IEC 61400-4

Edition 2.0 2025-04

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

## Wind energy generation systems -
## Part 4: Design requirements for wind turbine gearboxes

## Systèmes de génération d'énergie éolienne -
## Partie 4: Exigences de conception des boîtes de vitesses des éoliennes

ICS 27.180

ISBN 978-2-8327-0599-5

IEC 61400-4:2025-04(en-fr)



**THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED**
**Copyright © 2025 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 Secretariat
3, rue de Varembé
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

**IEC Products & Services Portal - products.iec.ch**
Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

**Electropedia - www.electropedia.org**
The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

---

**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.

**IEC Products & Services Portal - products.iec.ch**
Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

**Electropedia - www.electropedia.org**
Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.


**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....6
INTRODUCTION....8
1 Scope....9
2 Normative references....10
3 Terms, definitions, abbreviated terms, units and conventions....13
3.1 Terms and definitions....13
3.2 Abbreviated terms and units....15
3.3 Conventions....18
3.3.1 Shaft designations – examples for typical wind turbine gearbox architecture....18
4 Design process....20
4.1 General....20
4.2 Gearbox type....21
4.3 Design life, service life, and reliability....22
4.4 Component class and consequence of failure....22
4.5 Design process....22
5 Gearbox interfaces and loads....25
5.1 General....25
5.2 Interfaces....25
5.3 Loads....25
5.4 Drivetrain dynamics....26
5.4.1 General....26
5.4.2 Model requirements....26
5.4.3 Required analyses....27
5.4.4 Evaluation of excitability....28
5.4.5 Verification of dynamic behaviour in system environment....28
6 Design and rating requirements....29
6.1 Gears....29
6.1.1 Reliability considerations....29
6.1.2 Calculation of gear load capacity....29
6.1.3 Load factors....33
6.1.4 Materials....35
6.1.5 Accuracy....35
6.1.6 Manufacturing....35
6.2 Rolling bearings....36
6.2.1 Reliability considerations....36
6.2.2 Bearing selection....39
6.2.3 Materials....40
6.2.4 Interface requirements....40
6.2.5 Design considerations....41
6.2.6 Bearing lubrication....43
6.2.7 Rating calculations....44
6.3 Plain bearings....47
6.3.1 Reliability considerations....47
6.3.2 Design load cases and associated risks....47
6.3.3 Interface requirements....49

6.3.4 Shaft and housing fits ..... 50
6.3.5 Hydrodynamic lubrication regime ..... 50
6.3.6 Lubricant regime analysis ..... 51
6.3.7 Bearing requirements ..... 51
6.4 Shafts, keys, housing joints, splines, and fasteners ..... 52
6.4.1 Shafts ..... 52
6.4.2 Shaft-hub connections ..... 53
6.4.3 Shaft seals ..... 53
6.4.4 Fasteners ..... 53
6.4.5 Bolted joints ..... 54
6.4.6 Circlips ..... 55
6.5 Structural elements ..... 55
6.5.1 General ..... 55
6.5.2 Interfaces, boundary conditions, and loads ..... 56
6.6 Lubrication ..... 56
6.6.1 General ..... 56
6.6.2 Lubricant performance characteristics ..... 56
6.6.3 Lubricant viscosity ..... 56
6.6.4 Method of lubrication and cooling ..... 57
6.6.5 Quantity of lubricant in the lubrication system ..... 57
6.6.6 Operating temperatures ..... 58
6.6.7 Temperature control ..... 58
6.6.8 Lubricant condition monitoring ..... 59
6.6.9 Lubricant filtration ..... 59
6.6.10 Ports ..... 60
6.6.11 Lubricant level indicator ..... 60
6.6.12 Magnetic plugs ..... 60
6.6.13 Breather port ..... 60
6.6.14 Flow sensor ..... 61
7 Design verification and design validation ..... 61
7.1 General ..... 61
7.2 Design verification and validation plan ..... 61
7.3 Failure mode categorization ..... 61
7.4 Verification methods ..... 62
7.4.1 General ..... 62
7.4.2 Testing ..... 62
7.4.3 Similarity ..... 64
7.4.4 Simulation ..... 65
7.5 Verification and validation matrix ..... 65
8 Manufacturing and quality assurance ..... 69
8.1 General ..... 69
8.2 Quality plan ..... 69
8.2.1 General ..... 69
8.2.2 Surface temper inspection of gears after grinding ..... 69
8.2.3 Surface roughness inspection ..... 69
8.3 Critical processes ..... 69
8.4 Statistical process control ..... 69
8.5 Factory acceptance testing ..... 70
8.5.1 Test objectives ..... 70

8.5.2 Acceptance test plan ..... 70
8.5.3 Factory test sequences ..... 70
8.5.4 Acceptance measurements ..... 71
8.6 Non-conforming components ..... 71
8.6.1 General ..... 71
8.6.2 Grinding notches ..... 72
9 Design for service and operation ..... 72
9.1 General ..... 72
9.2 Service and operation design requirements ..... 72
9.3 Service and operation documentation requirements ..... 72
9.4 Safety ..... 73
Annex A (informative) Examples of drivetrain interfaces and loads specifications ..... 74
A.1 General ..... 74
A.2 Common wind turbine drivetrain architectures ..... 74
A.2.1 Non-integrated drivetrain with 4-point suspension ..... 74
A.2.2 Non-integrated drivetrain with 3-point suspension ..... 75
A.2.3 Integrated drivetrain ..... 75
A.2.4 Interfaces ..... 78
A.2.5 Coordinate system ..... 78
A.2.6 Interface descriptions ..... 78
A.2.7 Engineering data at the interface ..... 80
A.3 Wind turbine load descriptions ..... 80
A.3.1 Load description formats ..... 80
A.3.2 Rainflow matrices ..... 81
A.3.3 Load revolution distribution ..... 82
A.3.4 Extreme load descriptions ..... 83
A.4 Wind turbine reference power and speed ..... 84
A.4.1 General ..... 84
A.4.2 Wind turbine power control theory ..... 84
A.4.3 Practicalities of power control ..... 85
Annex B (informative) Dynamic gearbox model verification and validation ..... 87
B.1 General ..... 87
B.2 Verification of drivetrain dynamics models ..... 87
B.3 Validation of drivetrain dynamics models ..... 87
Bibliography ..... 90

