

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wind energy generation systems –
Part 27-2: Electrical simulation models – Model validation**

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 27-2: Modèles de simulation électrique – Validation des modèles**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-5003-7

**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.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions, abbreviations and subscripts.....	11
3.1 Terms and definitions.....	11
3.2 Abbreviations and subscripts	15
3.2.1 Abbreviations.....	15
3.2.2 Subscripts	15
4 Symbols and units	15
4.1 General.....	15
4.2 Symbols (units).....	16
5 Functional specifications and requirements to validation procedures	18
5.1 General.....	18
5.2 General specifications.....	18
5.3 Wind turbine model validation	20
5.4 Wind power plant model validation.....	20
6 General methodologies for model validation	20
6.1 General.....	20
6.2 Test results	20
6.3 Simulations	21
6.4 Signal processing	21
6.4.1 General	21
6.4.2 Time series processing.....	21
6.4.3 Windows error statistics.....	23
6.4.4 FRT windows specification	24
6.4.5 Step response characteristics.....	25
7 Validation of wind turbine models	27
7.1 General.....	27
7.2 Fault ride through capability.....	27
7.2.1 General	27
7.2.2 Test requirements.....	28
7.2.3 Simulation requirements	29
7.2.4 Validation results	29
7.3 Active power control	29
7.3.1 General	29
7.3.2 Test requirements.....	29
7.3.3 Simulation requirements	30
7.3.4 Validation results	30
7.4 Frequency control.....	30
7.4.1 General	30
7.4.2 Test requirements.....	30
7.4.3 Simulation requirements	31
7.4.4 Validation results	31
7.5 Synthetic inertia control	31
7.5.1 General	31

7.5.2	Test requirements.....	31
7.5.3	Simulation requirements	32
7.5.4	Validation results	32
7.6	Reactive power reference control.....	32
7.6.1	General	32
7.6.2	Test requirements.....	32
7.6.3	Simulation requirements	33
7.6.4	Validation results	33
7.7	Reactive power – voltage reference control.....	33
7.7.1	General	33
7.7.2	Test requirements.....	33
7.7.3	Simulation requirements	33
7.7.4	Validation results	34
7.8	Grid protection	34
7.8.1	General	34
7.8.2	Test requirements.....	34
7.8.3	Simulation requirements	34
7.8.4	Validation results	35
8	Validation of wind power plant models	35
8.1	General.....	35
8.2	Active power control	35
8.2.1	General	35
8.2.2	Test requirements.....	36
8.2.3	Simulation requirements	36
8.2.4	Validation results	36
8.3	Reactive power reference control.....	36
8.3.1	General	36
8.3.2	Test requirements.....	37
8.3.3	Simulation requirements	37
8.3.4	Validation results	37
8.4	Reactive power – voltage reference control.....	37
8.4.1	General	37
8.4.2	Test requirements.....	38
8.4.3	Simulation requirements	38
8.4.4	Validation results	38
Annex A (informative)	Validation documentation for wind turbine model.....	39
A.1	General.....	39
A.2	Simulation model and validation setup information	39
A.3	Template for validation results	39
A.3.1	General	39
A.3.2	Fault ride through capability.....	40
A.3.3	Active power control	42
A.3.4	Frequency control.....	42
A.3.5	Synthetic inertia control	43
A.3.6	Reactive power reference control	43
A.3.7	Reactive power – voltage reference control	44
A.3.8	Grid protection.....	45
Annex B (informative)	Validation documentation for wind power plant model.....	46
B.1	General.....	46

