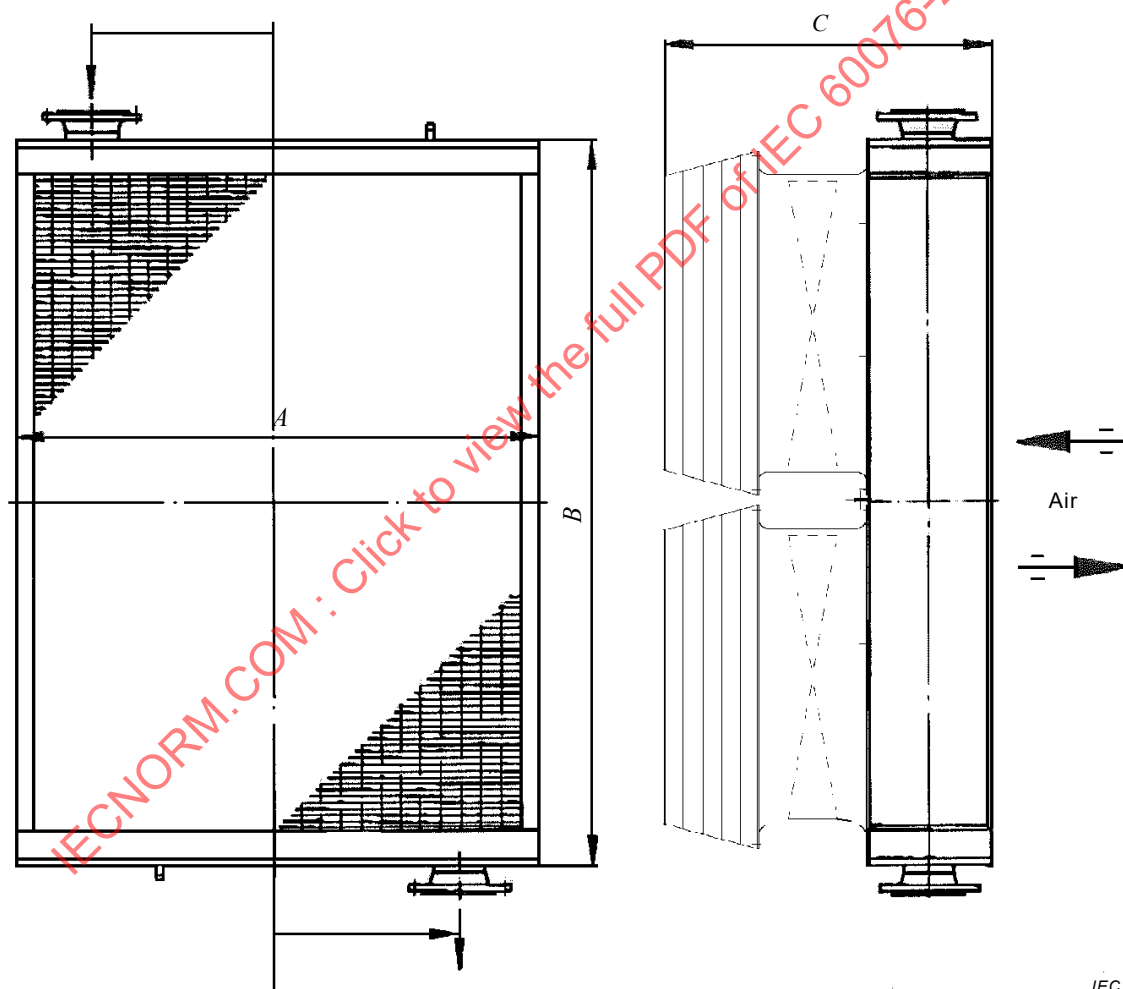
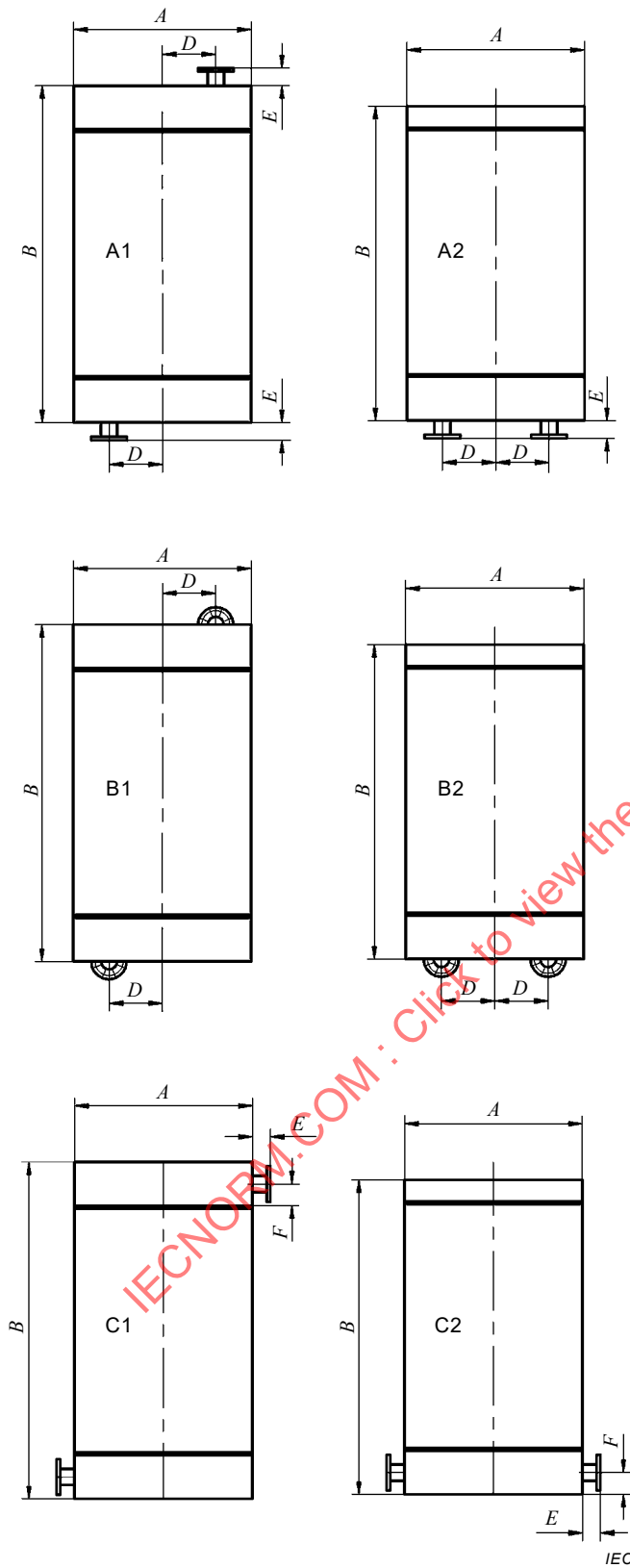