Figure 1 – Shaft designation in 3-stage parallel shaft gearboxes ..... 19
Figure 2 – Shaft designation in 3-stage gearboxes with one planet stage ..... 19
Figure 3 – Shaft designation in 3-stage gearboxes with two planet stages ..... 20
Figure 4 – Shaft designation in 4-stage gearboxes with three planet stages ..... 20
Figure 5 – Design process flow chart ..... 23
Figure 6 – Definition of planet gear rim thickness ..... 31
Figure 7 – Examples of bearing selection criteria ..... 39
Figure 8 – Notional operational conditions and plain bearing risk regions ..... 49
Figure A.1 – Non-integrated drivetrain with 4-point suspension ..... 74
Figure A.2 – Non-integrated drivetrain with 3-point suspension ..... 75
Figure A.3 – Rotor-side integration with rigid main shaft connection ..... 76

Figure A.4 – Rotor-side integration with flexible main shaft connection....76
Figure A.5 – Generator-side integration with rotor support in generator....77
Figure A.6 – Generator-side integration with rotor support in gearbox and generator....77
Figure A.7 – Generator-side integration with rotor support in gearbox....77
Figure A.8 – Example of rainflow cycles per design load case....82
Figure A.9 – Example of a load revolution distribution....83
Figure A.10 – Wind turbine power control regions....84
Figure A.11 – Ideal power and speed control strategy....85
Figure A.12 – Control strategy compared to actual response....85

Table 1 – Definition of a gearbox type....21
Table 2 – Minimum safety factors for pitting resistance and bending strength....30
Table 3 – Mesh load factor for planetary stages....33
Table 4 – Required gear accuracy....35
Table 5 – Typical temperature differences for calculation of operating clearance....42
Table 6 – Bearing lubricant temperature for calculation of viscosity ratio....44
Table 7 – Guide values for maximum contact stress....46
Table 8 – Plain bearing risks coupled to operating conditions....48
Table 9 – Minimum safety factors....52
Table 10 – Failure mode categorization....62
Table 11 – Verification and validation matrix....66
Table A.1 – Analysis information at interfaces for non-integrated drivetrains....79
Table A.2 – Analysis information at interfaces for integrated drivetrain....80
Table A.3 – Engineering data and design load descriptions....80
Table A.4 – Rainflow matrix example....81
Table A.5 – Extreme load matrix example....83

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

# WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

# Part 4: Design requirements for wind turbine gearboxes

## FOREWORD

1) ISO (the International Organization for Standardization) and IEC (the International Electrotechnical Commission) form the specialized system for worldwide standardization. National bodies that are members of ISO or IEC participate in the development of International Standards through technical committees established by the respective organization to deal with particular fields of technical activity. ISO and IEC technical committees collaborate in fields of mutual interest. Other international organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO and IEC, also take part in the work.
2) The formal decisions or agreements of IEC and ISO on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC and ISO National bodies.
3) IEC and ISO documents have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC and ISO National bodies in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC and ISO documents is accurate, IEC and ISO 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 and ISO National bodies undertake to apply IEC and ISO documents transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC and ISO document and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC and ISO do not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC and ISO marks of conformity. IEC and ISO are not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this document.
7) No liability shall attach to IEC and ISO or their directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC and ISO National bodies 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 ISO/IEC document or any other IEC and ISO documents.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this document. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this document.
9) IEC and ISO draw attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC and ISO take no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC and ISO had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at https://patents.iec.ch and www.iso.org/patents. IEC and ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 61400-4 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems, in co-operation with ISO technical committee 60: Gears. It is an International Standard.

It is published as a double logo standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2012. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

a) extension of the scope to wind turbines above 2 MW reference power;
b) considerations for converging differing approaches to reliability in gear, bearing and wind turbine standards;

c) new clause on wind turbine loads specific to drivetrains;

d) revised clause on verification and validation;

e) new clause on design requirements for plain bearings;

f) revised and expanded design considerations for rolling bearings;

g) revised clause on considerations and requirements in the design and analysis of gearbox structural elements;

h) updated considerations and requirements on lubricants and lubrication systems;

i) removal of requirements for documenting the compliance of a design with the requirements of the document in favour of reference to IECRE OD-501-2.

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

| Draft | Report on voting |
|---|---|
| 88/971/CDV | 88/1003A/RVC |

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table. In ISO, the standard has been approved by 11 P-members out of 12 having cast a vote.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts of the IEC 61400 series, under the general title: *Wind energy generation systems*, 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 webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

# INTRODUCTION

IEC 61400-4 outlines minimum requirements for specification, design, and verification of gearboxes in wind turbines. It does not serve as a complete design specification or instruction manual. It is intended for use by experienced designers of wind turbine drivetrains, gearboxes, and gears or bearings who are capable of selecting reasonable values for the design factors, based on knowledge of similar designs and the effects of such items as lubrication, deflection, manufacturing tolerances, metallurgy, residual stress, and system dynamics.