B.2	Simulation model and validation setup information	46
B.3	Template for validation results	46
B.3.1	General	46
B.3.2	Active power control	47
B.3.3	Reactive power reference control	47
B.3.4	Reactive power – voltage reference control	48
Annex C (informative)	Reference grid for model-to-model validation	49
Annex D (informative)	Model validation uncertainty	50
D.1	General.....	50
D.2	Simulation uncertainties	50
D.3	Measurement uncertainties	50
D.4	Impact of model validation uncertainties	51
Annex E (normative)	Digital 2 nd order critically damped low pass filter	52
Annex F (informative)	Additional performance based model validation methodology for active power recovery in voltage dips.....	53
F.1	General.....	53
F.2	Active power recovery criterion	53
F.3	Active power oscillation criterion	53
Annex G (informative)	Generic software interface for use of models in different software environments	55
G.1	Description of the approach	55
G.2	Description of the software interface	56
G.2.1	Description of data structures	56
G.2.2	Functions for communication through the ESE-interface	58
G.2.3	Inputs, outputs, parameters	59
Bibliography	60
Figure 1 – Classification of power system stability according to IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions [1].....		8
Figure 2 – Signal processing structure with play-back simulation approach applied		22
Figure 3 – Signal processing structure with full-system simulation approach applied.....		22
Figure 4 – Voltage dip windows [12].....		24
Figure 5 – Step response characteristics		26
Figure 6 – Measured and simulated settling time with inexpedient choice of tolerance band		27
Figure A.1 – Time series of measured and simulated positive sequence voltage		40
Figure A.2 – Time series of measured and simulated positive sequence active current		40
Figure A.3 – Time series of measured and simulated positive sequence reactive current		40
Figure A.4 – Time series of calculated absolute error of positive sequence active and reactive current.....		40
Figure A.5 – Time series of measured and simulated negative sequence voltage.....		41
Figure A.6 – Time series of measured and simulated negative sequence active current.....		41
Figure A.7 – Time series of measured and simulated negative sequence reactive current.....		41
Figure A.8 – Time series of calculated absolute error of negative sequence active and reactive current.....		41

Figure A.9 – Time series of active power reference, available active power, measured active power and simulated active power	42
Figure A.10 – Time series of frequency reference value and measured input to WT controller	43
Figure A.11 – Time series of available active power, measured active power and simulated active power	43
Figure A.12 – Time series of frequency reference value and measured input to WT controller	43
Figure A.13 – Time series of available active power, measured active power and simulated active power	43
Figure A.14 – Time series of reactive power reference, measured reactive power and simulated reactive power	44
Figure A.15 – Time series of measured active power and simulated active power	44
Figure A.16 – Time series of measured and simulated reactive power	44
Figure B.1 – Time series of active power reference, available active power, measured active power and simulated active power	47
Figure B.2 – Time series of reactive power reference, measured reactive power and simulated reactive power	47
Figure B.3 – Time series of measured active power and simulated active power	47
Figure B.4 – Time series of measured and simulated reactive power	48
Figure C.1 – Layout of reference grid	49
Figure F.1 – Voltage dip active power performance validation parameters	54
Figure G.1 – Sequence of simulation on use of ESE-interface	59
Table 1 – Windows applied for error calculations	25
Table A.1 – Required information about simulation model and validation setup	39
Table A.2 – Additional information required if full-system method is applied	39
Table A.3 – Positive sequence validation summary for each voltage dip and voltage swell validation case	41
Table A.4 – Negative sequence validation summary for each voltage dip and voltage swell validation case	42
Table A.5 – Validation summary for active power control	42
Table A.6 – Validation summary for reactive power control	44
Table A.7 – Validation summary for grid protection	45
Table B.1 – Required information about simulation model and validation setup	46
Table B.2 – Additional information required if full-system method is applied	46
Table B.3 – Validation summary for active power control	47
Table B.4 – Validation summary for reactive power control	47
Table C.1 – Line data for the WECC test system in per-unit	49
Table C.2 – Transformer data for the WECC test system	49

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –**Part 27-2: Electrical simulation models –
Model validation**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users shall 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 61400-27-2 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems.

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

FDIS	Report on voting
88/763/FDIS	88/772/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 publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 61400, published under the general title *Wind energy generation systems*, can be found on the IEC website.

Future standards in this series will carry the new general title as cited above. Titles of existing standards in this series will be updated at the time of the next edition.