Figure A.1 – Schematic design of cooling unit (without oil pump)

A.1.3 Versions of flange arrangement



Versions A1, B1, C1 can be used laterally reversed (mirrored on the vertical axis); in this case they are to be marked with “*” (for example A1*).

The detailed nozzle positions shall be agreed between manufacturer and purchaser.

Figure A.2 – Versions of flange arrangement

A.2 Constructional materials – Common selection of materials

Example for aluminium, aluminium alloy:

- tube sheets: aluminium alloy EN-AW 6061 according to EN 1386:2007
- tubes: aluminium alloy EN-AW 3003 according to EN 754-2
- side walls: mild steel S235JRG2 according to EN 10025-2
- header: mild steel S235JRG2 according to EN 10025-2
- flanges: mild steel S235JRG2 according to EN 10025-2
- supporting sheets: rimmed steel DC01 according to EN 10130, surface type (B), surface treatment extra smooth (b)
- screws and nuts: non-magnetic material according to ISO 3506-1

Example for steel, mild steel:

- tube sheets: mild steel S235JRG2 according to EN 10025-2
- tubes: according to EN 10217-1, minimum mild steel S235JR
- side walls: mild steel S235JRG2 according to EN 10025-2
- header: mild steel S235JRG2 according to EN 10025-2
- flanges: mild steel S235JRG2 according to EN 10025-2
- supporting sheets: rimmed steel DC01 according to EN 10130, surface type (B), surface treatment extra smooth (b)
- screws and nuts: non-magnetic material according to ISO 3506-1

Commonly used materials:

Tube sheets:

S235JRG2 / 1.0038; P265GH / 1.0425; EN-AW 6061; EN AW-ALMg1SiCu; X5CrNiN19-9 / 1.4315; X3CrNiCu19-9-2 / 1.4560; X6CrNiTi18-10 / 1.4541; X6CrNiMoTi17-12-2 / 1.4571

Tubes:

S235JRG2 / 1.0038; P235GH-TC1 / 1.0305; Cu-DHP / CW024A according to EN 12451; EN-AW 3003; EN AW-ALMn1Cu; X5CrNiN19-9 / 1.4315; X3CrNiCu19-9-2 / 1.4560; X6CrNiTi18-10 / 1.4541; X6CrNiMoTi17-12-2 / 1.4571

Side walls, header, flanges, supporting sheets:

S235JRG2; X5CrNiN19-9 / 1.4315; X3CrNiCu19-9-2 / 1.4560; X6CrNiTi18-10 / 1.4541; X6CrNiMoTi17-12-2 / 1.4571

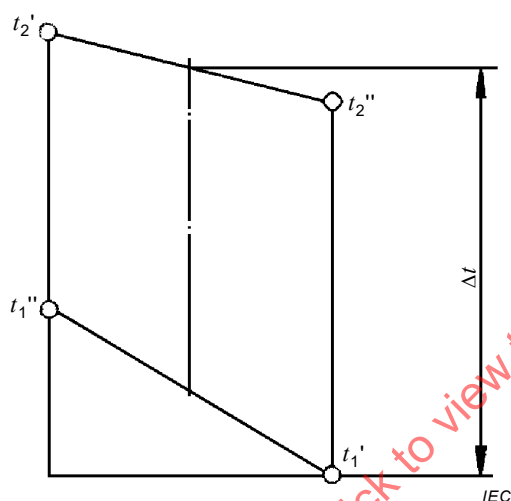
Annex B (informative)

Performance of heat exchangers

B.1 General

The purpose of Annex B is to give guidance to the end user for approximation of behaviour of the heat exchanger under different operation conditions. The calculations and derivate graphs in Figure B.1, Figure B.2, Figure B.3 and Figure B.4 have limited accuracy and are not intended to verify the calculations of the manufacturer.

B.2 Performance of heat exchangers



The rated cooling capacity follows the relation:

$$Q_r = V_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot (t_1'' - t_1')$$

$$Q_r = V_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2 \cdot (t_2'' - t_2')$$

For definition of variables see 5.2.3

Figure B.1 – General diagram for cooling temperatures

The calculations and graphs are related to an ambient temperature range from +10 °C to +40 °C. The calculation of the cooling capacity proportionally to the oil temperature difference Δt has reduced accuracy. In many cases this is sufficient if the rated flow quantity remains constant.

In case of deviation of the air temperature at the inlet, all other temperatures (t_1'' , t_2' , t_2'') change in the same way if the cooling capacity and flow quantities remain constant.

CAUTION: The change of air flow quantity always causes a change of the sound power level.