Any of the requirements of this document may be altered:

- if more accurate data are available from full scale load tests, precise measurements, comprehensive mathematical analysis, or any combination of these;
- or on the basis of proven operating experience;
- and if the evidence is accessible for independent assessment (e.g. by an accredited renewable energy certification body);
- and if the accuracy and reliability of the alternative method is demonstrated with respect to the safety and reliability of the complete wind turbine drive system.

# WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

# Part 4: Design requirements for wind turbine gearboxes

## 1 Scope

This part of IEC 61400 is applicable to enclosed speed increasing gearboxes for horizontal axis wind turbine drivetrains with a power rating in excess of 500 kW. This document applies to newly designed gearboxes for wind turbines installed onshore or offshore. The technical requirements given in this document are not intended for repaired or refurbished gearboxes, or for the extension of the service life beyond the design life.

This document provides requirements and guidance on the analysis of the wind turbine loads in relation to the design of the gear and gearbox elements. The gearing elements covered by this document include such gears as spur, helical or double helical and their combinations in parallel and epicyclic arrangements in the main power path. This document does not apply to power take off (PTO) gears.

This document includes requirements, design recommendations, and rating of gearboxes with rolling bearings, plain bearings, or combinations of both bearing types.

Also included are requirements and guidance on the engineering of shafts, shaft hub interfaces, lubrication, wind turbine controller interface, and the gear case structure to achieve a design that is capable of withstanding the environment and operating conditions of a wind turbine. Requirements for dynamic analysis of the gearbox within the wind turbine system are specified for the purpose of identifying load levels exceeding the predictions of the global aeroelastic simulation. The analysis of noise transmission and emission (e.g. tonal emission at gear mesh frequencies) is not within the scope of this edition of the document.

Further, this document provides requirements and guidance on gearbox design verification, prototype testing and production testing, as well as consideration of design for service and maintenance.

A method for a systematic assessment of the design reliability of a gearbox design under reference operating conditions is specified in IEC TS 61400-4-1[1].

This document is supported by two Technical Reports: IEC TR 61400-4-2[2] provides additional information on lubrication of wind turbine drivetrains and IEC TR 61400-4-3[3] contains explanatory notes and supportive information to the requirements specified in this document.

---

1 Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/DTS 61400-4-1:2024.

2 Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/DTR 61400-4-2:2024.

3 Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/DTR 61400-4-3:2024.

## 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 61400-1:2019, *Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements*

IEC 61400-3-1, *Wind energy generation systems – Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines*

IEC TS 61400-3-2, *Wind energy generation systems – Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines*

IEC 61400-8, *Wind energy generation systems – Part 8: Design of wind turbine structural components*

IEC TS 61400-30, *Wind energy generation systems − Part 30: Safety of wind turbine generators − General principles for design*

ISO 281, *Rolling bearings – Dynamic load ratings and rating life*

ISO 683 (all parts), *Heat-treatable steels, alloy steels and free-cutting steels*

ISO 683-17, *Heat-treatable steels, alloy steels and free-cutting steels − Part 17: Ball and roller bearing steels*

ISO 898-1, *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes – Coarse thread and fine pitch thread*

ISO 898-2, *Fasteners − Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel − Part 2: Nuts with specified property classes*

ISO 898-3, *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 3: Flat washers with specified property classes*

ISO 1328-1, *Cylindrical gears − ISO system of flank tolerance classification − Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to flanks of gear teeth*

ISO 3104, *Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity*

ISO 4042, *Fasteners – Electroplated coating systems*

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

ISO 6336 (all parts), *Calculation of load capacity of spur and helical gears*

ISO 6336-1:2019, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 1: Basic principles, introduction and general influence factors*

ISO 6336-2:2019, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 2: Calculation of surface durability (pitting)*

ISO 6336-3:2019, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 3: Calculation of tooth bending strength*

ISO TS 6336-4, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 4: Calculation of tooth flank fracture load capacity*

ISO 6336-5:2016, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 5: Strength and quality of materials*

ISO 6336-6:2019, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 6: Calculation of service life under variable load*

ISO TS 6336-20, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 20: Calculation of scuffing load capacity – Flash temperature method*

ISO TS 6336-21, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 21: Calculation of scuffing load capacity – Integral temperature method*

ISO TS 6336-22, *Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 22: Calculation of micropitting load capacity*

ISO 6618, *Petroleum products and lubricants – Determination of acid or base number – Colour-indicator titration method*

ISO 6619, *Petroleum products and lubricants – Neutralization number – Potentiometric titration method*

ISO 7146-1, *Plain bearings – Appearance and characterization of damage to metallic hydrodynamic bearings – Part 1: General*

ISO 8579-1, *Acceptance code for gear units – Part 1: Test code for airborne sound*

ISO TR 10064-3, *Code of inspection practice – Part 3: Recommendations relative to gear blanks, shaft centre distance and parallelism of axes*

ISO 10683, *Fasteners – Non-electrolytically applied zinc flake coating systems*

ISO 10825-1, *Gears – Wear and damage to gear teeth – Part 1: Nomenclature and characteristics*

ISO 12925-1, *Lubricants, industrial oils and related products (class L). Family C (gears) – Part 1: Specifications for lubricants for enclosed gear systems*

ISO 14104, *Gears – Surface temper etch inspection after grinding, chemical method*

ISO 14635-1:2023, *Gears – FZG test procedures – Part 1: FZG test method A/8,3/90 for relative scuffing load-carrying capacity of oils*

ISO 15243:2017, *Rolling bearings – Damage and failures – Terms, characteristics and causes*

ISO 16281:2025, *Rolling bearings – Methods for calculating the modified reference rating life for universally loaded bearings*

