

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Power transformers –

Part 22-4: Power transformer and reactor fittings – Insulating liquid to water heat exchangers

Transformateurs de puissance –

Partie 22-4: Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance – Hydroréfrigérants

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-4:2019



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 22-4: Power transformer and reactor fittings – Insulating liquid to water
heat exchangers**

Transformateurs de puissance –

**Partie 22-4: Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines
d'inductance – Hydroréfrigérants**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.180

ISBN 978-2-8322-6635-9

**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 Performance requirements	8
4.3 Degree of protection of electrical components (IP)	8
4.4 Corrosion protection	8
4.4.1 External (atmosphere)	8
4.4.2 Insulating liquid side	9
4.4.3 Water side	9
4.5 Insulating liquid characteristics	9
5 Design and characteristics.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Main components and characteristics	9
5.2.1 General	9
5.2.2 Shell	9
5.2.3 Tube bundle in double tube arrangement	9
5.2.4 Headers.....	10
5.3 General characteristics	10
5.3.1 Rating plate information.....	10
5.3.2 Information to be provided with enquiry and order.....	10
5.3.3 Rated cooling capacity.....	11
5.3.4 Mechanical design.....	11
5.3.5 Preparation for transport and storage	13
5.3.6 Mounting and operating conditions	14
6 Tests	14
6.1 General requirements for tests	14
6.1.1 General	14
6.1.2 List of tests.....	14
6.2 Routine tests.....	15
6.2.1 Tightness test insulating liquid side	15
6.2.2 Tightness test water side	15
6.2.3 Visual inspection	15
6.2.4 Cleanliness.....	15
6.3 Type tests – Rated values test.....	15
Annex A (informative) Details of the heat exchangers	16
A.1 Masses and dimensions.....	16
A.2 Collection and forms of suspensory types	16
A.3 Collection and forms of horizontal types.....	17
A.4 Collection and forms of vertical standing types.....	18
A.5 Parts list – Materials – Common selection of materials.....	19
A.6 Example for fresh water	20

Annex B (informative) Rating conditions of the heat exchangers	21
B.1 General.....	21
B.2 Definitions, symbols.....	21
B.3 Calculation of capacity in service	21
B.3.1 Service capacity for different temperatures at inlet according to Figure B.1	21
B.3.2 Service capacity for different mass flows according to Figure B.2 for plain tubes and according to Figure B.3 for finned tubes.....	21
B.3.3 Service capacity for different mass flows and different temperatures	22
B.3.4 Example for calculation of 25 % capacity margin of new heat exchangers.....	22
Annex C (informative) Example for calculation of capacity in service	26
Bibliography.....	28
Figure A.1 – Collection and forms of suspensory types	16
Figure A.2 – Collection and forms of horizontal types.....	17
Figure A.3 – Collection and forms of vertical standing types	18
Figure B.1 – Capacity factor depending on inlet temperatures of oil and water.....	23
Figure B.2 – Capacity factor depending on mass for plain tubes	24
Figure B.3 – Capacity factor depending on mass for finned tubes	25
Table 1 – Water quality data	12
Table 2 – Mandatory fittings.....	13
Table A.1 – Examples of material selection depending on water quality	20
Table A.2 – Average values for chemically neutral water (fresh water).....	20

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

**Part 22-4: Power transformer and reactor fittings –
Insulating liquid to water 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 60076-22-4 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
14/996/FDIS	14/1004/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 60076-22-4:2019

INTRODUCTION

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

Annex B gives guidance to the end user for approximation of the behaviour of the heat exchanger under different operation conditions. Annex C gives an example based on the calculation rules stipulated in Annex B.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-4:2019

POWER TRANSFORMERS –

Part 22-4: Power transformer and reactor fittings – Insulating liquid to water heat exchangers

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to liquid to water heat exchangers, using forced water 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 4406, *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles*

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 water heat exchanger

component for the cooling of the insulating liquid of the transformer, using forced circulation of the insulating liquid and forced circulation of water

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. Unless otherwise specified, fresh water as defined by Table A.2 shall be considered as cooling water.

Device and equipment specification for operation under service conditions different from the ones specified by 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.

Any particular condition, which can influence the correct functioning of the cooler, shall be specified, such as water quality, addition of anti-freeze compounds, mud, microorganisms, addition of biocides, sea weed, and intermittent operation.

4.2 Performance requirements

Liquid to water heat exchangers should fulfil the following requirements:

- mechanical separation of liquid and water circuit shall be ensured at any time;
- independent design and control of liquid and water conditions shall be possible;
- the access to the water side surfaces shall be possible without influencing or opening the liquid side circuit;
- easy access to the water side surfaces for inspection and cleaning on site by mechanical means, for example using brushes;
- the heat exchanger construction shall be suitable for operating conditions complying with the permissible pressure values of the liquid side and the water side;
- easy detection of possible leakages at the liquid and the water side.

4.3 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.

4.4 Corrosion protection

4.4.1 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, minimum withstand level shall be C4 medium durability according to ISO 12944-6.

4.4.2 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.

4.4.3 Water side

The corrosion protection on the water side of the cooling system shall be agreed between purchaser and manufacturer and is dependent on the water quality. To attain the requested degree of protection the manufacturer shall choose the combination of material and surface protection. As a minimum requirement for paint, an epoxy coating with a thickness of 150 µm shall be applied.

4.5 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 viscosity variation, the operating temperature and all the other operating characteristics shall be indicated by the purchaser.

5 Design and characteristics

5.1 General

Shell and tube heat exchangers with double tube arrangement are established as the current best practice of transformer insulating liquid cooling in compliance with all the requirements. Any different type may be accepted and applied if all the requirements of 4.2 are fulfilled.

5.2 Main components and characteristics

5.2.1 General

See Figure A.1, Figure A.2 and Figure A.3 for reference.

The main components of a shell and tube heat exchanger are the shell, the tube bundle inside the shell and two headers at both ends of the shell.

5.2.2 Shell

The shell is the cylindrical compartment containing the tube bundle and is provided with flanged nozzles for piping connection of the insulating liquid. The shell contains the insulating liquid. Baffles on the tube bundle are used to optimize the liquid path inside the shell.

5.2.3 Tube bundle in double tube arrangement

Double tubes are used for the tube bundle for safety reasons of the transformer. The liquid pressure outside the tubes is independent from the water pressure and is usually less than the water pressure inside the tubes.

- The double tubes consist of two concentric tubes without a blocking fluid in between; the tubes are straight and the outer tubes are plain or finned. Between the inner and outer tube there shall be grooves, which enable the detection of a potential leakage by using a proper device. The double tubes are connected at both ends to the respective tube sheets by roll expansion or welding. The connection shall be fluid tight.
- The tube bundle can be arranged in different even number of passes to optimize water flow.

Removable tube bundles are the preferred solution for maintenance purposes.

5.2.4 Headers

- Two headers close the shell at both ends.
- One header includes flanged nozzles for the connection to the water piping. Inside the other header, the water is redirected.

5.3 General characteristics

5.3.1 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 the following data:

- logo or name of manufacturer;
- country and manufacturing location;
- number of this document;
- manufacturer identification;
- manufacturer serial number;
- year of manufacturing.

Rated data:

- rated cooling capacity [kW];
- rated liquid and water flow quantity [m³/h];
- inlet and outlet temperatures liquid-side and water-side [°C];
- pressure drop in the heat exchanger liquid side/water side [bar];
- maximum pressure in service for liquid-side [kPa];
- maximum pressure in service for water-side [kPa];
- maximum design temperature for liquid-side [°C];
- mass of heat exchanger without oil and water [kg];
- oil and water quantity for filling [dm³].

5.3.2 Information to be provided with enquiry and order

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

- insulation liquid characteristics;
- water quality;
- rated cooling capacity Q_r kW;
- water temperature at inlet t_1' °C;
- water temperature at outlet (max.) t_1'' °C;
- maximum allowed liquid temperature t_2' °C;

- liquid temperature difference (min. value/max. value) Δt_2 K;
- liquid flow quantity V_2 m³/h;
- water flow quantity (max.) V_1 m³/h;
- operating pressure (water side) kPa.

In case of order the following rated values should be fixed by the manufacturer:

- materials water side (Clause A.5)
- rated cooling capacity Q_r kW;
- rated water flow quantity V_1 m³/h;
- rated oil flow quantity V_2 m³/h;
- water temperature at inlet t_1' °C;
- water temperature at outlet t_1'' °C;
- liquid temperature at inlet t_2' °C;
- liquid temperature at outlet t_2'' °C;
- water side pressure drop Δp_1 kPa;
- liquid side pressure drop Δp_2 kPa;
- maximum operating pressure (water side) p_1 kPa;
- maximum operating pressure (liquid side) p_2 kPa.

5.3.3 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. Unless otherwise specified by agreement between purchaser and manufacturer the heat exchanger shall be designed with a capacity margin of minimum 25 %, because piping conditions on the water side, not conforming to the design, can affect the efficiency and the life expectation of the cooler.

For new heat exchangers the capacity, including the margin, has to be achieved with the rated values for oil flow quantity, water flow quantity, oil temperature at inlet and water temperature at inlet.

5.3.4 Mechanical design

5.3.4.1 General

The mechanical design is based on the environmental conditions described in 4.1. The maximum liquid temperature shall be 100 °C and the maximum water temperature 50 °C. Other environmental conditions, temperatures, as well as other cooling liquids shall be agreed between manufacturer and purchaser.

The cooler can be designed to be installed in a vertical or horizontal position. The vertically installed coolers can be suspended on frames. See Annex A for examples.

The cooling tubes and plates shall be fluid tight connected. The tube bundle can have the following two possible executions to be agreed between manufacturer and purchaser:

- with floating head: in this execution the bundle can be removed for inspection and replacement;
- with fixed tube sheets and stationary heads.

For both executions, the water channels are removable and can be emptied separately. Removing of a water channel shall not influence the oil circuit.