Basic values for calculation:

Dry air at inlet temperature at a pressure of $p_{abs} = 101,3 \text{ kPa}$:

- density $\rho_1 = 1,292 \times 273,2 / (273,2 + t_1')$ kg/m^3
- specific heat capacity $c_1 = 1,006 + 0,000\,05 \times t_1'$ kW s/(kg K)

Transformer oil according to IEC 60296:

- density $\rho_2 = 880 - 0,65 \times (t_2' + t_2'') / 2$ kg/m³
- specific heat capacity $c_2 = (493 + 1,177 \times (t_2' + t_2'') / 2) \times 10^{-6}$ kW h/(kg K)

B.3 Variation of cooling capacity as function of average oil temperature rise

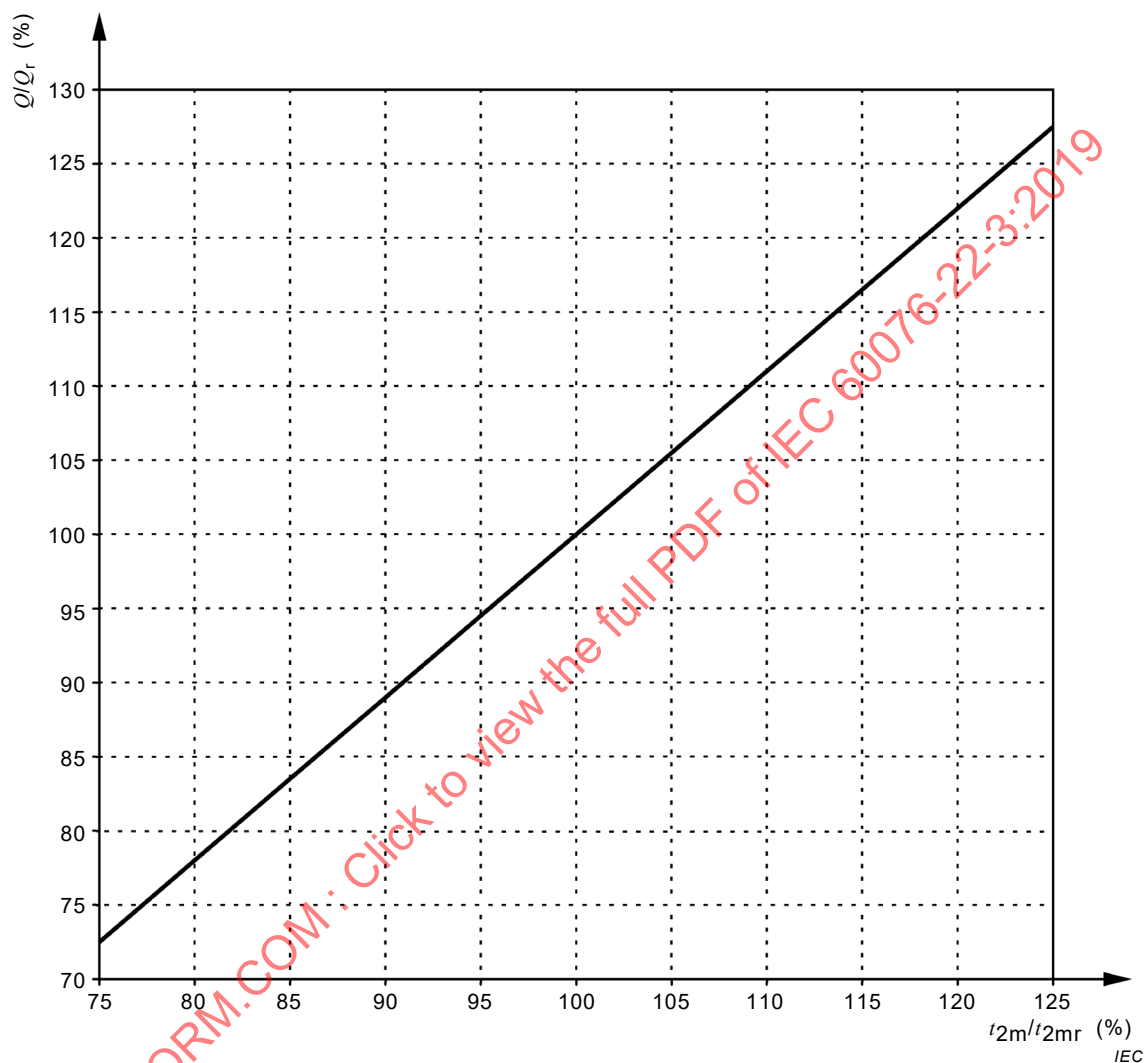


Figure B.2 – Variation of cooling capacity as function of average oil temperature rise

The conversion covers the range of ± 25 % (corresponding to roughly ± 10 K).