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

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

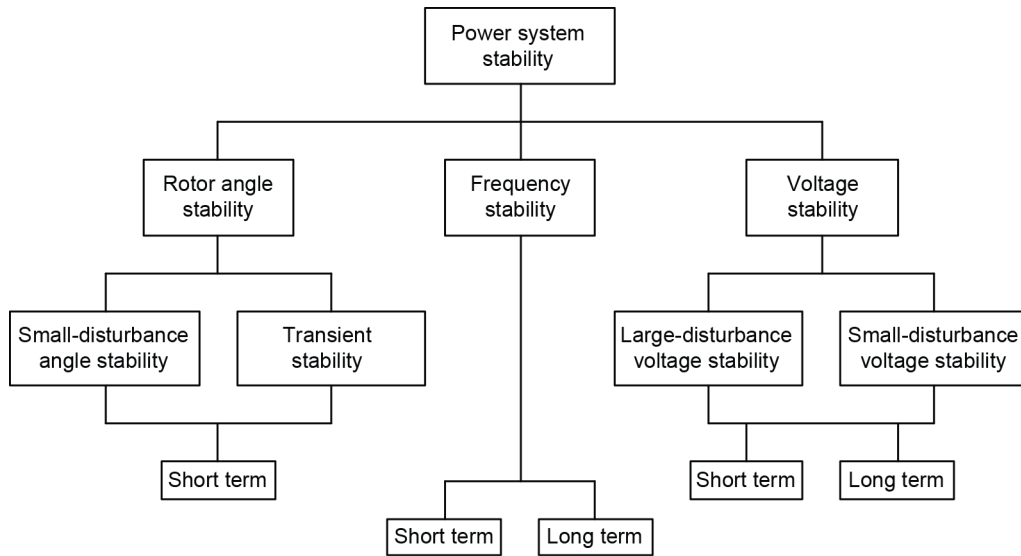
IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

IEC 61400-27-2 specifies model validation procedures for electrical simulation models of wind turbines and wind power plants.

The increasing penetration of wind energy in power systems implies that Transmission System Operators (TSOs) and Distribution System Operators (DSOs) need to use dynamic models of wind power generation for power system stability studies.

The purpose of this International Standard is to specify validation procedures for dynamic models, which can be applied in power system stability studies. The IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions [1]¹ has classified power system stability in categories according to Figure 1.



IEC

Figure 1 – Classification of power system stability according to IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions [1]

Referring to these categories, the models to be validated have been developed to represent wind power generation in studies of large-disturbance short term stability phenomena, i.e. short term voltage stability, short term frequency stability and short term transient stability studies referring to the definitions of IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions in Figure 1. Thus, the models are applicable for dynamic simulations of power system events such as short-circuits (low voltage ride through), loss of generation or loads, and system separation of one synchronous area into more synchronous areas.

The validation procedure specified in this document assesses the accuracy of the fundamental frequency response of wind power plant models and wind turbine models. This includes validation of the generic positive sequence models specified in IEC 61400-27-1 and validation of positive sequence as well as negative sequence response of more detailed models developed by the wind turbine manufacturers.

¹ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

The validation procedure has the following limitations:

- The validation procedure does not specify any requirements to model accuracy. It only specifies measures to quantify the accuracy of the model^{2,3}.
- The validation procedure does not specify test and measurement procedures, as it is intended to be based on tests specified in IEC 61400-21-1 and IEC 61400-21-24.
- The validation procedure is not intended to justify compliance to any grid code requirement, power quality requirements or national legislation.
- The validation procedure does not include validation of steady state capabilities e.g. of reactive power, but focuses on validation of the dynamic performance of the models.
- The validation procedure does not cover long term stability analysis.
- The validation procedure does not cover sub-synchronous interaction phenomena.
- The validation procedure does not cover investigation of the fluctuations originating from wind speed variability in time and space.
- The validation procedure does not cover phenomena such as harmonics, flicker or any other EMC emissions included in the IEC 61000 series.
- The validation procedure does not cover eigenvalue calculations for small signal stability analysis.
- This validation procedure does not address the specifics of short-circuit calculations.
- The validation procedure is limited by the functional specifications in Clause 5.