The heat exchanger shall be designed for an unprotected outdoor installation.

The heat exchanger shall be provided with draining and venting devices on both the liquid and water side.

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

The maximum admitted oil pressure in service shall be 330 kPa.

The maximum admitted water pressure in service in this document shall be 800 kPa.

5.3.4.2 Materials

The liquid to water heat exchanger can be made of different materials depending on the quality of the cooling water and the operation conditions, see Table A.1. For examples of best practice in case of water of drinking quality see Clause A.5.

5.3.4.3 Water quality

The purchaser shall specify at least the data indicated in Table 1 along with the enquiry.

Table 1 – Water quality data

sampling temperature	iron/manganese content	water type (e.g. fresh water)
pH value	content of chloride	content of ammonium
total degree of hardness	content of sulphate	free oxygen
carbonate hardness (m-value)	content of nitrate	electrical conductivity
free CO ₂ (p-value)	content of phosphate	suspended solids

If no water quality is provided, the water is considered to be drinking water according to Table A.2.

In case of changing water quality during operation (e.g. near the coast where the cooling water can be river water, brackish water and sea water depending on the tide) the material selection shall consider all possible conditions.

5.3.4.4 Mandatory fittings

The liquid to water heat exchanger shall be equipped with at least the following fittings (see Table 2):

Table 2 – Mandatory fittings

N°	Designation	Remarks
1	Connection flange DN 15/PN 6	For liquid draining, for connection of drain valve
1	Vent plug	Venting liquid side
1	Leakage detector	For detection of leakages, water side or liquid side
	Water drain	Each compartment shall have a water drain, allowing to fully drain the cooler
	Locking plug	Each thermometer pocket and water drain shall have a locking plug
2	Plate support	
1	Cleaning orifice for water compartment	Access to the header without removing the piping
2	Liquid side thermometer pocket G ¾	Immersion depth 65 mm, internal thread G ¾ x 20 mm
2	Water side thermometer pocket G ¾	Immersion depth 65 mm, internal thread G ¾ x 20 mm
2	Connection flange PN 10	Connection of liquid side
2	Connection flange PN 10	Connection of water side
	Connection flange DN 15 PN 6	Thread M10, thread length min. 12,5 mm, venting connection water-side, as many as necessary for venting all compartments ^b
1	Earthing stud M12	
2	Lifting lug ^a	
^a Lifting lug for each component with 30 kg mass and more is provided.		
^b Vertical water connection flanges may be used for venting.		

Upon customer request, the cooler may be designed for and equipped with thermometers, flow indicators, pressure gauges and differential pressure devices.

5.3.4.5 Manufacturing requirements

Internal surfaces insulating liquid side 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 has to be removed; possible small residuals can be considered. All flanges on the insulating liquid side shall be closed with covers not to be removed without purpose.

5.3.5 Preparation for transport and storage

5.3.5.1 Transport

The flanges on the water side as well as all other openings (i.e. thermometer pockets, venting and draining devices) shall be closed to prevent ingress of humidity and pollution.

The liquid to water heat exchanger shall be arranged on a pallet suited for easy handling with a forklift and to prevent damages during the transport. A suitable protection to prevent pollution during transport shall be provided.

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

5.3.5.2 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.

As an option, upon demand by the purchaser, the insulating liquid side of 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.

5.3.6 Mounting and operating conditions

Liquid to water heat exchangers, which are not in service, shall be completely drained, cleaned, dried and closed.

They should be checked periodically on the water-side depending on the water quality and cleaned if necessary.

Insoluble impurities, especially suspended solids will cause frequent cleaning periods. This could be avoided, for example by using screens or filters.

The liquid to water heat exchangers shall be operated with the nominal water flow quantity.

In case a higher or lower water flow quantity is required, this has to be clarified with the supplier. Upper and lower limits have to be checked carefully especially under consideration of the maximum permissible water velocity, permissible pressure drop and potential contamination by the cooling water.

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 test insulating liquid side (6.2.1);
- tightness test water side (6.2.2);
- tightness test leakage compartment according to manufacturer's best practice;

- visual inspection (6.2.3);
- cleanliness (6.2.4);
- external painting according to specification.

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 test insulating liquid side

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

- hydraulic test with transformers oil filled at $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 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 Tightness test water side

The insulating liquid to water heat exchanger has to be filled with fresh water under a pressure of 1 200 kPa. After elimination of the last leakage the pressure test shall be performed for a period of 2h.

6.2.3 Visual inspection

6.2.3.1 Outer surface

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

6.2.3.2 Inside surface insulating liquid side

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

6.2.3.3 Inside surface water side

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

6.2.4 Cleanliness

The cleanliness of the internal surfaces shall comply with the values indicated in 5.3.4.5.

6.3 Type tests – Rated values test

Usually this test is performed together with the transformer. Separate type tests should be planned by a special agreement between supplier and purchaser.

Annex A (informative)

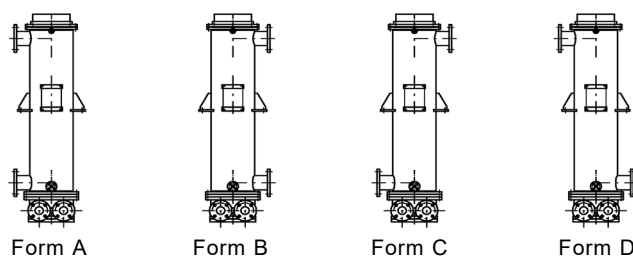
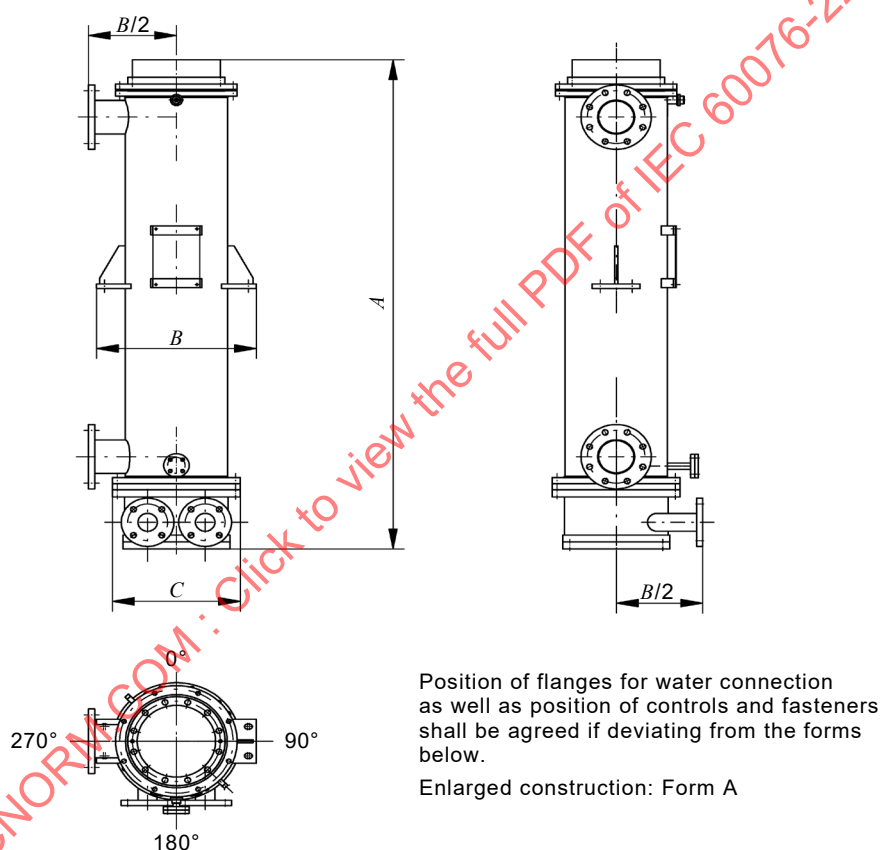
Details of the heat exchangers

A.1 Masses and dimensions

The masses and dimensions of a heat exchanger are usually fixed in the offer. The dimensions *A*, *B*, and *C* in Figures A.1 to A.3 are the minimum information for a preliminary offer.

In general, dimensions and nozzle position/orientation should be agreed between manufacturer and purchaser depending on the flow rates.