B.4 Variation of cooling capacity for modified flow quantities

B.4.1 Variation of cooling capacity as function of air flow quantity

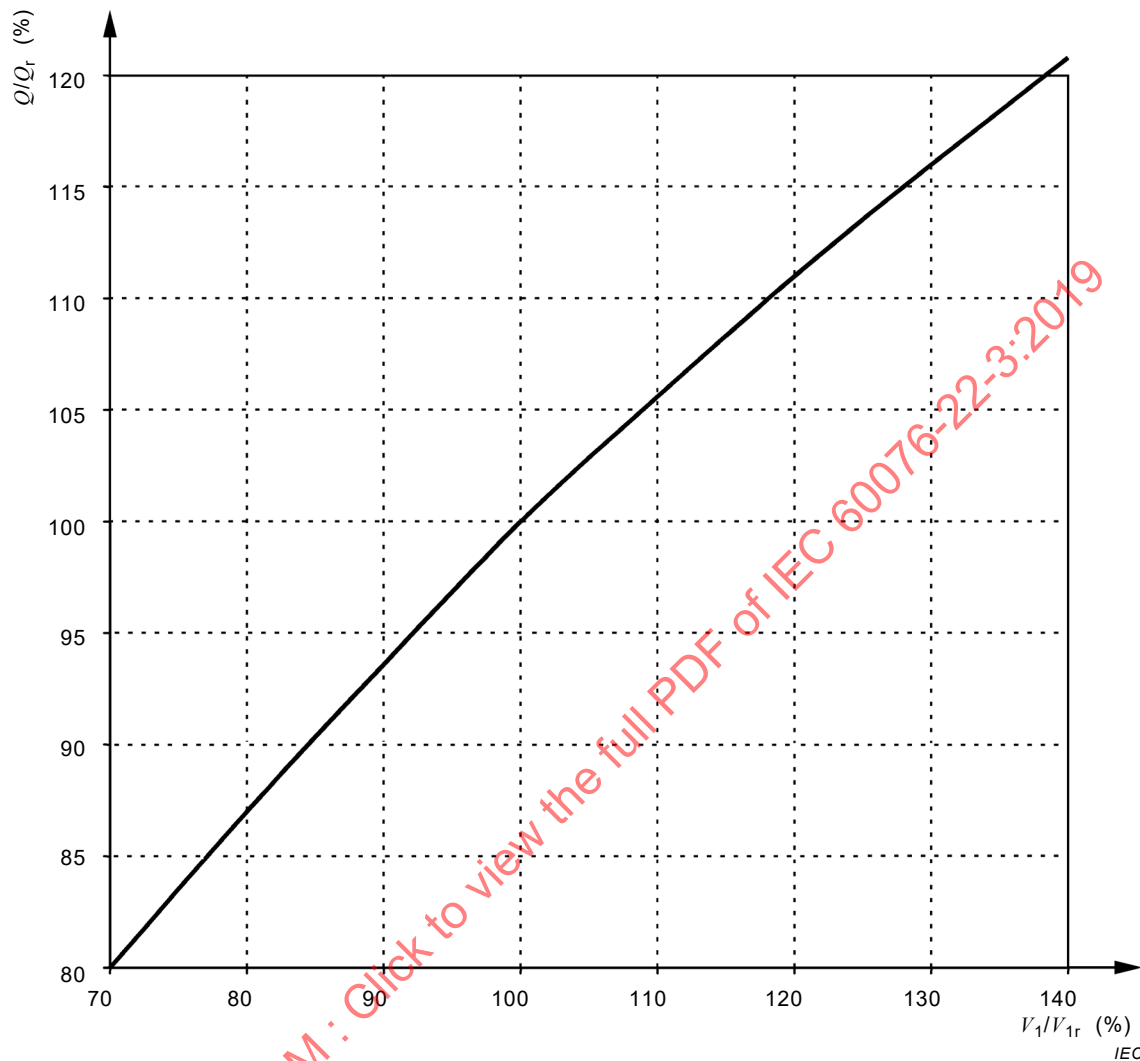
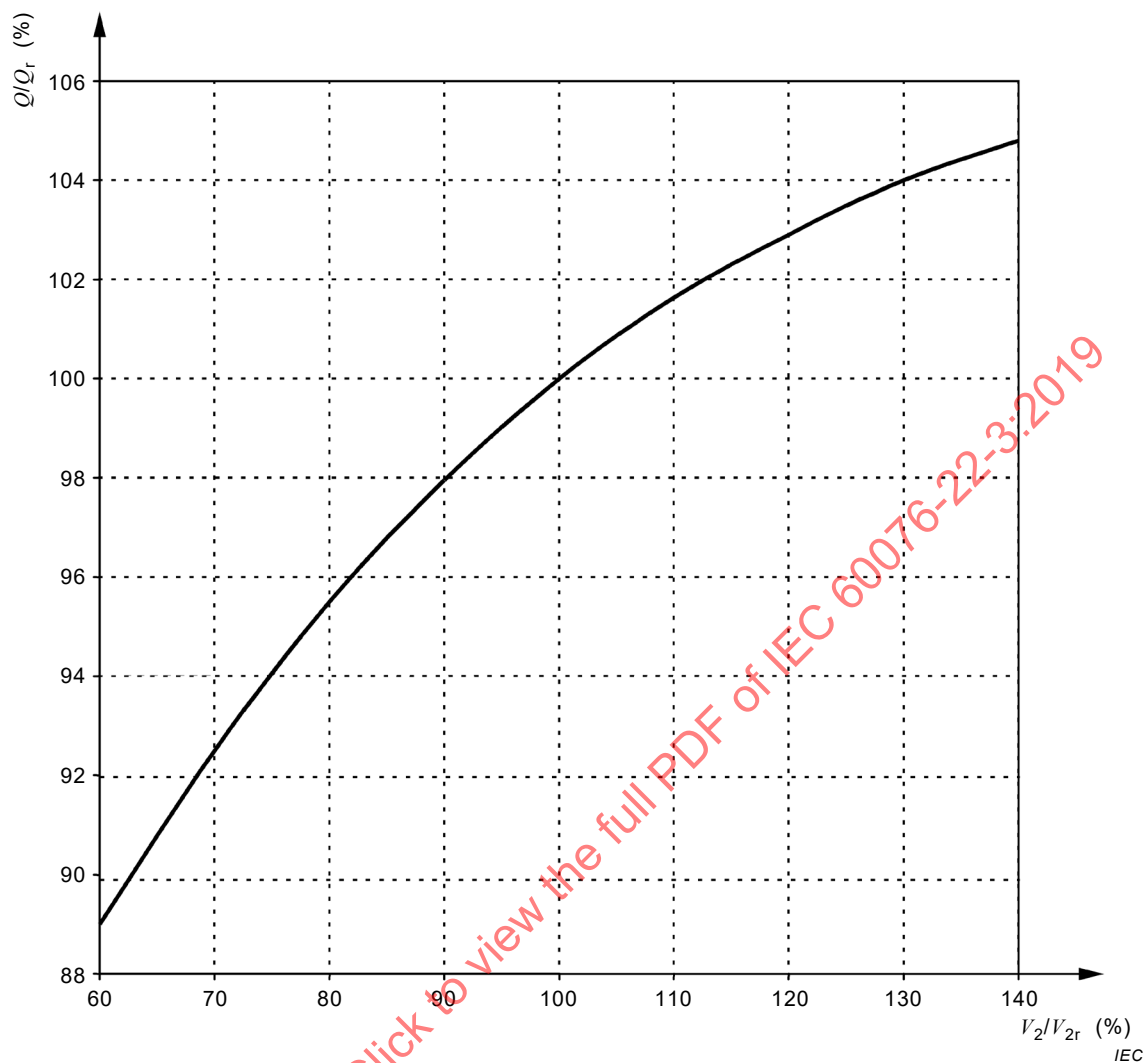