ISO 17956:2025, *Rolling bearings – Method for calculating the effective static safety factor for universally loaded rolling bearings*

ISO 21920-1, *Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile – Part 1: Indication of surface texture*

ISO 21920-2, *Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters*

ISO 21920-3, *Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile – Part 3: Specification operators*

ANSI/AGMA 6001, *Design and selection of components for enclosed gear drives*

ANSI/AGMA 6123, *Design manual for enclosed epicyclic gear drives*

ASTM D445, *Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (and calculation of dynamic viscosity)*

ASTM D664, *Standard test method for acid number of petroleum products by potentiometric titration*

ASTM D974, *Standard test method for acid and base number by color-indicator titration*

ASTM D5185, *Standard test method for multielement determination of used and unused lubricating oils and base oils by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES)*

ASTM D6304, *Standard test method for determination of water in petroleum products, lubricating oils, and additives by coulometric Karl Fischer titration*

DIN 471, *Circlips (retaining rings) for shafts: Normal type and heavy type*

DIN 472, *Circlips (retaining rings) for bores: Normal type and heavy type*

DIN 743 (all parts), *Calculation of load capacity of shafts and axles*

DIN 3990-16, *Calculation of load capacity of cylindrical gears – Part 16: Determination of the micro-pitting load-carrying capacity of lubricants using FZG test method GT-C/8.3/90*

DIN 6885-1, *Drive type fastenings without taper action; Parallel keys, keyways, deep pattern*

DIN 6892, *Mitnehmerverbindungen ohne Anzug – Passfedern – Berechnung und Gestaltung* (available in German only)

DIN 7190, *Interference fits – Calculation and design rules*

DIN 51399-1, *Testing of lubricants – Determination of elements content in additives, wear and other contaminations – Part 1: Direct determination by optical emission spectral analysis with inductively coupled plasma (ICP OES)*

DIN 51777, *Petroleum products – Determination of water content using titration according to Karl Fischer*

DIN 51819-3, *Testing of lubricants – Mechanical-dynamic testing in the roller bearing test apparatus FE8 – Part 3: Test method for lubricating oils – Applied test bearing: axial cylindrical roller bearing*

FVA 563 I, *FVA Guideline: Recommendations for the standardization of load carrying capacity test on hardened and tempered cylindrical gears,* Research Association for Drive Technology (FVA). Frankfurt, 2012

VDI 2230-1:2015, *Systematic calculation of highly stressed bolted joints – Joints with one cylindrical bolt*

VDI 2230-2:2014, *Systematic calculation of highly stressed bolted joints – Multi bolted joints*

VDI/VDE 2862-2, *Minimum requirements for application of fastening systems and tools – Applications in plant construction, mechanical engineering, equipment manufacturing and for flange connections in components under pressure boundary*

# SOMMAIRE

AVANT-PROPOS ..... 100
INTRODUCTION ..... 102
1 Domaine d'application ..... 103
2 Références normatives ..... 104
3 Termes, définitions, abréviations, unités et conventions ..... 107
3.1 Termes et définitions ..... 107
3.2 Symboles, abréviations et unités ..... 110
3.3 Conventions ..... 113
3.3.1 Désignations des arbres – exemples d'une architecture type de boîte de vitesses d'éolienne ..... 113
4 Processus de conception ..... 115
4.1 Généralités ..... 115
4.2 Type de boîte de vitesses ..... 115
4.3 Durée de vie théorique, durée de vie en service et fiabilité ..... 116
4.4 Classe de composants et conséquence d'une défaillance ..... 117
4.5 Processus de conception ..... 117
5 Interfaces et charges des boîtes de vitesses ..... 121
5.1 Généralités ..... 121
5.2 Interfaces ..... 121
5.3 Charges ..... 121
5.4 Dynamique de train d'entraînement ..... 122
5.4.1 Généralités ..... 122
5.4.2 Exigences relatives au modèle ..... 122
5.4.3 Analyses exigées ..... 123
5.4.4 Évaluation de l'excitabilité ..... 124
5.4.5 Vérification du comportement dynamique dans l'environnement du système ..... 125
6 Exigences en matière de conception et d'évaluation ..... 125
6.1 Engrenages ..... 125
6.1.1 Considérations de fiabilité ..... 125
6.1.2 Calcul de la capacité de charge des engrenages ..... 126
6.1.3 Facteurs de charge ..... 130
6.1.4 Matériaux ..... 132
6.1.5 Exactitude ..... 133
6.1.6 Fabrication ..... 133
6.2 Paliers à roulement ..... 134
6.2.1 Considérations de fiabilité ..... 134
6.2.2 Sélection des paliers ..... 137
6.2.3 Matériaux ..... 139
6.2.4 Exigences en matière d'interface ..... 139
6.2.5 Considérations de conception ..... 140
6.2.6 Lubrification des paliers ..... 142
6.2.7 Calculs d'évaluation ..... 144
6.3 Paliers lisses ..... 147
6.3.1 Considérations de fiabilité ..... 147
6.3.2 Cas de charge de conception et risques associés ..... 147
6.3.3 Exigences en matière d'interface ..... 149