A.2 Collection and forms of suspensory types



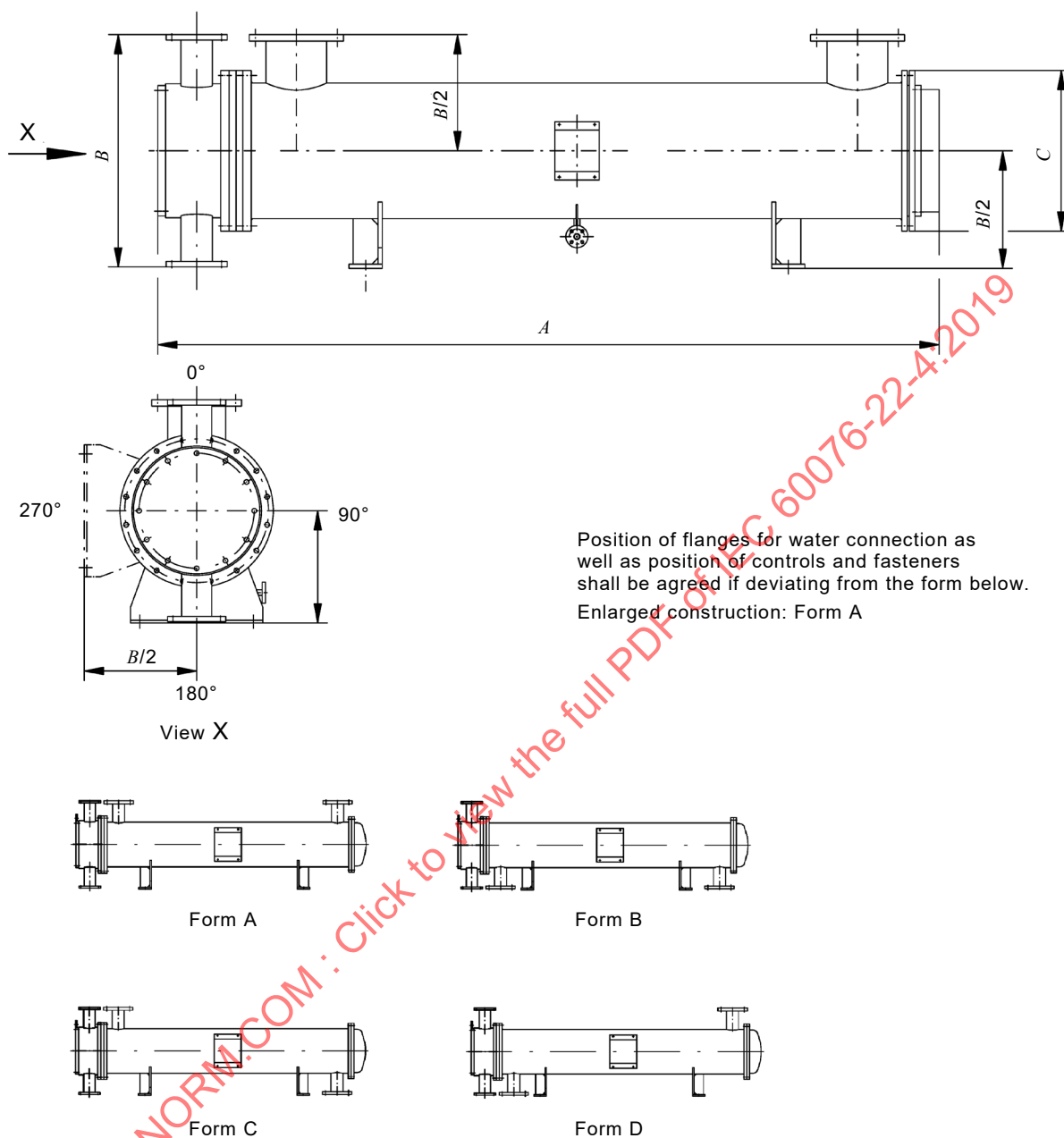
IEC

NOTE 1 The position of the oil inlet/outlet or water inlet/outlet is arbitrary.

NOTE 2 The positions of the thermometer pocket in the middle or on the edge depend on the manufacturer's decision.

Figure A.1 – Collection and forms of suspensory types

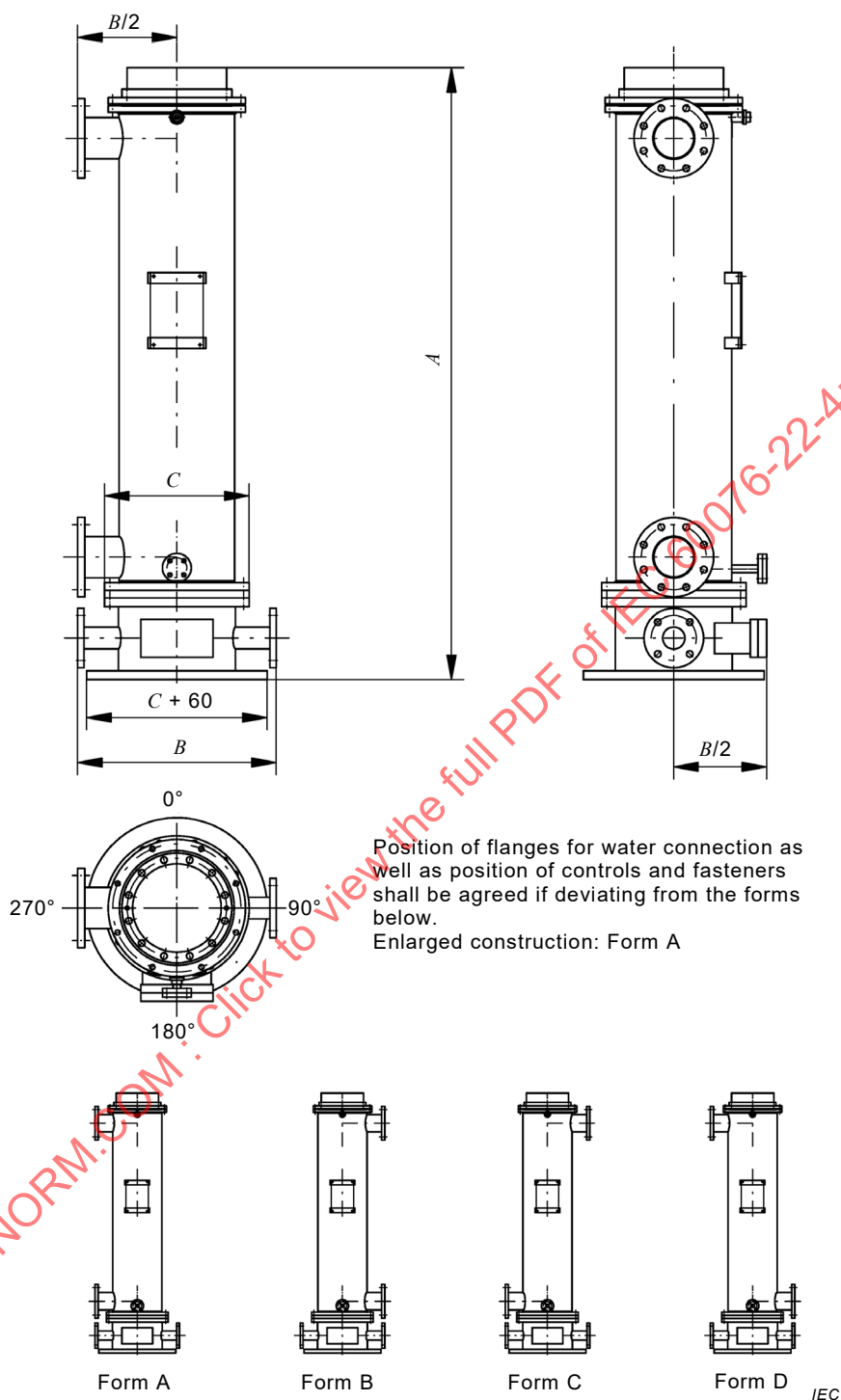
A.3 Collection and forms of horizontal types



NOTE The position of the oil inlet/outlet or water inlet/outlet is arbitrary.

Figure A.2 – Collection and forms of horizontal types

A.4 Collection and forms of vertical standing types



NOTE The position of the oil inlet/outlet or water inlet/outlet is arbitrary.

Figure A.3 – Collection and forms of vertical standing types

A.5 Parts list – Materials – Common selection of materials

Common requirements for fresh water of drinking quality:

shell:	minimum steel S 235 JRG2 according to EN 10025-2 based on the manufacturer's decision;
tube plate oil side:	steel S335 J2G3 according to EN 10025-2;
tube plate water side:	CuZn38AlFeNiPbSn according to EN 1653, minimum R390;
tubes oil side:	Cu-DHP-R220 material-no. CW024A according to EN 12451 or EN 12452;
tubes water side:	Cu-DHP-R220 material-no. CW024A according to EN 12451 or EN 12452;
baffles / pass partition:	low carbon steel according to EN 10130, surface type (B), surface treatment: extra plain (b) or stainless steel according to EN 10088-2;
water channel:	GG-25 according to EN 1561 or minimum S 235 JRG2 according to EN 10025-2 based on manufacturer's decision;
venting and locking screws:	
water side:	non-corrosive material;
oil side:	standard material;
common screws and nuts:	stainless steel according to ISO 3506-1.

The above-mentioned materials require fresh water in drinking quality for cooling water without harmful substances. A typical analysis for fresh water is shown in Table A.2. For other water qualities the people running the heat exchanger shall provide water analysis according to EN 12502-1 for an adequate material selection. It is recommended to submit several analyses over a one-year runtime period.

Spectrum of materials used:

Tube plates:

S235JRG2 / 1.0038; CuZn38AlFeNiPbSn-R390 / CW715R; CuZn39Pb0.5 / CW610N; CuZn38Sn1As / CW717R; CuZn38Sn1 / 2.0530; CuZn39Sn1 / CW719R; CuNi10Fe1Mn / CW352H; CuNi30Mn1Fe / CW354H; X5CrNiN19-9 / 1.4315; X3CrNiCu19-9-2 / 1.4560; X6CrNiTi18-9 / 1.4301; X6CrNiTi18-10 / 1.4541; X6CrNiMoTi17-12-2 / 1.4571; Ti1 / 3.7025

Tubes water side:

Cu-DHP-R220 / CW024A; CuNi10Fe1Mn-R290 / CW352H; CuZn28Sn1As-R320 / CW706R; CuZn28Sn2As-R340 / CW702R; CuNi30Mn1Fe-R370 / CW354H; X5CrNiN19-9 / 1.4315; X3CrNiCu19-9-2 / 1.4560; X6CrNiTi18-9 / 1.4301; X6CrNiTi18-10 / 1.4541; X6CrNiMoTi17-12-2 / 1.4571; Ti1 / 3.7025

Table A.1 – Examples of material selection depending on water quality

Cooling agent	Tubes, water side		Water channels		Tube plates, water side	
	Material no.	Velocity of water in m/s max./min.	Material No.	Surface protection	Material no.	
Fresh water (drinking water)	Cu-DHP-R220 CW024A	1,5 / 0,7	GG-25 0.6025	Protective coating based on epoxy	CuZn38AlFeNiPbSn CW 715 R	
Deionat ^a	Cu-DHP-R220 CW024A	2,0 / 0,7	S235JRG2 1.0038		Stoved-enamel coating	X6CrNiTi18-10 1.4541
	X6CrNiTi18-10 1.4541	4,0 / 1,0		CuZn38AlFeNiPbSn CW 715 R		
	CuNi10Fe1Mn-R290 CW352H	2,5 / 1,5				
River water (polluted)	CuZn28Sn1As-R320 CW706R	2,0 / 1,0		Plastic coating		X6CrNiTi18-10 1.4541
	X6CrNiMoTi17-12-2 1.4571	4,0 / 1,0				X6CrNiMoTi17-12-2 1.4571
Sea water	CuZn20Al2As-R340 CW702R	2,2 / 1,0		Rubber coating	CuZn38AlFeNiPbSn CW 715 R	
Brackish water, polluted sea water	CuNi30Mn1Fe-R370 CW354H	3,5 / 1,5				
Mixed water	Ti1 3.7025	4,0 / 0,8			Ti1 3.7025	

NOTE Material numbers for steel are in accordance with EN 10027-2.