The following stakeholders are potential users of the validation procedures specified in this document:

- TSOs and DSOs need procedures to validate the accuracy of the models which they use in power system stability studies;
- wind plant owners are typically responsible to provide validation of their wind power plant models to TSO and/or DSO prior to plant commissioning;
- wind turbine manufacturers will typically provide validation of the wind turbine models to the owner.
- developers of modern software for power system simulation tools may use the standard to implement validation procedures as part of the software library;
- certification bodies in case of independent model validation;
- education and research communities, who can also benefit from standard model validation procedures.

² Specification of requirements to model accuracy is the responsibility of TSOs e.g. in grid codes. The scope of IEC 61400-27-2 is to provide a standard for how to measure accuracy and this way remove indefiniteness.

³ Clause 7 specifies a large number of measures for model accuracy. The importance of the individual measure depends on the type of grid and type of stability study. Annex D describes limits to the possible accuracy of the models.

⁴ Under consideration.

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 27-2: Electrical simulation models – Model validation

1 Scope

This part of IEC 61400 specifies procedures for validation of electrical simulation models for wind turbines and wind power plants, intended to be used in power system and grid stability analyses. The validation procedures are based on the tests specified in IEC 61400-21 (all parts). The validation procedures are applicable to the generic models specified in IEC 61400-27-1 and to other fundamental frequency wind power plant models and wind turbine models.

The validation procedures for wind turbine models focus on fault ride through capability and control performance. The fault ride through capability includes response to balanced and unbalanced voltage dips as well as voltage swells. The control performance includes active power control, frequency control, synthetic inertia control and reactive power control. The validation procedures for wind turbine models refer to the tests specified in IEC 61400-21-1. The validation procedures for wind turbine models refer to the wind turbine terminals.

The validation procedures for wind power plant models is not specified in detail because IEC 61400-21-2 which has the scope to specify tests of wind power plants is at an early stage. The validation procedures for wind power plant models refer to the point of connection of the wind power plant.

The validation procedures specified in IEC 61400-27-2 are based on comparisons between measurements and simulations, but they are independent of the choice of software simulation tool.

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 60050-415:1999, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 415: Wind turbine generator systems* (available at www.electropedia.org)

IEC 61400-21-1:2019, *Wind energy generation systems – Part 21-1: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind turbines*

IEC 61400-27-1, *Wind energy generation systems – Part 27-1: Electrical simulation models – Generic models*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	66
INTRODUCTION.....	68
1 Domaine d'application	70
2 Références normatives	70
3 Termes, définitions, abréviations et indices	71
3.1 Termes et définitions	71
3.2 Abréviations et indices	75
3.2.1 Abréviations	75
3.2.2 Indices.....	75
4 Symboles et unités	76
4.1 Généralités	76
4.2 Symboles (unités).....	76
5 Spécifications et exigences fonctionnelles liées aux procédures de validation	78
5.1 Généralités	78
5.2 Spécifications générales	78
5.3 Validation des modèles d'éoliennes	80
5.4 Validation des modèles de centrales éoliennes	80
6 Méthodes générales de validation des modèles	80
6.1 Généralités	80
6.2 Résultats d'essai	81
6.3 Simulations	81
6.4 Traitement des signaux.....	82
6.4.1 Généralités	82
6.4.2 Traitement des séries temporelles	82
6.4.3 Statistiques des erreurs dans les fenêtres	84
6.4.4 Spécification des fenêtres FRT	84
6.4.5 Caractéristiques d'une réponse indicielle.....	86
7 Validation des modèles d'éoliennes	87
7.1 Généralités	87
7.2 Capacité d'alimentation continue par défaut.....	88
7.2.1 Généralités.....	88
7.2.2 Exigences d'essai	88
7.2.3 Exigences de simulation	89
7.2.4 Résultats de validation	89
7.3 Commande de puissance active.....	90
7.3.1 Généralités.....	90
7.3.2 Exigences d'essai	90
7.3.3 Exigences de simulation	90
7.3.4 Résultats de validation	90
7.4 Commande de fréquence	91
7.4.1 Généralités.....	91
7.4.2 Exigences d'essai	91
7.4.3 Exigences de simulation	91
7.4.4 Résultats de validation	91
7.5 Commande d'inertie synthétique	92
7.5.1 Généralités	92