6.3.4 Assemblages de l’arbre et du carter ..... 150
6.3.5 Régime de lubrification hydrodynamique ..... 150
6.3.6 Analyse du régime de lubrifiant ..... 151
6.3.7 Exigences relatives aux paliers ..... 151
6.4 Arbres, clavettes, joints de carter, cannelures et fixations ..... 153
6.4.1 Arbres ..... 153
6.4.2 Raccordements arbre-moyeu ..... 153
6.4.3 Joints d’étanchéité des arbres ..... 154
6.4.4 Fermetures ..... 154
6.4.5 Assemblages boulonnés ..... 155
6.4.6 Circlips ..... 156
6.5 Éléments structurels ..... 157
6.5.1 Généralités ..... 157
6.5.2 Interfaces, conditions aux limites et charges ..... 157
6.6 Lubrification ..... 157
6.6.1 Généralités ..... 157
6.6.2 Caractéristiques de performance des lubrifiants ..... 157
6.6.3 Viscosité du lubrifiant ..... 158
6.6.4 Méthode de lubrification et de refroidissement ..... 158
6.6.5 Quantité de lubrifiant dans le système de lubrification ..... 159
6.6.6 Températures de fonctionnement ..... 159
6.6.7 Régulation en température ..... 159
6.6.8 Surveillance de l’état du lubrifiant ..... 160
6.6.9 Filtration du lubrifiant ..... 161
6.6.10 Ports ..... 161
6.6.11 Indicateur de niveau de lubrifiant ..... 162
6.6.12 Bouchons magnétiques ..... 162
6.6.13 Orifice de reniflard ..... 162
6.6.14 Capteur de flux ..... 162
7 Vérification de la conception et validation de la conception ..... 163
7.1 Généralités ..... 163
7.2 Plan de vérification et de validation de la conception ..... 163
7.3 Catégorisation des modes de défaillance ..... 163
7.4 Méthodes de vérification ..... 164
7.4.1 Généralités ..... 164
7.4.2 Méthodes d’essai ..... 164
7.4.3 Similitude ..... 167
7.4.4 Simulation ..... 167
7.5 Matrice de vérification et de validation ..... 167
8 Fabrication et assurance qualité ..... 172
8.1 Généralités ..... 172
8.2 Plan qualité ..... 172
8.2.1 Généralités ..... 172
8.2.2 Inspection de l’état de surface des engrenages après rectification ..... 172
8.2.3 Inspection de la rugosité de surface ..... 172
8.3 Processus critiques ..... 172
8.4 Contrôle statistique des processus ..... 173
8.5 Recette en usine ..... 173
8.5.1 Objectifs des essais ..... 173

8.5.2 Plan d'essai de réception ..... 173
8.5.3 Séquences d'essais en usine ..... 173
8.5.4 Mesurages de réception ..... 174
8.6 Composants non conformes ..... 175
8.6.1 Généralités ..... 175
8.6.2 Entailles de rectification ..... 175
9 Conception pour l'entretien et l'exploitation ..... 175
9.1 Généralités ..... 175
9.2 Exigences de conception relatives à l'entretien et à l'exploitation ..... 175
9.3 Exigences de documentation relatives à l'entretien et à l'exploitation ..... 176
9.4 Sécurité ..... 177
Annexe A (informative) Exemples de spécifications d'interfaces de train d'entraînement et de charges ..... 178
A.1 Généralités ..... 178
A.2 Architectures courantes de train d'entraînement d'éolienne ..... 178
A.2.1 Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 4 points ..... 178
A.2.2 Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 3 points ..... 179
A.2.3 Train d'entraînement intégré ..... 180
A.2.4 Interfaces ..... 183
A.2.5 Repère orthogonal ..... 183
A.2.6 Description des interfaces ..... 184
A.2.7 Données d'ingénierie sur l'interface ..... 185
A.3 Descriptions des charges de l'éolienne ..... 186
A.3.1 Formats de description des charges ..... 186
A.3.2 Matrices rainflow ..... 186
A.3.3 Distribution de tours de charge ..... 187
A.3.4 Descriptions des charges extrêmes ..... 188
A.4 Puissance et vitesse de référence de l'éolienne ..... 189
A.4.1 Généralités ..... 189
A.4.2 Théorie de la commande de la puissance des éoliennes ..... 189
A.4.3 Aspects pratiques de la commande de puissance ..... 190
Annexe B (informative) Vérification et validation du modèle de boîte de vitesses dynamique ..... 193
B.1 Généralités ..... 193
B.2 Vérification des modèles de dynamique de train d'entraînement ..... 193
B.3 Validation des modèles de dynamique de train d'entraînement ..... 194
Bibliographie ..... 196

Figure 1 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à axe parallèle à trois étages ..... 113
Figure 2 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à trois étages avec un étage planétaire ..... 114
Figure 3 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à trois étages avec deux étages planétaires ..... 114
Figure 4 – Désignation des arbres dans les boîtes de vitesses à quatre étages avec trois étages planétaires ..... 115
Figure 5 – Diagramme du processus de conception ..... 119
Figure 6 – Définition de l'épaisseur de jante des satellites ..... 128
Figure 7 – Exemples de critères de sélection de paliers ..... 138

Figure 8 – Conditions de fonctionnement théoriques et régions de risque associées aux paliers lisses ..... 149
Figure A.1 – Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 4 points ..... 179
Figure A.2 – Train d'entraînement non intégré avec une suspension à 3 points ..... 179
Figure A.3 – Intégration côté rotor avec raccordement rigide de l'arbre principal ..... 180
Figure A.4 – Intégration côté rotor avec raccordement flexible de l'arbre principal ..... 181
Figure A.5 – Intégration côté génératrice avec support du rotor dans la génératrice ..... 181
Figure A.6 – Intégration côté génératrice avec support du rotor dans la boîte de vitesses et la génératrice ..... 182
Figure A.7 – Intégration côté génératrice avec support du rotor dans la boîte de vitesses ..... 182
Figure A.8 – Exemple de cycles rainflow par cas de charge de conception ..... 187
Figure A.9 – Exemple de distribution de rotation de charge ..... 188
Figure A.10 – Régions de commande de la puissance des éoliennes ..... 189
Figure A.11 – Stratégie de commande théorique de la puissance et de la vitesse ..... 190
Figure A.12 – Stratégie de commande comparée à la réponse réelle ..... 191