^a Additives to the cooling agent shall be discussed with the supplier due to material selection.

A.6 Example for fresh water

Table A.2 – Average values for chemically neutral water (fresh water)

pH value	6 to 8	Silicium (SiO₂-crystalline)	≤ 10 ppm
Total hardness	15 °dH to 20 °dH	free CO₂ (p-value)	≤ 15 ppm (correlated to carbonate hardness)
Carbonate hardness	0 °dH to 18 °dH	Natrium Na	≤ 20 ppm
Chloride content	10 ppm to 50 ppm (= mg/l)	Suspended solids < 800 µm	≤ 10 ppm
Sulfate content	≤ 50 ppm	Electrical conductivity	< 3 000 µS/cm
Nitrate content	≤ 15 ppm	Oxygen content	8 ppm to 12 ppm
Ammonium-NH₄	≤ 1 ppm		

NOTE 1 Values for analysis according to EN 12502-1.

NOTE 2 ppm = parts per million

For some values the simultaneous existence of different substances results in a deviation of the normal average (e.g. higher pH-value for a lower carbonate hardness).

Annex B (informative)

Rating conditions of the 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 (e.g. for the heat run test values). The calculations and derivate graphs in Figure B.1, Figure B.2 and Figure B.3 have limited accuracy and are not intended to verify the calculations of the manufacturer.

The calculation rules consider the selection of plain or finned tubes.

B.2 Definitions, symbols

	Designation	Dimension
rated value	Index r	-
service value	Index B	-
water temperature at inlet / outlet	t_1' / t_1''	°C
oil temperature at inlet / outlet	t_2' / t_2''	°C
water mass factor	M_1	-
oil mass factor	M_2	-
water flow quantity	V_1	M ³ /h
oil flow quantity	V_2	M ³ /h
cooling capacity	Q	kW
specific gravity of oil	ρ_2	kg/m ³
capacity factor depending on mass flow	$(Q_B / Q_r)_M$	-
capacity factor depending on temperature	$(Q_B / Q_r)_T$	-

B.3 Calculation of capacity in service

B.3.1 Service capacity for different temperatures at inlet according to Figure B.1

$$Q_B = Q_r \times \left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_T$$

B.3.2 Service capacity for different mass flows according to Figure B.2 for plain tubes and according to Figure B.3 for finned tubes¹

$$\rho_{2r} = 880 - 0,65 \cdot t_{2r}'$$

$$\rho_{2B} = 880 - 0,65 \cdot t_{2B}'$$

¹ Plain or finned tubes according to manufacturer's decision.

$$M_1 = \frac{V_{1B}}{V_{1r}} \quad M_2 = \frac{V_{2B}}{V_{2r}} \times \frac{\rho_{2B}}{\rho_{2r}}$$

$$Q_B = Q_r \times \left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_M$$

B.3.3 Service capacity for different mass flows and different temperatures

$$Q_B = Q_r \times \left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_T \times \left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_M$$

To change the volume flows or the oil side temperatures the pressure drops have to be discussed with the heat exchanger manufacturer.

B.3.4 Example for calculation of 25 % capacity margin of new heat exchangers

The cooling capacity of the new heat exchanger is for example $Q_r = 400$ kW; this means $1,25 \times 400$ kW = 500 kW. The oil cools down from 70 °C inlet temperature to 60 °C outlet temperature. The cooling water is heated from 30 °C to 42,5 °C.

For example, a 400 kW heat transfer means that $t_2' = 62$ °C and $t_2'' = 54$ °C will be reached, and that the temperatures of t_1' and t_1'' will remain unchanged.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-4:2019

Conversion diagrams

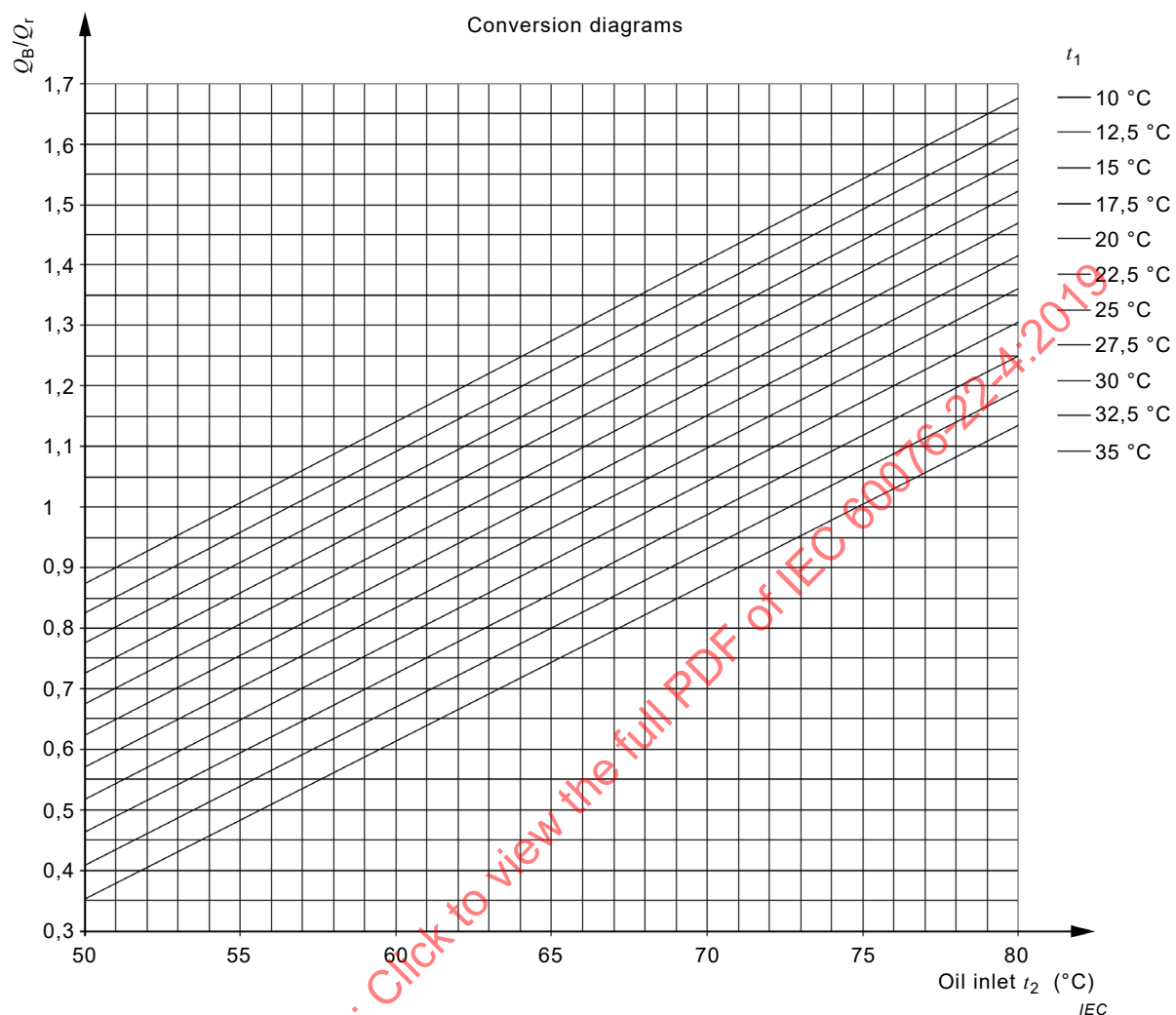


Figure B.1 – Capacity factor depending on inlet temperatures of oil and water

Valid for:

- rated temperature water inlet
- rated temperature oil inlet

$$t_{1r} = 30 \text{ °C}$$

$$t_{2r} = 70 \text{ °C}$$

Formula for calculation of the capacity factor:

$$\left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_T = A \times (t_2 - 50) + B$$