7.5.2	Exigences d'essai	92
7.5.3	Exigences de simulation	92
7.5.4	Résultats de validation	92
7.6	Commande de référence de puissance réactive	93
7.6.1	Généralités	93
7.6.2	Exigences d'essai	93
7.6.3	Exigences de simulation	93
7.6.4	Résultats de validation	93
7.7	Puissance réactive – commande de référence de tension	94
7.7.1	Généralités	94
7.7.2	Exigences d'essai	94
7.7.3	Exigences de simulation	94
7.7.4	Résultats de validation	94
7.8	Protection du réseau	95
7.8.1	Généralités	95
7.8.2	Exigences d'essai	95
7.8.3	Exigences de simulation	95
7.8.4	Résultats de validation	96
8	Validation des modèles de centrales éoliennes	96
8.1	Généralités	96
8.2	Commande de puissance active	96
8.2.1	Généralités	96
8.2.2	Exigences d'essai	97
8.2.3	Exigences de simulation	97
8.2.4	Résultats de validation	97
8.3	Commande de référence de puissance réactive	97
8.3.1	Généralités	97
8.3.2	Exigences d'essai	98
8.3.3	Exigences de simulation	98
8.3.4	Résultats de validation	98
8.4	Puissance réactive – commande de référence de tension	99
8.4.1	Généralités	99
8.4.2	Exigences d'essai	99
8.4.3	Exigences de simulation	99
8.4.4	Résultats de validation	99
Annexe A (informative)	Documentation de la validation du modèle d'éolienne	100
A.1	Généralités	100
A.2	Informations relatives au modèle de simulation et au montage de validation	100
A.3	Modèle de résultats de validation	101
A.3.1	Généralités	101
A.3.2	Capacité d'alimentation continue par défaut	101
A.3.3	Commande de puissance active	103
A.3.4	Commande de fréquence	103
A.3.5	Commande d'inertie synthétique	104
A.3.6	Commande de référence de puissance réactive	104
A.3.7	Puissance réactive – commande de référence de tension	105
A.3.8	Protection du réseau	105
Annexe B (informative)	Documentation de la validation du modèle de centrale éolienne	106

B.1	Généralités	106
B.2	Informations relatives au modèle de simulation et au montage de validation	106
B.3	Modèle de résultats de validation	106
B.3.1	Généralités	106
B.3.2	Commande de puissance active	107
B.3.3	Commande de référence de puissance réactive	107
B.3.4	Puissance réactive – commande de référence de tension	108
Annexe C (informative)	Réseau de référence pour la validation entre modèles	109
Annexe D (informative)	Incertitude de validation des modèles	110
D.1	Généralités	110
D.2	Incertitudes de simulation	110
D.3	Incertitudes de mesure	110
D.4	Influence des incertitudes de validation des modèles	111
Annexe E (normative)	Filtre passe-bas numérique amorti du 2 ^e ordre	112
Annexe F (informative)	Méthode supplémentaire de validation de modèles axée sur les performances pour le rétablissement de la puissance active dans les creux de tension	113
F.1	Généralités	113
F.2	Critère de rétablissement de la puissance active	113
F.3	Critère d'oscillation de la puissance active	113
Annexe G (informative)	Interface logicielle générique pour l'utilisation de modèles dans différents environnements logiciels	115
G.1	Description de l'approche	115
G.2	Description de l'interface logicielle	116
G.2.1	Description des structures de données	116
G.2.2	Fonctions de communication par l'intermédiaire de l'interface ESE	118
G.2.3	Entrées, sorties, paramètres	119
Bibliographie		120
Figure 1	– Classification de la stabilité des réseaux d'énergie électrique selon le Joint Task Force IEEE/CIGRE on Stability Terms and Definitions [1]	68
Figure 2	– Structure de traitement des signaux avec l'approche de simulation de lecture	82
Figure 3	– Structure de traitement des signaux avec l'approche de simulation de l'ensemble du système	83
Figure 4	– Fenêtres de creux de tension [12]	85
Figure 5	– Caractéristiques d'une réponse indicielle	86
Figure 6	– Temps de stabilisation mesuré et simulé avec un choix inadapté de la plage de tolérance	87
Figure A.1	– Série temporelle de la tension directe mesurée et simulée	101
Figure A.2	– Série temporelle du courant actif direct mesuré et simulé	101
Figure A.3	– Série temporelle du courant réactif direct mesuré et simulé	101
Figure A.4	– Série temporelle de l'erreur absolue calculée du courant actif et réactif direct	101
Figure A.5	– Série temporelle de la tension inverse mesurée et simulée	102
Figure A.6	– Série temporelle du courant actif inverse mesuré et simulé	102
Figure A.7	– Série temporelle du courant réactif inverse mesuré et simulé	102