Tableau 1 – Définition d'un type de boîte de vitesses ..... 116
Tableau 2 – Facteurs de sécurité minimaux pour la résistance à la formation de piqûres et la résistance à la flexion ..... 127
Tableau 3 – Facteur de charge d'engrènement pour les étages planétaires ..... 130
Tableau 4 – Exactitude exigée pour les engrenages ..... 133
Tableau 5 – Différences types de température pour le calcul du jeu en fonctionnement ..... 141
Tableau 6 – Température du lubrifiant de palier pour le calcul du rapport de viscosité ..... 143
Tableau 7 – Valeurs indicatives pour la pression de contact maximale ..... 146
Tableau 8 – Risques associés aux paliers lisses liés aux conditions de fonctionnement ..... 148
Tableau 9 – Facteurs de sécurité minimaux ..... 153
Tableau 10 – Catégorisation des modes de défaillance ..... 164
Tableau 11 – Matrice de vérification et de validation ..... 168
Tableau A.1 – Informations d'analyse aux interfaces dans le cas de trains d'entraînement non intégrés ..... 184
Tableau A.2 – Informations d'analyse aux interfaces dans le cas d'un train d'entraînement intégré ..... 185
Tableau A.3 – Données d'ingénierie et descriptions des charges de conception ..... 185
Tableau A.4 – Exemple de matrice rainflow ..... 186
Tableau A.5 – Exemple de matrice de charges extrêmes ..... 188

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

# SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

## Partie 4: Exigences de conception des boîtes de vitesses des éoliennes

## AVANT-PROPOS

1) L'ISO (Organisation internationale de normalisation) et l'IEC (Commission électrotechnique internationale) forment le système spécialisé de la normalisation mondiale. Les organismes nationaux membres de l'ISO ou de l'IEC participent au développement de Normes internationales par l'intermédiaire des comités techniques créés par l'organisation concernée afin de s'occuper des domaines particuliers de l'activité technique. Les comités techniques de l'ISO et de l'IEC collaborent dans des domaines d'intérêt commun. D'autres organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO et l'IEC, participent également aux travaux.
2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC et l'ISO 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 et de l'ISO intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les documents de l'IEC et de l'ISO se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréés comme telles par les Comités nationaux de l'IEC et de l'ISO. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC et l'ISO s'assurent de l'exactitude du contenu technique de leurs documents; l'IEC et l'ISO ne peuvent pas être tenues responsables 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 et de l'ISO s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les documents de l'IEC et de l'ISO dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre tous documents de l'IEC et de l'ISO et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) L'IEC et l'ISO eux-mêmes ne fournissent 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 et de l'ISO. L'IEC et l'ISO ne sont responsables 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 ce document.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC et à l'ISO, à leurs administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris leurs experts particuliers et les membres de leurs comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC et de l'ISO, 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 ce document de l'IEC/ l'ISO ou de toute autre document de l'IEC et de l'ISO, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans ce document. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte du présent document.
9) L'ISO et l'IEC attirent l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO et l'IEC ne prennent pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO et l'IEC n'avaient pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse https://patents.iec.ch et www.iso.org/patents. L'ISO et l'IEC ne sauraient être tenues pour responsables de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 61400-4 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne, en coopération avec le comité technique 60 de l'ISO: Engrenages. Il s'agit d'une Norme internationale.

Elle est publiée comme norme double logo.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2012. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

a) l'extension du domaine d'application aux éoliennes dont la puissance de référence est supérieure à 2 MW;

b) des considérations pour la convergence de différentes approches en matière de fiabilité dans les normes relatives aux engrenages, paliers et éoliennes;

c) un nouvel article concernant les charges des éoliennes, spécifiques aux trains d'entraînement;

d) un article révisé concernant la vérification et la validation;

e) un nouvel article concernant les exigences de conception des paliers lisses;

f) des considérations de conception révisées et étendues pour les paliers à roulement;

g) un article révisé concernant les considérations et les exigences en matière de conception et d'analyse des éléments structurels d'une boîte de vitesses;

h) des considérations et exigences mises à jour concernant les lubrifiants et les systèmes de lubrification;

i) la suppression des exigences relatives à la documentation de la conformité d'une conception aux exigences du document au profit d'une référence à la norme IECRE OD-501-2.

La présente version bilingue (2025-08) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2025-04.

La version française de cet amendement n'a pas été soumise au vote.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61400, publiées sous le titre général: *Systèmes de génération d'énergie éolienne*, peut être consultée sur le site Web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site Web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

# INTRODUCTION

L'IEC 61400-4 présente les exigences minimales pour la spécification, la conception et la vérification des boîtes de vitesses dans les éoliennes. Elle ne sert pas de spécification de conception complète ni de manuel d'instructions. Elle s'adresse aux concepteurs expérimentés de trains d'entraînement, de boîtes de vitesses et d'engrenages ou de paliers capables de sélectionner des valeurs raisonnables pour les paramètres de conception, à partir de leur connaissance de conceptions similaires et des effets d'éléments tels que la lubrification, la déviation, les tolérances de fabrication, la métallurgie, la contrainte résiduelle et la dynamique du système.