with: $A = -0,000\,026\,6\,t_1' + 0,027\,008\,9$

$$B = -0,000\,064\,1\,t_1'^2 - 0,017\,95\,t_1' + 1,059\,4$$

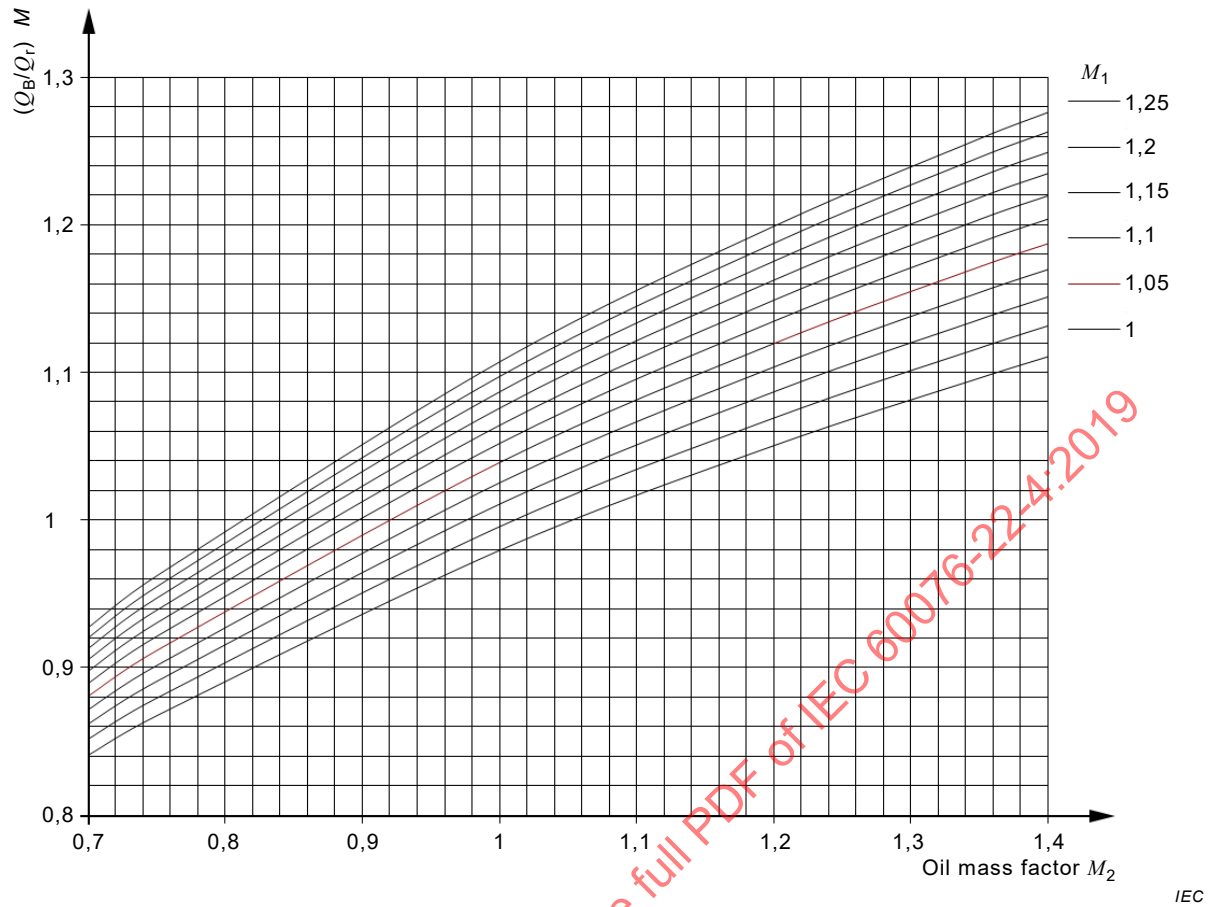


Figure B.2 – Capacity factor depending on mass for plain tubes

Calculation formula for capacity factor:

$$\left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_M = A \times \ln(M_2) + B$$

with: $A = 0,223\,442 \ln(M_1) + 0,457\,108$

$B = 0,254\,369 \ln(M_1) + 1,003\,416$

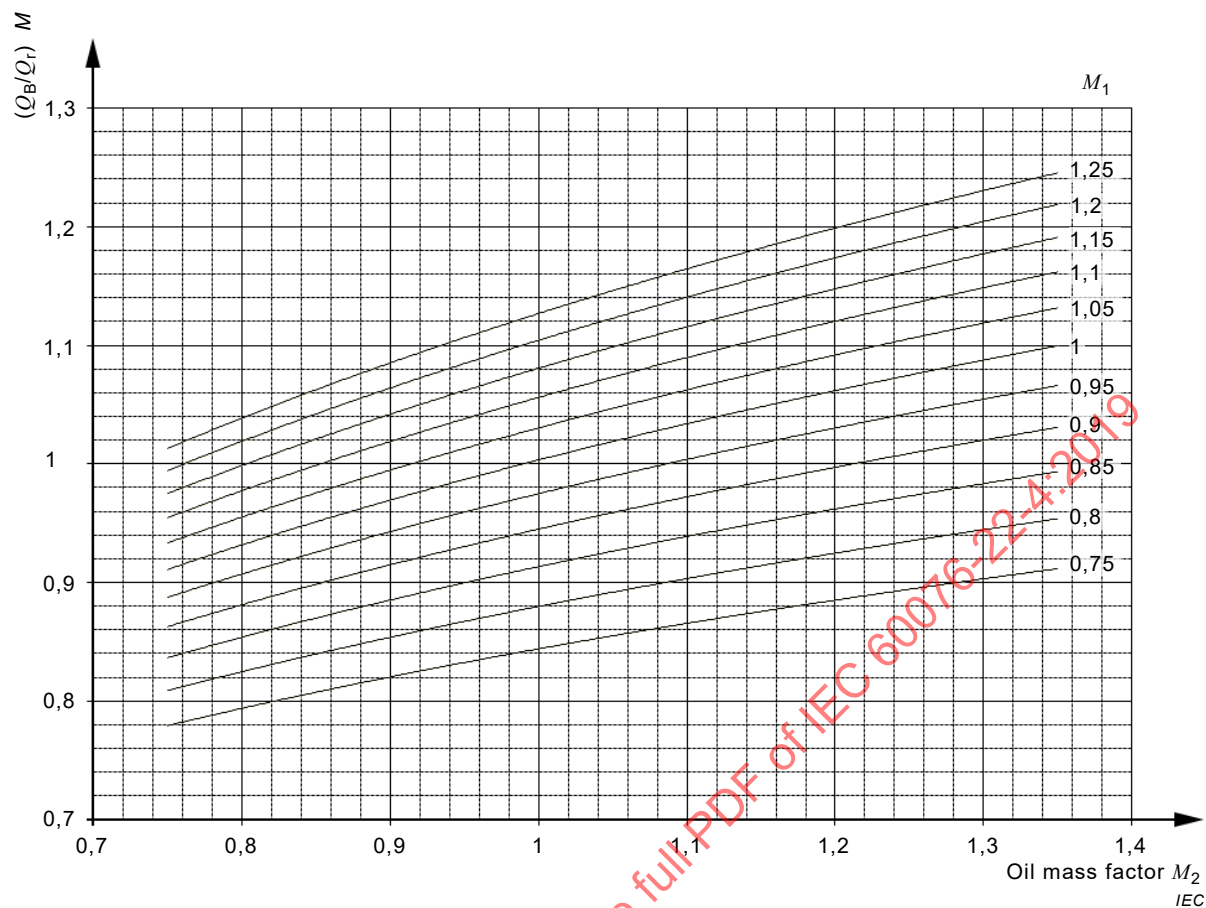


Figure B.3 – Capacity factor depending on mass for finned tubes

Area quotient of tube outside (oil side) to inner side (water side):

$$F_a / F_i \approx 3,6$$

Finned tubes with other area quotient are possible.

Calculation formula for capacity factor:

$$\left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_M = A \times \ln(M_2) + B$$

with: $A = 0,333\,115 \ln(M_1) + 0,321\,075$

$$B = 0,553\,51 \ln(M_1) + 1,003\,211$$

Annex C (informative)

Example for calculation of capacity in service

Annex C includes an example based on the calculation rules stipulated in Annex B.

Starting data: Double tube heat exchanger with finned tubes and rated values (e.g. from offer):

- rated cooling capacity $Q_r = 1\,000\text{ kW}$
- water temperature at inlet $t_{1r}' = 30\text{ °C}$
- oil temperature at inlet $t_{2r}' = 70\text{ °C}$
- water flow quantity $V_{1r} = 86\text{ m}^3/\text{h}$
- oil flow quantity $V_{2r} = 150\text{ m}^3/\text{h}$

Requested: Service cooling capacity considering the following values:

- water temperature at inlet $t_{1B}' = 25\text{ °C}$
- oil temperature at inlet $t_{2B}' = 62\text{ °C}$
- water flow quantity $V_{1B} = 94,6\text{ m}^3/\text{h}$
- oil flow quantity $V_{2B} = 140\text{ m}^3/\text{h}$

From Figure B.1: with $t_{1B}' = 25\text{ °C}$ and $t_{2B}' = 62\text{ °C}$:

$$\left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_T = 0,9$$

Rated oil temperature at inlet: $t_{2r}' = 70\text{ °C}$

Service oil temperature at inlet: $t_{2B}' = 62\text{ °C}$

Specific gravity of oil $\rho_{2r} = 880 - 0,65 \times 70 = 834,5\text{ kg/m}^3$

$$\rho_{2B} = 880 - 0,65 \times 62 = 839,7\text{ kg/m}^3$$

Water mass factor $M_1 = 94,6/86 = 1,1$

Oil mass factor $M_2 = 140/150 \times 839,7/834,5 = 0,939$

From Figure B.3: with $M_1 = 1,1$ $M_2 = 0,939$

$$\left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_M = 1,04$$

Service cooling capacity:

$$Q_B = Q_r \times \left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_T \times \left(\frac{Q_B}{Q_r} \right)_M$$

$$Q_B = 1\,000 \times 0,9 \times 1,04 = 936 \text{ kW}$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-4:2019

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 7005-1, *Pipe flanges – Part 1: Steel flanges for industrial and general service piping systems*

ISO 9001, *Quality management systems – Requirements*

EN 1561, *Founding – Grey cast irons*

EN 1653, *Copper and copper alloys – Plate, sheet and circles for boilers, pressure vessels and hot water storage units*

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

EN 10027-1, *Designation systems for steels – Part 1: Steel names*

EN 10088-2, *Stainless steels – Part 2: Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes*

EN 12451, *Copper and copper alloys – Seamless, round tubes for heat exchangers*

EN 12452, *Copper and copper alloys – Rolled, finned, seamless tubes for heat exchangers*