Figure B.3 – Variation of cooling capacity as function of air flow quantity

Oil flow quantity and temperatures for oil inlet and outlet remain constant, and air side pressure drop and temperature of air at outlet change.

B.4.2 Variation of cooling capacity as function of oil flow quantity**Figure B.4 – Variation of cooling capacity as function of oil flow quantity**

Air flow quantity remains constant as well as air temperature at inlet and outlet and average oil temperature difference. Oil side pressure drop and oil temperature at inlet and outlet change.

Bibliography

IEC 60076-6, *Power transformers – Part 6: Reactors*

ISO 3506-1, *Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners – Part 1: Bolts, screws and studs*

ISO 9001, *Quality management systems – Requirements*

EN 754-2, *Aluminum and aluminum alloys – Cold drawn rod/bar and tube – Part 2: Mechanical properties*

EN 1386:2007, *Aluminium and aluminium alloys – Tread plate – Specifications*

EN 10025-2, *Hot rolled products of structural steels – Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels*

EN 10130, *Cold rolled low carbon steel flat products for cold forming – Technical delivery conditions*

EN 10217-1, *Welded steel tubes for pressure purposes – Technical delivery conditions – Part 1: Electric welded and submerged arc welded non-alloy steel tubes with specified room temperature properties*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
INTRODUCTION.....	28
1 Domaine d'application	29
2 Références normatives	29
3 Termes et définitions	29
4 Exigences générales	30
4.1 Conditions de service.....	30
4.2 Degré de protection des composants électriques (IP).....	30
4.3 Protection contre la corrosion	30
4.3.1 Extérieure (atmosphère)	30
4.3.2 Côté liquide isolant	30
4.4 Caractéristiques du liquide isolant.....	31
5 Conception et caractéristiques.....	31
5.1 Principaux composants et caractéristiques.....	31
5.1.1 Boîte à huile	31
5.1.2 Plaques à tubes.....	31
5.1.3 Faisceau de tubes	31
5.1.4 Turbulateurs	31
5.1.5 Passages.....	31
5.1.6 Conception normalisée et système de refroidissement.....	31
5.2 Caractéristiques générales	31
5.2.1 Informations de la plaque signalétique	31
5.2.2 Capacité de refroidissement assignée	32
5.2.3 Informations à fournir lors d'un appel d'offres et d'une commande	32
5.2.4 Conception mécanique	33
5.2.5 Préparation pour le transport et le stockage.....	34
6 Essais	35
6.1 Exigences générales pour les essais	35
6.1.1 Généralités	35
6.1.2 Liste des essais	35
6.2 Essais individuels de série.....	35
6.2.1 Essais d'étanchéité.....	35
6.2.2 Examen visuel	36
6.2.3 Essai fonctionnel	36
6.2.4 Propreté	36
6.2.5 Peinture extérieure	36
6.3 Essais de type – Essai des valeurs assignées	36
Annexe A (informative) Détails de conception des aéroréfrigérants.....	37
A.1 Dimensions et conceptions	37
A.1.1 Généralités	37
A.1.2 Plan schématique du groupe de refroidissement (sans pompe à huile)	37
A.1.3 Disposition des versions de bride	38
A.2 Matériaux de construction – Choix commun des matériaux	39
Annexe B (informative) Performances des aéroréfrigérants.....	40
B.1 Généralités	40
B.2 Performances des aéroréfrigérants	40

B.3	Variation de la capacité de refroidissement en fonction de l'échauffement moyen de l'huile.....	41
B.4	Variation de la capacité de refroidissement pour des débits modifiés	42
B.4.1	Variation de la capacité de refroidissement en fonction du débit d'air	42
B.4.2	Variation de la capacité de refroidissement en fonction du débit d'huile	43
Bibliographie.....		44
Figure A.1 – Plan schématique du groupe de refroidissement (sans pompe à huile)		37
Figure A.2 – Disposition des versions de bride.....		38
Figure B.1 – Schéma général pour les températures de refroidissement		40
Figure B.2 – Variation de la capacité de refroidissement en fonction de l'échauffement moyen de l'huile.....		41
Figure B.3 – Variation de la capacité de refroidissement en fonction du débit d'air		42
Figure B.4 – Variation de la capacité de refroidissement en fonction du débit d'huile		43
Tableau 1 – Accessoires obligatoires		34

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

**Partie 22-3: Accessoires pour transformateurs de puissance
et bobines d'inductance – Aéroréfrigérants**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC 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 IEC 60076-22-3 a été établie par le comité d'études 14 de l'IEC: Transformateurs de puissance.