Toute exigence du présent document peut être modifiée:

- lorsque des données plus exactes sont disponibles du fait d'essais de charge en grandeur réelle, de mesurages précis, d'une analyse mathématique complète ou de toute combinaison de ces éléments;
- sur la base d'une expérience opérationnelle éprouvée;
- lorsque les preuves sont accessibles pour une évaluation indépendante (par exemple, par un organisme accrédité de certification des énergies renouvelables);
- et lorsque l'exactitude et la fiabilité de la méthode alternative sont démontrées en ce qui concerne la sécurité et la fiabilité de l'ensemble du système d'entraînement de l'éolienne.

# SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

# Partie 4: Exigences de conception des boîtes de vitesses des éoliennes

## 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 s'applique aux boîtes de vitesses sous carter pour trains d'entraînement d'éolienne à axe horizontal dont la puissance nominale dépasse 500 kW. Le présent document s'applique aux boîtes de vitesses de conception nouvelle pour les éoliennes installées sur terre et en mer. Les exigences techniques indiquées dans le présent document ne sont pas destinées aux boîtes de vitesses réparées ou remises à neuf ni à la prolongation de la durée de vie en service au-delà de la durée de vie théorique.

Le présent document fournit des exigences et des recommandations sur l'analyse des charges d'éolienne en tenant compte de la conception des éléments d'engrenage et de boîte de vitesses. Les éléments d'engrènement couverts par le présent document comprennent les engrenages à dentures droite, hélicoïdale simple ou double et leurs combinaisons dans des configurations parallèles et épicycloïdales dans le trajet de puissance principal. Le présent document ne s'applique pas aux engrenages de prise de force (PTO - power take-off).

Le présent document comprend les exigences, les recommandations de conception et l'étalonnage des boîtes de vitesses équipées de paliers à roulement, de paliers lisses ou d'une combinaison de ces deux types de paliers.

Le présent document inclut également des exigences et des recommandations concernant l'ingénierie des arbres, les interfaces de moyeux d'arbres, la lubrification, l'interface avec le limiteur d'éolienne et la structure du carter des engrenages, afin d'obtenir une conception capable de résister à l'environnement et aux conditions de fonctionnement d'une éolienne. Les exigences relatives à l'analyse dynamique de la boîte de vitesses au sein du système d'éolienne sont spécifiées dans le but d'identifier les niveaux de charge qui dépassent les prévisions de la simulation aéroélastique globale. L'analyse de la transmission et de l'émission du bruit (par exemple, l'émission tonale aux fréquences d'engrènement des engrenages) ne relève pas du domaine d'application de la présente édition du document.

En outre, le présent document fournit des exigences et des recommandations concernant la vérification de la conception des boîtes de vitesses, les essais de prototypes et les essais de production, ainsi que sur la prise en considération de la conception pour l'entretien et la maintenance.

Une méthode d'évaluation systématique de la fiabilité de la conception d'une boîte de vitesses dans des conditions de fonctionnement de référence est spécifiée dans l'IEC TS 61400-4-1[1].

Le présent document est étayé par deux rapports techniques: L'IEC TR 61400-4-2[2] fournit des informations supplémentaires sur la lubrification des trains d'entraînement des éoliennes et l'IEC TR 61400-4-3[3] contient des notes explicatives, ainsi que des informations complémentaires aux exigences spécifiées dans le présent document.

---

1 En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC/DTS 61400-4-1:2024.

2 En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC/DTR 61400-4-2:2024.

3 En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC/DTR 61400-4-3:2024.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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 61400-1:2019, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 1: Exigences de conception*

IEC 61400-3-1, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 3-1: Exigences de conception des éoliennes fixes en pleine mer*

IEC TS 61400-3-2, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 3-2: Exigences de conception des éoliennes en mer flottantes*

IEC 61400-8, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 8: Conception des composants structurels des éoliennes*

IEC TS 61400-30, *Wind energy generation systems – Part 30: Safety of wind turbine generator systems – General principles for design* (disponible en anglais seulement)

ISO 281, *Roulements – Charges dynamiques de base et durée nominale*

ISO 683 (toutes les parties), *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage*

ISO 683-17, *Aciers pour traitement thermique, aciers alliés et aciers pour décolletage – Partie 17: Aciers pour roulements*

ISO 898-1, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié – Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées – Filetages à pas gros et filetages à pas fin*

ISO 898-2, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié – Partie 2: Écrous de classes de qualité spécifiées*

ISO 898-3, *Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié – Partie 3: Rondelles de forme plane de classes de qualité spécifiées*

ISO 1328-1, *Engrenages cylindriques – Système ISO de classification des tolérances sur flancs – Partie 1: Définitions et valeurs admissibles des écarts pour les flancs de la denture*

ISO 3104, *Produits pétroliers – Liquides opaques et transparents – Détermination de la viscosité cinématique et calcul de la viscosité dynamique*

ISO 4042, *Fixations – Systèmes de revêtements électrolytiques*

ISO 4406, *Transmissions hydrauliques – Fluides – Méthode de codification du niveau de pollution particulaire solide*

ISO 6336 (toutes les parties), *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale*

ISO 6336-1:2019, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 1: Principes de base, introduction et facteurs généraux d'influence*

ISO 6336-2:2019, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 2: Calcul de la tenue en fatigue à la pression de contact (écaillage)*

ISO 6336-3:2019, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 3: Calcul de la tenue en fatigue à la flexion en pied de dent*

ISO/TS 6336-4, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 4: Calcul de la capacité de charge de la rupture en flanc de dent (disponible en anglais seulement)*

ISO 6336-5:2016, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 5: Résistance et qualité des matériaux*

ISO 6336-6:2019, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 6: Calcul de la durée de vie en service sous charge variable*

ISO/TS 6336-20, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 20: Calcul de la capacité de charge au grippage – Méthode de la température-éclair*