EN 12502-1, *Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems – Part 1: General*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-4:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
INTRODUCTION.....	34
1 Domaine d'application	35
2 Références normatives	35
3 Termes et définitions	35
4 Exigences générales	36
4.1 Conditions de service.....	36
4.2 Exigences de performances	36
4.3 Degré de protection des composants électriques (IP).....	36
4.4 Protection contre la corrosion	36
4.4.1 Extérieure (atmosphère)	36
4.4.2 Côté liquide isolant	37
4.4.3 Côté eau.....	37
4.5 Caractéristiques du liquide isolant.....	37
5 Conception et caractéristiques.....	37
5.1 Généralités	37
5.2 Principaux composants et caractéristiques.....	37
5.2.1 Généralités	37
5.2.2 Enveloppe	37
5.2.3 Faisceau de tubes dans la disposition à double tube	37
5.2.4 Boîte à huile	38
5.3 Caractéristiques générales	38
5.3.1 Informations de la plaque signalétique.....	38
5.3.2 Informations à fournir lors d'un appel d'offres et d'une commande	38
5.3.3 Capacité de refroidissement assignée	39
5.3.4 Conception mécanique	39
5.3.5 Préparation pour le transport et le stockage.....	42
5.3.6 Conditions de montage et de fonctionnement	42
6 Essais	42
6.1 Exigences générales pour les essais	42
6.1.1 Généralités.....	42
6.1.2 Liste des essais.....	43
6.2 Essais individuels de série	43
6.2.1 Essai d'étanchéité côté liquide isolant	43
6.2.2 Essai d'étanchéité côté eau	43
6.2.3 Examen visuel	43
6.2.4 Propreté	44
6.3 Essais de type – Essai des valeurs assignées	44
Annexe A (informative) Détails relatifs aux hydroréfrigérants	45
A.1 Masses et dimensions.....	45
A.2 Connexion et formes des types suspendus	45
A.3 Connexion et formes des types horizontaux	46
A.4 Connexion et formes des types verticaux	47
A.5 Liste des pièces – Matériaux – Choix commun des matériaux	48
A.6 Exemple pour l'eau douce.....	49

Annexe B (informative) Conditions assignées des hydroréfrigérants	50
B.1 Généralités	50
B.2 Définitions, symboles	50
B.3 Calcul de la capacité en service	50
B.3.1 Capacité de service pour différentes températures à l'entrée selon Figure B.1	50
B.3.2 Capacité de service pour différents débits massiques selon la Figure B.2 pour les tubes lisses et selon la Figure B.3 pour les tubes à ailettes	50
B.3.3 Capacité de service pour différents débits massiques et différentes températures	51
B.3.4 Exemple de calcul d'une marge de capacité de 25 % des hydroréfrigérants neufs	51
Annexe C (informative) Exemple de calcul de la capacité en service	55
Bibliographie	57
Figure A.1 – Connexion et formes des types suspenseurs	45
Figure A.2 – Connexion et formes des types horizontaux	46
Figure A.3 – Connexion et formes des types verticaux	47
Figure B.1 – Facteur de capacité en fonction des températures à l'entrée de l'eau et de l'huile	52
Figure B.2 – Facteur de capacité en fonction de la masse des tubes lisses	53
Figure B.3 – Facteur de capacité en fonction de la masse des tubes à ailettes	54
Tableau 1 – Données de qualité de l'eau	40
Tableau 2 – Accessoires obligatoires	41
Tableau A.1 – Exemples de choix de matériau en fonction de la qualité de l'eau	49
Tableau A.2 – Valeurs moyennes pour de l'eau chimiquement neutre (eau douce)	49

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

**Partie 22-4: Accessoires pour transformateurs de puissance
et bobines d'inductance – Hydroréfrigérants**

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 60076-22-4 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
14/996/FDIS	14/1004/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 60076-22-4:2019

INTRODUCTION

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

L'Annexe B fournit des recommandations à l'utilisateur final pour évaluer le comportement de l'hydroréfrigérant dans différentes conditions de fonctionnement. L'Annexe C donne un exemple basé sur les règles de calcul stipulées à l'Annexe B.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-4:2019

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 22-4: Accessoires pour transformateurs de puissance et bobines d'inductance – Hydroréfrigérants

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60076-22 s'applique aux hydroréfrigérants, utilisant des circuits à circulation forcée d'eau et de liquide, utilisés sur des transformateurs de puissance immergés dans un liquide (conformes à l'IEC 60076-1) et des 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 4406, *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles* (disponible en anglais seulement)

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

hydroréfrigérant

composant de refroidissement du liquide isolant du transformateur par circulation forcée du liquide isolant et circulation forcée de l'eau

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. Sauf spécification contraire, l'eau douce telle que définie par le Tableau A.2 doit être considérée être de l'eau de refroidissement.

La spécification de fonctionnement du dispositif et de l'équipement dans des conditions de service différentes de celles spécifiées dans 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 de la conception du dispositif et de l'équipement.

Toute condition particulière qui peut avoir un impact sur le bon fonctionnement du réfrigérant doit être spécifiée (par exemple la qualité de l'eau, l'ajout de solutions antigel, la boue, les microorganismes, l'ajout de biocides, les algues et le fonctionnement intermittent).

4.2 Exigences de performances

Il convient que les hydroréfrigérants satisfassent aux exigences suivantes:

- la séparation mécanique du circuit de liquide et du circuit d'eau doit être assurée à tout moment;
- la conception et le contrôle indépendants des conditions du liquide et de l'eau doivent être possibles;
- l'accès aux surfaces côté eau doit être possible sans influencer ni ouvrir le circuit côté liquide;
- les surfaces côté eau sont aisément accessibles pour procéder à l'examen et au nettoyage sur place par des moyens mécaniques, par exemple à l'aide de brosses;
- la construction de l'hydroréfrigérant doit être adaptée aux conditions de fonctionnement conformes aux valeurs de pression admises côté liquide et côté eau;
- détection aisée d'éventuelles fuites côté liquide et côté eau.

4.3 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.

4.4 Protection contre la corrosion

4.4.1 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.

4.4.2 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 à joints d'étanchéité sont considérés comme une condition minimale. La peinture intérieure, le remplissage à l'azote, des matériaux déshydratants, etc., peuvent être utilisés comme autres solutions ou solutions supplémentaires.

4.4.3 Côté eau

La protection contre la corrosion côté eau du système de refroidissement, qui dépend de la qualité de l'eau, doit faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant. Le fabricant doit choisir la combinaison de matériau et de protection de surface pour obtenir le degré de protection exigé. Comme exigence minimale concernant la peinture, un revêtement époxy d'une épaisseur de 150 µm doit être appliqué.

4.5 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, la variation de viscosité, la température d'exploitation et toutes les autres caractéristiques de fonctionnement doivent être indiquées par l'acheteur.

5 Conception et caractéristiques

5.1 Généralités

Les hydroréfrigérants à double tube sont actuellement considérés comme les meilleurs systèmes de refroidissement du liquide isolant de transformateur, en conformité avec toutes les exigences. D'autres types peuvent être acceptés et utilisés si toutes les exigences de 4.2 sont satisfaites.

5.2 Principaux composants et caractéristiques

5.2.1 Généralités

Voir la Figure A.1, la Figure A.2 et la Figure A.3 pour référence.

Les principaux composants d'un hydroréfrigérant sont l'enveloppe, le faisceau de tubes à l'intérieur de l'enveloppe et deux boîtes à huile aux deux extrémités de l'enveloppe.

5.2.2 Enveloppe

L'enveloppe est le compartiment cylindrique contenant le faisceau de tubes. Il est muni de brides pour le raccordement de la tuyauterie du liquide isolant. L'enveloppe contient le liquide isolant. Les chicanes placées sur le faisceau de tubes permettent d'optimiser la circulation du liquide à l'intérieur de l'enveloppe.

5.2.3 Faisceau de tubes dans la disposition à double tube

Des doubles tubes sont utilisés pour le faisceau de tubes pour des raisons de sécurité du transformateur. La pression du liquide à l'extérieur des tubes est indépendante de la pression de l'eau, à laquelle elle est en général inférieure à l'intérieur des tubes.

- Les doubles tubes sont composés de deux tubes concentriques sans fluide de remplissage entre eux. Les tubes intérieurs sont lisses et les tubes extérieurs sont lisses ou à ailettes. Des rainures doivent se trouver entre le tube intérieur et le tube extérieur. Celles-ci permettent de détecter une éventuelle fuite à l'aide d'un dispositif approprié. Les doubles tubes sont raccordés en leurs deux extrémités aux boîtes à huile respectives par dudgeonnage ou soudage. Le raccordement doit être étanche au fluide.
- Le faisceau de tubes peut être disposé en nombre de passages pair afin d'optimiser la circulation de l'eau.

Les faisceaux de tubes amovibles sont la solution préférentielle pour les besoins de la maintenance.

5.2.4 Boîte à huile

- Deux boîtes à huile obturent l'enveloppe aux deux extrémités.
- Une boîte à eau supporte les brides pour le raccordement à la canalisation d'eau. L'eau est réacheminée à l'intérieur de l'autre boîte à eau.

5.3 Caractéristiques générales

5.3.1 Informations de la plaque signalétique

La plaque signalétique doit résister à la corrosion et à l'acide. Elle doit être visible lorsque l'hydoréfrigérant 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.

Données assignées:

- capacité de refroidissement assignée [kW];
- débit assigné d'air/d'eau [m³/h];
- températures à l'entrée et à la sortie côté liquide et côté eau [°C];
- chute de pression dans l'hydoréfrigérant côté liquide/côté eau [bar];
- pression maximale en service côté liquide [kPa];
- pression maximale en service côté eau [kPa];
- température de calcul maximale côté liquide [°C];
- masse de l'hydoréfrigérant sans huile ni eau [kg];
- volume d'huile et d'eau pour le remplissage [dm³].

5.3.2 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;
- qualité de l'eau;
- capacité de refroidissement assignée Q_r kW;
- température de l'eau à l'entrée t_1' °C;
- température de l'eau à la sortie (max.) t_1'' °C;

- température admise maximale du liquide t_2' °C;
- différence de température du liquide (valeur min./valeur max.) Δt_2 K;
- débit de liquide V_2 m³/h;
- débit de l'eau (max.) V_1 m³/h;
- pression de service (côté eau) kPa.