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

FDIS	Rapport de vote
14/995/FDIS	14/1003/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60076, publiées sous le titre général *Transformateurs de puissance*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC à l'adresse "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

INTRODUCTION

Publiée sous le titre "Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance", la présente partie de l'IEC 60076-22 couvre les aéroréfrigérants dans les circuits de refroidissement des transformateurs de puissance et des bobines d'inductance.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-3:2019

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 22-3: Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance – Aéroréfrigérants

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60076 s'applique aux aéroréfrigérants, utilisant des circuits à circulation forcée d'air et de liquide, utilisés sur les transformateurs de puissance immergés (conformes à l'IEC 60076-1) et les bobines d'inductance (conformes à l'IEC 60076-6) avec ou sans conservateur pour les installations intérieures ou extérieures. Elle présente les conditions de service et les exigences mécaniques et électriques communes à cet équipement.

Elle présente également les exigences de fonctionnement spécifiques à cet équipement et les dimensions préférentielles pertinentes pour l'interchangeabilité, ainsi que les essais de type et individuels de série à réaliser.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60076-1, *Transformateurs de puissance – Partie 1: généralités*

IEC 60076-7, *Power transformers – Part 7: Loading guide for mineral oil-immersed power transformers* (disponible en anglais seulement)

IEC 60296, *Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion*

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (Code IP)*

ISO 3746, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant*

ISO 4406, *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles* (disponible en anglais seulement)

ISO 7005 (toutes les parties), *Brides de tuyauterie*

ISO 9614-2, *Acoustique – Détermination par intensimétrie des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit – Partie 2: Mesurage par balayage*

ISO 12944 (toutes les parties), *Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp/ui/fr/>

3.1

aéroréfrigérant

composant de refroidissement du liquide isolant d'un transformateur par circulation forcée du liquide isolant et flux d'air forcé

4 Exigences générales

4.1 Conditions de service

Les conditions de service normales présentées dans l'IEC 60076-1 représentent le domaine d'application normal du fonctionnement du dispositif et de l'équipement spécifiés dans le présent document.

La spécification d'équipement pour un fonctionnement dans des conditions inhabituelles de service conformément à l'IEC 60076-1 doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur, étant donné qu'elle exige une prise en compte particulière lors de la conception du dispositif et de l'équipement.

Outre les conditions inhabituelles de service de l'IEC 60076-1, toute condition inhabituelle qui peut avoir un impact sur le bon fonctionnement du réfrigérant doit être mentionnée (neige abondante, vent permanent, pollen, poussière, par exemple).

4.2 Degré de protection des composants électriques (IP)

Le degré de protection de la boîte de raccordement et de la boîte à bornes d'une installation extérieure doit être au moins IP 54 conformément à l'IEC 60529, sauf spécification contraire par l'acheteur.

4.3 Protection contre la corrosion

4.3.1 Extérieure (atmosphère)

Les matériaux utilisés pour la construction de l'équipement ou le traitement de surface doivent résister au contact accidentel avec le liquide isolant et aux conditions environnementales indiquées en 4.1. La protection contre la corrosion doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant conformément à l'ISO 12944 (toutes les parties). La spécification du niveau correct de protection contre la corrosion relève de la responsabilité de l'acheteur et dépend de l'environnement dans lequel le transformateur va se trouver et de la durabilité exigée. Sauf spécification contraire, le niveau de résistance minimal doit être de classe de durabilité C4 "Moyenne" selon l'ISO 12944-6.

4.3.2 Côté liquide isolant

Compte tenu des conditions de stockage et de la durée prévue entre la livraison et la mise en service, la protection contre la corrosion côté liquide isolant du système de refroidissement doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant. Comme exigence minimale, des précautions doivent être prises pour empêcher la pénétration d'humidité et le développement de la corrosion interne. Le rinçage intérieur avec du liquide isolant totalement miscible et compatible avec le liquide à utiliser dans les conditions de service, et l'utilisation de plaques d'obturation munies de joints d'étanchéité sont considérés comme une condition minimale. La peinture intérieure, le remplissage à l'azote, l'utilisation des matériaux déshydratants, etc., peuvent être utilisés comme autres solutions ou solutions supplémentaires.

4.4 Caractéristiques du liquide isolant

Sauf spécification contraire, le liquide isolant est une huile minérale conforme à l'IEC 60296, et la température d'exploitation doit être conforme à l'IEC 60076-7.

Si le liquide isolant n'est pas une huile minérale, l'acheteur doit alors indiquer la variation de viscosité, la température d'exploitation et toutes les autres caractéristiques de fonctionnement.

5 Conception et caractéristiques

5.1 Principaux composants et caractéristiques

5.1.1 Boîte à huile

Compartiment de collecte et de guidage du liquide, avec raccords à brides au circuit du transformateur.

5.1.2 Plaques à tubes

Tôles plates aux deux extrémités du refroidisseur, auxquelles les tubes de refroidissement sont raccordés.

5.1.3 Faisceau de tubes

Composition d'un faisceau de tubes et d'ailettes raccordés aux deux plaques à tubes. Les tubes peuvent présenter des formes différentes et peuvent être composés de différents matériaux.

5.1.4 Turbulateurs

Éléments insérés dans les tubes et destinés à améliorer l'efficacité du refroidissement.

5.1.5 Passages

Nombre de fois que le liquide isolant circule dans l'aéroréfrigérant. Par exemple, le nombre de passages "1" signifie que le liquide circule dans un seul sens entre une boîte à huile et une autre (entrée et sortie de liquide dans des boîtes à huile opposées).

5.1.6 Conception normalisée et système de refroidissement

Le montage de l'aéroréfrigérant peut être réalisé avec:

- des tuyaux de refroidissement verticaux et une direction horizontale de l'air;
- des tuyaux de refroidissement horizontaux et une direction horizontale de l'air;
- des tuyaux de refroidissement horizontaux et une direction verticale de l'air;
- un montage de ventilateurs soufflant ou aspirant peut être utilisé.