ISO/TS 6336-21, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 21: Calcul de la capacité de charge au grippage – Méthode de la température intégrale*

ISO/TS 6336-22, *Calcul de la capacité de charge des engrenages cylindriques à dentures droite et hélicoïdale – Partie 22: Calcul de la capacité de charge aux micropiqûres*

ISO 6618, *Produits pétroliers et lubrifiants – Détermination de l'indice d'acide ou de l'indice de base – Méthode par titrage en présence d'un indicateur coloré*

ISO 6619, *Produits pétroliers et lubrifiants – Indice de neutralisation – Méthode par titrage potentiométrique*

ISO 7146-1, *Paliers lisses – Aspect et caractérisation de l'endommagement des paliers métalliques à couche lubrifiante fluide – Partie 1: Généralités* (disponible en anglais seulement)

ISO 8579-1, *Code de réception des engrenages sous carter – Partie 1: Code d'essai pour la détermination du bruit aérien*

ISO/TR 10064-3, *Engrenages cylindriques – Code pratique de réception – Partie 3: Recommandations relatives au corps de roues, à l'entraxe et au parallélisme des axes*

ISO 10683, *Fixations – Systèmes de revêtements non électrolytiques de zinc lamellaire*

ISO 10825-1, *Engrenages – Usure et défauts des dentures – Partie 1: Nomenclature et caractéristiques*

ISO 12925-1, *Lubrifiants, huiles industrielles et produits connexes (classe L) – Famille C (engrenages) – Partie 1:Spécifications des lubrifiants pour systèmes d'engrenages sous carter*

ISO 14104, *Engrenages – Contrôle par attaque chimique des zones surchauffées lors de la rectification*

ISO 14635-1:2023, *Engrenages – Méthodes d'essai FZG – Partie 1: Méthode FZG A/8,3/90 pour évaluer la capacité de charge au grippage des huiles* (disponible en anglais seulement)

ISO 15243:2017, *Roulements – Détérioration et défaillance – Termes, caractéristiques et causes*

ISO 16281:2025, *Roulements – Méthodes de calcul de la durée nominale de référence corrigée pour les roulements chargés universellement*

ISO 17956:2025, *Roulements – Méthode de calcul du facteur de sécurité statique efficace pour les roulements chargés universellement*

ISO 21920-1, *Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface: Méthode du profil – Partie 1: Indication des états de surface*

ISO 21920-2, *Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface: Méthode du profil – Partie 2: Termes, définitions et paramètres d'état de surface*

ISO 21920-3, *Spécification géométrique des produits (GPS) – État de surface: Méthode du profil – Partie 3: Opérateurs de spécification*

ANSI/AGMA 6001, *Design and selection of components for enclosed gear drives*

ANSI/AGMA 6123, *Design manual for enclosed epicyclic gear drives*

ASTM D445, *Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (and calculation of dynamic viscosity)*

ASTM D664, *Standard test method for acid number of petroleum products by potentiometric titration*

ASTM D974, *Standard test method for acid and base number by color-indicator titration*

ASTM D5185, *Standard test method for multielement determination of used and unused lubricating oils and base oils by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES)*

ASTM D6304, *Standard test method for determination of water in petroleum products, lubricating oils, and additives by coulometric Karl Fischer titration*

DIN 471, *Anneaux d'arrêt pour arbres: Type standard et type robuste* (disponible en anglais seulement)

DIN 472, *Anneaux d'arrêt pour alésages: Type standard et type robuste* (disponible en anglais seulement)

DIN 743 (toutes les parties), *Calcul de la capacité des arbres et axes* (disponible en anglais seulement)

DIN 3990-16, *Calculs de résistance à l'écrasement des pignons – Partie 16: Détermination de la capacité de résistance des lubrifiants aux taches grises par la méthode d'essai FZG GT-C/8.3/90* (disponible en anglais seulement)

DIN 6885-1, *Drive type fastenings without taper action; Parallel keys, keyways, deep pattern* (disponible en anglais seulement)

DIN 6892, *Mitnehmerverbindungen ohne Anzug – Passfedern – Berechnung und Gestaltung* (disponible en allemand seulement)

DIN 7190, *Assemblages frettés – Bases de calculs et règles de construction* (disponible en anglais seulement)

DIN 51399-1, *Essai des huiles lubrifiantes – Détermination de teneur des éléments d'additifs, d'usure et d'autres impuretés – Partie 1: Détermination directe par spectrométrie d'émission optique avec plasma (ICP OES)* (disponible en allemand seulement)

DIN 51777, *Produits pétroliers – Détermination de la teneur en eau par méthode de titrage Karl Fischer* (disponible en allemand seulement)

DIN 51819-3, *Essai des lubrifiants – Essai mécanique dynamique au banc d'essai à roulement FE8 – Partie 3: Méthode d'essai pour les huiles lubrifiantes – Roulements utilisants: munis d'une butée à rouleaux cylindriques* (disponible en allemand seulement)

FVA 563 I, *FVA Guideline: Recommendations for the standardization of load carrying capacity test on hardened and tempered cylindrical gears,* Research Association for Drive Technology (FVA). Francfort, 2012

VDI 2230-1:2015, *Systematic calculation of highly stressed bolted joints – Joints with one cylindrical bolt* (disponible en anglais seulement)

VDI 2230-2:2014, *Systematic calculation of highly stressed bolted joints – Multi bolted joints* (disponible en anglais seulement)

VDI/VDE 2862-2, *Minimum requirements for application of fastening systems and tools – Applications in plant construction, mechanical engineering, equipment manufacturing and for flange connections in components under pressure boundary* (disponible en anglais seulement)