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

- matériaux côté eau (Article A.5)
- capacité de refroidissement assignée Q_r kW;
- débit d'eau assigné V_1 m³/h;
- débit d'huile assigné V_2 m³/h;
- température de l'eau à l'entrée t_1' °C;
- température de l'eau à la sortie t_1'' °C;
- température du liquide à l'entrée t_2' °C;
- température du liquide à la sortie t_2'' °C;
- chute de pression côté eau Δp_1 kPa;
- chute de pression côté liquide Δp_2 kPa;
- pression de service maximale (côté eau) p_1 kPa;
- pression de service maximale (côté liquide) p_2 kPa.

5.3.3 Capacité de refroidissement assignée

La capacité de refroidissement assignée de l'hydoréfrigérant est la capacité minimale que le fabricant doit garantir lorsque le réfrigérant est neuf. Sauf spécification contraire dans le cadre d'un accord entre l'acheteur et le fabricant, l'hydoréfrigérant doit être conçu avec une marge de capacité d'au moins 25 %, car un état du faisceau côté eau, non conforme à celui de conception, peut avoir un impact sur l'efficacité et la durée de vie théorique du réfrigérant.

Pour les hydoréfrigérants neufs, la capacité – marge comprise – doit être obtenue avec les valeurs assignées de débit d'huile, de débit d'eau, de température de l'huile à l'entrée et de température de l'eau à l'entrée.

5.3.4 Conception mécanique

5.3.4.1 Généralités

La conception mécanique repose sur les conditions environnementales décrites en 4.1. La température maximale du liquide doit être de 100 °C et la température maximale de l'eau de 50 °C. D'autres conditions environnementales, températures et liquides de refroidissement doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur.

Le réfrigérant peut être conçu pour être installé en position verticale ou horizontale. Les réfrigérants installés à la verticale peuvent être suspendus à des cadres. Voir l'Annexe A pour des exemples.

Le raccordement des tubes de refroidissement et des plaques doit être étanche au fluide. Le faisceau de tubes peut avoir les deux configurations suivantes, à convenir entre le fabricant et l'acheteur:

- avec une tête flottante. Dans cette configuration, le faisceau de tubes peut être retiré pour être examiné et remplacé;
- avec des plaques tubulaires fixes et des têtes fixes.

Pour les deux configurations, les conduites d'eau sont amovibles et peuvent être vidées séparément. La dépose d'une conduite d'eau ne doit pas avoir d'influence sur le circuit d'huile.

L'hydoréfrigérant doit être conçu pour une installation extérieure non protégée.

L'hydoréfrigérant doit être muni de dispositifs de vidange et de purge tant côté liquide que côté eau.

La conception mécanique du côté huile de l'hydoréfrigérant doit résister à un vide de pression absolue de 2,5 kPa.

La pression d'huile maximale admise en service doit être de 330 kPa.

La pression d'eau maximale admise en service dans le présent document doit être de 800 kPa.

5.3.4.2 Matériaux

L'hydoréfrigérant peut être composé de différents matériaux en fonction de la qualité de l'eau de refroidissement et des conditions d'exploitation, voir le Tableau A.1. Voir l'Article A.5 pour des exemples de meilleure pratique dans le cas de l'eau en qualité potable.

5.3.4.3 Qualité de l'eau

L'acheteur doit spécifier au moins les informations indiquées dans le Tableau 1 avec l'appel d'offres:

Tableau 1 – Données de qualité de l'eau

température d'échantillonnage	teneur en fer/manganèse	type d'eau (par exemple eau douce)
valeur du pH	teneur en chlore	teneur en ammonium
dureté totale	teneur en sulfate	oxygène libre
dureté carbonatée (valeur m)	teneur en nitrate	conductivité électrique
CO ₂ libre (valeur p)	teneur en phosphate	matières en suspension

Si la qualité de l'eau n'est pas précisée, elle est considérée être potable selon le Tableau A.2.

Si la qualité de l'eau varie pendant le fonctionnement (par exemple à proximité des côtes, où l'eau de refroidissement peut être de l'eau fluviale, de l'eau saumâtre et de l'eau de mer en fonction de la marée), le choix du matériau doit tenir compte de toutes les conditions possibles.

5.3.4.4 Accessoires obligatoires

L'hydoréfrigérant doit être au moins équipé des accessoires suivants (voir le Tableau 2):

Tableau 2 – Accessoires obligatoires

N°	Désignation	Remarques
1	Brides de raccordement DN 15/PN 6	Pour la vidange du liquide, pour le raccordement du robinet de vidange
1	Bouchon de purge	Purge côté liquide
1	Détecteur de fuite	Pour détecter les fuites, côté eau ou côté liquide
	Vidange d'eau	Chaque compartiment doit disposer d'une vidange d'eau permettant de vidanger totalement le réfrigérant
	Bouchon de verrouillage	Chaque logement de thermomètre et vidange d'eau doit être muni d'un bouchon de verrouillage
2	Support de plaque	
1	Orifice de nettoyage du compartiment d'eau	Accès à la boîte à eau sans déposer la tuyauterie
2	Logement de thermomètre G ¾ côté liquide	Profondeur d'immersion 65 mm, filetage interne G ¾ x 20 mm
2	Logement de thermomètre G ¾ côté eau	Profondeur d'immersion 65 mm, filetage interne G ¾ x 20 mm
2	Bride de raccordement PN 10	Raccordement du côté liquide
2	Bride de raccordement PN 10	Raccordement du côté eau
	Bride de raccordement DN 15 PN 6	Filetage M10, longueur minimale de filetage 12,5 mm, raccordement de ventilation côté eau, autant que nécessaire pour l'aération de tous les compartiments ^b
1	Goujon de mise à la terre M12	
2	Œillet de levage ^a	
^a Un œillet de levage est prévu pour chaque composant pesant au moins 30 kg.		
^b Des brides de raccordement d'eau verticales peuvent être utilisées pour l'aération.		

À la demande du client, le réfrigérant peut être conçu pour et équipé de thermomètres, d'indicateurs de débit, de manomètres et d'appareils à pression différentielle.

5.3.4.5 Exigences de fabrication

Les surfaces internes côté liquide isolant 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.

Immédiatement après le rinçage, le liquide doit être retiré. D'éventuels petits résidus peuvent être envisagés. Toutes les brides côté liquide isolant doivent être fermées et les couvercles ne doivent pas être retirés sans raison.

5.3.5 Préparation pour le transport et le stockage

5.3.5.1 Transport

Les brides côté eau, ainsi que toutes les autres ouvertures (c'est-à-dire les logements de thermomètre et les dispositifs d'aération et de vidange) doivent être fermées pour éviter la pénétration d'humidité et de pollution.

L'hydoréfrigérant doit être placé sur une palette adaptée pour être aisément manipulée avec un chariot élévateur et pour éviter les dommages pendant le transport. Une protection adaptée doit être prévue pour éviter la pollution pendant le transport.

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

5.3.5.2 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.

En option, sur demande de l'acheteur, le côté liquide isolant de l'hydoréfrigérant 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, ce qui doit être précisé par l'acheteur, la surpression doit rester à au moins 5 kPa et doit donc être contrôlée régulièrement.

5.3.6 Conditions de montage et de fonctionnement

Les hydoréfrigérants qui ne sont pas en service doivent être totalement vidangés, nettoyés, séchés et fermés.

Il convient de les contrôler régulièrement côté eau en fonction de la qualité de l'eau, et de les nettoyer le cas échéant.

La présence d'impuretés non solubles, plus particulièrement les matières en suspension, implique des périodes de nettoyage fréquentes. Cela pourrait être évité en utilisant des écrans ou des filtres, par exemple.

Les hydoréfrigérants doivent fonctionner au débit d'eau nominal.

Si un débit d'eau plus élevé ou plus faible est exigé, cela doit être clarifié avec le fournisseur. Les limites supérieures et inférieures doivent être soigneusement vérifiées, notamment en considération de la vitesse maximale admise de l'eau, de la chute de pression admise et de l'éventuelle contamination par l'eau de refroidissement.

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:

- essai d'étanchéité côté liquide isolant (6.2.1);
- essai d'étanchéité côté eau (6.2.2);
- essai d'étanchéité du compartiment de fuite selon les meilleures pratiques du fabricant;
- examen visuel (6.2.3);
- propreté (6.2.4);
- peinture extérieure selon spécification.

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 Essai d'étanchéité côté liquide isolant

L'hydrauloréfrigérant 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 avec huile de transformateur 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 Essai d'étanchéité côté eau

L'hydrauloréfrigérant doit être rempli d'eau douce sous une pression de 1 200 kPa. Après l'élimination de la dernière fuite, l'essai de pression doit être réalisé pendant une période de 2 h.

6.2.3 Examen visuel

6.2.3.1 Surface externe

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

6.2.3.2 Surface intérieure côté liquide isolant

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

6.2.3.3 Surface intérieure côté eau

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

6.2.4 Propreté

La propreté des surfaces internes doit satisfaire aux valeurs indiquées en 5.3.4.5.

6.3 Essais de type – Essai des valeurs assignées

En règle générale, cet essai est réalisé avec le transformateur. Il convient de planifier des essais de type séparés dans le cadre d'un accord spécial entre le fournisseur et l'acheteur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60076-22-4:2019

Annexe A (informative)

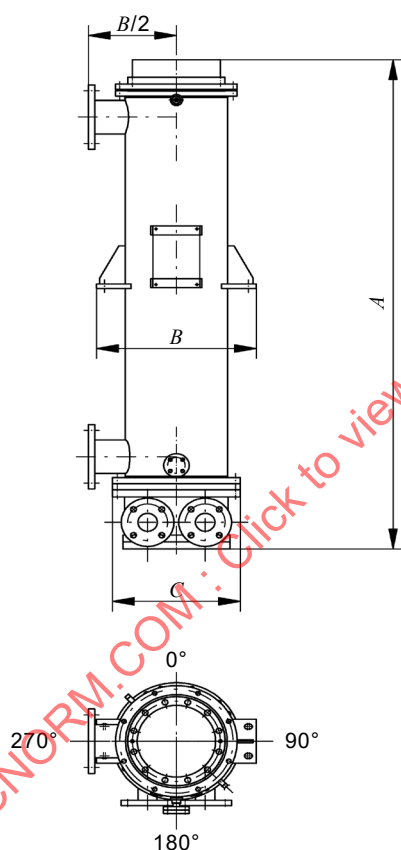
Détails relatifs aux hydroréfrigérants

A.1 Masses et dimensions

Les masses et dimensions d'un hydroréfrigérant sont généralement définies dans l'offre. Les dimensions A , B et C dans les Figures A.1 à A.3 sont les informations minimales à fournir pour une offre préliminaire.