5.2 Caractéristiques générales

5.2.1 Informations de la plaque signalétique

La plaque signalétique doit résister à la corrosion et à l'acide. Elle doit être visible lorsque l'aéroréfrigérant est monté sur le transformateur et contenir les informations suivantes:

- logo ou nom du fabricant;
- pays et lieu de fabrication;
- numéro du présent document;
- identification du fabricant;

- numéro de série du fabricant;
- année de fabrication;
- pression d'huile maximale en service [kPa];
- température maximale de l'huile [°C];
- température ambiante minimale [°C].

Données assignées:

- capacité de refroidissement assignée [kW];
- débit d'air/de liquide assigné [m³/h];
- température de l'air et de l'huile à l'entrée et à la sortie [°C];
- chute de pression de l'huile et de l'air [kPa/Pa];
- masse de l'aéroréfrigérant sans huile [kg];
- volume d'huile [dm³].

5.2.2 Capacité de refroidissement assignée

La capacité de refroidissement assignée de l'aéroréfrigérant est la capacité minimale que le fabricant doit garantir lorsque le réfrigérant est neuf et dans des conditions de champ libre.

Une capacité de refroidissement supplémentaire peut être convenue entre l'acheteur et le fabricant pour tenir compte des salissures qui peuvent apparaître en service.

Le point de fonctionnement sur la courbe caractéristique du ventilateur pour le débit d'air nominal doit se trouver au moins 15 % au-dessous de la zone d'instabilité.

La pollution de l'air, l'état des tuyauteries, le sens du vent et un sens de rotation du ventilateur non conforme à la conception peuvent avoir un impact sur l'efficacité et la durée de vie du réfrigérant et des ventilateurs.

Sauf accord contraire entre l'acheteur et le fabricant, le calcul de la capacité de refroidissement assignée doit tenir compte de l'air ambiant sec à une pression de $p_{abs} = 101,3$ kPa et du liquide de refroidissement choisi.

La conversion de la capacité de refroidissement assignée en d'autres conditions de fonctionnement peut être calculée conformément à l'Annexe B. Il convient que les variations de débits soient en général coordonnées avec le fabricant.

5.2.3 Informations à fournir lors d'un appel d'offres et d'une commande

L'acheteur doit fournir au fabricant les informations suivantes avec l'appel d'offres:

- caractéristiques du liquide isolant;
- disposition de conception conforme à 5.1.6;
- capacité de refroidissement exigée Q_r kW;
- température ambiante maximale (température de l'air à l'entrée) t_1' °C;
- température admise maximale du liquide t_2' °C;
- différence de température du liquide (valeur min./valeur max.) Δt_2 K;
- mesure de puissance acoustique maximale conformément à l'ISO 9614-2
ou mesure de pression acoustique conformément à l'ISO 3746 L_w dB(A);
- température ambiante minimale °C;

- altitude au-dessus du niveau de la mer h m.

En cas de commande, il convient que le fabricant fixe les valeurs assignées suivantes:

- caractéristiques du liquide isolant;
- disposition de conception conforme à 5.1.6;
- capacité de refroidissement assignée Q_r kW;
- débit d'air assigné V_1 m³/s;
- débit de liquide assigné V_2 m³/h;
- température de l'air à l'entrée t_1' °C;
- température de l'air à la sortie t_1'' °C;
- température du liquide à l'entrée du réfrigérant t_2' °C;
- température du liquide à la sortie du réfrigérant t_2'' °C;
- chute de pression côté air Δp_1 Pa;
- chute de pression côté liquide Δp_2 kPa;
- niveau maximal de puissance acoustique (y compris l'éventuelle tolérance) L_w dB(A);
- température ambiante minimale °C;
- altitude A m.

5.2.4 Conception mécanique

5.2.4.1 Généralités

La conception mécanique repose sur les conditions environnementales décrites en 4.1. La température maximale du liquide doit être de 100 °C. D'autres conditions environnementales, températures et liquides de refroidissement doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

Le raccordement des tuyaux de refroidissement et des boîtes à huile doit être étanche à l'huile. Une dilatation thermique excessive doit être évitée par des caractéristiques de conception appropriées.

L'aéroréfrigérant doit permettre le montage en extérieur sans protection supplémentaire et sans point d'accumulation de l'eau de pluie ou de la condensation.

Pour les transformateurs avec une fréquence de 50 Hz, il convient que la fréquence de résonance significative (participation massive > 20 %) de l'aéroréfrigérant en service ne se trouve pas dans la plage de (80 à 320) Hz, et pour les transformateurs avec une fréquence de 16 2/3 Hz, il convient qu'elle ne trouve pas dans la plage de (25 à 180) Hz.

Il revient au concepteur du transformateur ou du circuit de refroidissement de concevoir la tuyauterie et les amortisseurs de manière à éviter le transfert des vibrations entre le transformateur et l'équipement de refroidissement.

Des renforts appropriés doivent être utilisés pour empêcher les vibrations du faisceau de tubes.

Les types de brides et de fixations doivent être convenus entre l'acheteur et le fabricant. Les dispositions de brides possibles sont présentées à la Figure A.2.

Il doit être possible de nettoyer l'aéroréfrigérant côté air avec de l'eau sous haute pression.

La conception mécanique de l'aéroréfrigérant doit résister à un vide de pression de 2,5 kPa.

La pression d'huile admise maximale en service de l'aéroréfrigérant est limitée à 330 kPa.

L'Annexe A fournit des dimensions informatives et les paramètres de conception qui doivent être déterminés.

5.2.4.2 Matériaux

L'aéroréfrigérant peut être composé de différents matériaux en fonction des conditions environnementales et des conditions d'exploitation.