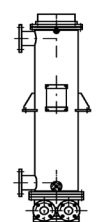
En règle générale, il convient que les dimensions et la position/l'orientation de l'embout fassent l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur en fonction des débits.

A.2 Connexion et formes des types suspendus

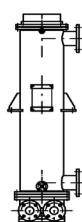


La position des brides de raccordement d'eau ainsi que la position des commandes et des fixations doivent être convenues si elles s'écartent des formes ci-dessous.

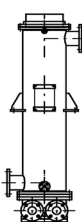
Construction agrandie: Forme A



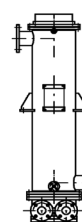
Forme A



Forme B



Forme C



Forme D

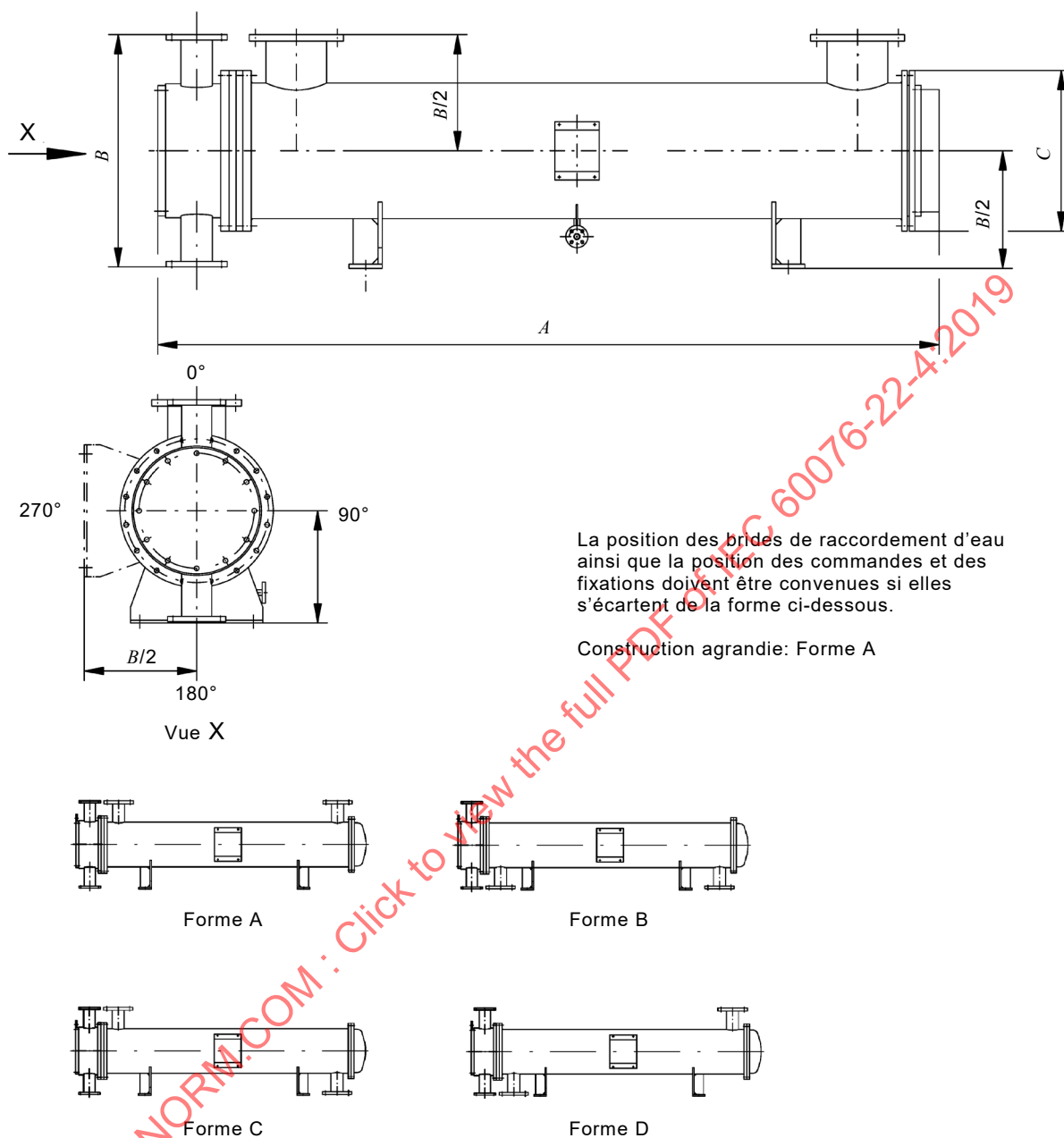
IEC

NOTE 1 La position de l'entrée/sortie d'huile ou de l'entrée/sortie d'eau est arbitraire.

NOTE 2 Les positions de logement de thermomètre au milieu ou sur le bord relèvent d'une décision du fabricant.

Figure A.1 – Connexion et formes des types suspendeurs

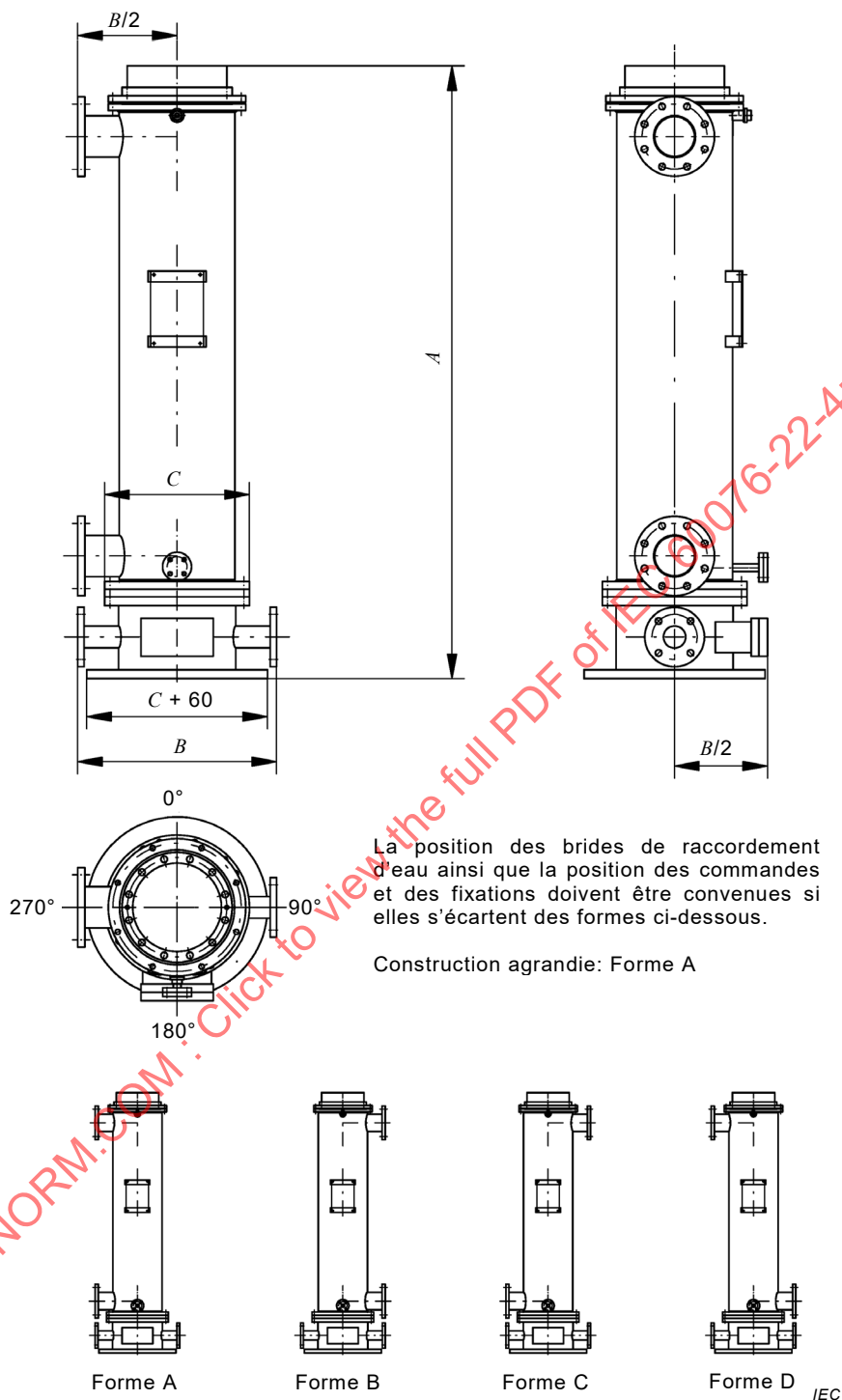
A.3 Connexion et formes des types horizontaux



NOTE La position de l'entrée/sortie d'huile ou de l'entrée/sortie d'eau est arbitraire.

Figure A.2 – Connexion et formes des types horizontaux

A.4 Connexion et formes des types verticaux



NOTE La position de l'entrée/sortie d'huile ou de l'entrée/sortie d'eau est arbitraire.

Figure A.3 – Connexion et formes des types verticaux