5.2.4.3 Accessoires obligatoires

L'aéroréfrigérant doit être au moins équipé des accessoires suivants (voir le Tableau 1):

Tableau 1 – Accessoires obligatoires

Nombre	Description	Remarque
2	Brides de raccordement – PN 10	Pour le raccordement au circuit d'huile, diamètre à convenir
1	Bouchon de purge d'air	Purge du circuit d'huile
1	Bouchon de vidange	Huile résiduelle
2	Œillets de levage	Pour le transport, le montage et le démontage
1	Obturation, y compris le joint et les fixations	Pour la fermeture du circuit d'huile pendant le transport ou le stockage
1	Obturation à soupape, y compris le joint et les fixations	Pour la fermeture du circuit d'huile pendant le transport ou le stockage et le remplissage avec de l'air synthétique
2	Patte de mise à la terre	
1	Plaque signalétique	Voir 5.2.1
1	Chemin de câble en U	Fixation du câble

5.2.4.4 Exigences de fabrication

Les surfaces internes doivent être rincées avec du liquide isolant afin d'éliminer les éventuels débris à la suite du processus de fabrication.

Le nombre et la taille des particules, par exemple selon l'ISO 4406, ainsi que le mode opératoire d'essai de particules et la vitesse de rinçage ou d'autres critères de nettoyage doivent faire l'objet d'un accord. Le niveau minimal recommandé selon l'ISO 4406 est -/12/10.

Le rinçage par l'intermédiaire d'un filtre au micron doit se poursuivre tant que le nombre de particules n'est pas inférieur à la valeur limite convenue. L'huile de rinçage doit être conforme à l'IEC 60296. Pendant le rinçage, l'huile doit circuler à une vitesse suffisante pour éliminer toutes les particules.

Le liquide doit être retiré immédiatement après le rinçage. D'éventuels petits résidus sont acceptables. Toutes les brides doivent être fermées, et les obturations ne doivent pas être retirées sans raison.

5.2.5 Préparation pour le transport et le stockage

5.2.5.1 Transport

L'aéroréfrigérant doit être placé sur une palette adaptée pour être aisément manipulée avec un chariot élévateur et pour éviter les dommages pendant le transport.

Comme exigence minimale, le moteur des ventilateurs et les autres parties électriques doivent être protégés contre la pénétration d'eau.

Des exigences particulières peuvent s'appliquer en cas de conditions de transport difficile (le transport maritime, par exemple).

5.2.5.2 Stockage

Sauf spécification contraire, la configuration du stockage doit permettre d'assurer une période de stockage d'au moins trois mois jusqu'à la mise en service dans les conditions environnementales définies dans l'IEC 60076-1.

Si le stockage dure plus de trois mois, le fabricant doit être informé des conditions de stockage exactes (variations d'humidité et de température, par exemple) et des exigences de stockage peuvent être spécifiées.

Sur demande de l'acheteur, l'aéroréfrigérant doit être rempli sous une surpression d'environ 45 kPa avec de l'azote ou de l'air sec (humidité inférieure à 10 %) à l'aide d'une soupape installée dans l'une des brides pleines. Pendant une longue période de stockage, qui doit être précisée par l'acheteur, la surpression doit rester supérieure à 5 kPa et doit donc être contrôlée régulièrement.

6 Essais

6.1 Exigences générales pour les essais

6.1.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés à une température ambiante comprise entre 10 °C et 40 °C, sauf spécification contraire.

Tous les instruments de mesure utilisés pour les essais doivent être de précision traçable et régulièrement étalonnés. Un exemple de système de management de la qualité est l'ISO 9001.

6.1.2 Liste des essais

6.1.2.1 Essais individuels de série

La liste d'essais suivante ne spécifie pas l'ordre d'exécution des essais:

- essais d'étanchéité (6.2.1);
- examen visuel (6.2.2);
- essai fonctionnel (6.2.3);
- propreté (6.2.4);
- peinture extérieure (6.2.5).

6.1.2.2 Essais de type

La liste d'essais suivante ne spécifie pas l'ordre d'exécution des essais:

- essai des valeurs assignées (6.3).

6.2 Essais individuels de série

6.2.1 Essais d'étanchéité

L'aéroréfrigérant doit être soumis à l'un des essais d'étanchéité alternatifs suivants dans le cadre d'un accord entre le fabricant et l'acheteur:

- essai hydraulique remplis d'huile de transformateurs à $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$ et une pression de 500 kPa pendant 2 h;
- essai pneumatique avec de l'air comprimé dans l'eau à 500 kPa pendant 30 min.

Toute fuite doit être détectée (par examen visuel) pendant la période ci-dessus.

6.2.2 Examen visuel

6.2.2.1 Surfaces externes

Les surfaces ne doivent présenter aucun dommage, aucune déformation ni aucune salissure. Aucun produit de bourrage ne doit être utilisé.

6.2.2.2 Surfaces internes

Les surfaces visibles ne doivent présenter aucun dommage, aucune déformation ni aucune salissure.

6.2.3 Essai fonctionnel

L'aéroréfrigérant doit être soumis à essai pour vérifier que tous les composants fonctionnent comme prévu.

6.2.4 Propreté

La propreté des surfaces internes doit satisfaire aux valeurs indiquées en 5.2.4.4.

6.2.5 Peinture extérieure

L'application de la peinture doit être documentée. L'épaisseur de la couche doit être soumise à essai et déterminée comme étant conforme à la spécification de la commande. Un autre essai doit être convenu entre l'acheteur et le fabricant.

6.3 Essais de type – Essai des valeurs assignées

Le fabricant doit être en mesure de procéder à un essai de type des valeurs assignées, au moins à puissance assignée partielle. Les valeurs à pleine puissance doivent être extrapolées. En règle générale, les valeurs assignées sont soumises à essai avec le transformateur. Des essais de type séparés doivent être convenus entre le fabricant et l'acheteur.