Figure A.8 – Série temporelle de l'erreur absolue calculée du courant actif et réactif inverse.....	102
Figure A.9 – Série temporelle de la référence de puissance active, de la puissance active disponible et de la puissance active mesurée et simulée	103
Figure A.10 – Série temporelle de la valeur de référence de fréquence et de l'entrée mesurée du système de commande de l'éolienne	103
Figure A.11 – Série temporelle de la puissance active disponible et de la puissance active mesurée et simulée	104
Figure A.12 – Série temporelle de la valeur de référence de fréquence et de l'entrée mesurée du système de commande de l'éolienne	104
Figure A.13 – Série temporelle de la puissance active disponible et de la puissance active mesurée et simulée	104
Figure A.14 – Série temporelle de la référence de puissance réactive et de la puissance réactive mesurée et simulée.....	104
Figure A.15 – Série temporelle de la puissance active mesurée et de la puissance active simulée.....	104
Figure A.16 – Série temporelle de la puissance réactive mesurée et simulée.....	105
Figure B.1 – Série temporelle de la référence de puissance active, de la puissance active disponible et de la puissance active mesurée et simulée	107
Figure B.2 – Série temporelle de la référence de puissance réactive et de la puissance réactive mesurée et simulée	107
Figure B.3 – Série temporelle de la puissance active mesurée et de la puissance active simulée.....	107
Figure B.4 – Série temporelle de la puissance réactive mesurée et simulée.....	108
Figure C.1 – Configuration du réseau de référence	109
Figure F.1 – Paramètres de validation des performances de puissance active en creux de tension.....	114
Figure G.1 – Séquence de simulation sur l'utilisation de l'interface ESE	119
Tableau 1 – Fenêtres appliquées pour les calculs d'erreur.....	85
Tableau A.1 – Informations exigées pour le modèle de simulation et le montage de validation	100
Tableau A.2 – Informations supplémentaires exigées si la méthode de simulation de l'ensemble du système est appliquée	100
Tableau A.3 – Synthèse de validation directe pour chaque cas de validation de creux de tension et de hausse de tension.....	102
Tableau A.4 – Synthèse de validation inverse pour chaque cas de validation de creux de tension et de hausse de tension.....	103
Tableau A.5 – Synthèse de validation de la commande de puissance active	103
Tableau A.6 – Synthèse de validation de la commande de puissance réactive	105
Tableau A.7 – Synthèse de validation de la protection du réseau.....	105
Tableau B.1 – Informations exigées pour le modèle de simulation et le montage de validation	106
Tableau B.2 – Informations supplémentaires exigées si la méthode de simulation de l'ensemble du système est appliquée	106
Tableau B.3 – Synthèse de validation de la commande de puissance active	107
Tableau B.4 – Synthèse de validation de la commande de puissance réactive	107
Tableau C.1 – Données de ligne par unité pour le système d'essai WECC.....	109
Tableau C.2 – Données de transformateur pour le système d'essai WECC	109

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 27-2: Modèles de simulation électrique – Validation des modèles

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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 61400-27-2 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne.

La présente version bilingue (2021-08) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2020-07.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

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

Les futures normes de cette série porteront dorénavant le nouveau titre général cité ci-dessus. Les titres des normes existantes de cette série feront l'objet d'une mise à jour lors de la prochaine édition.

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

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

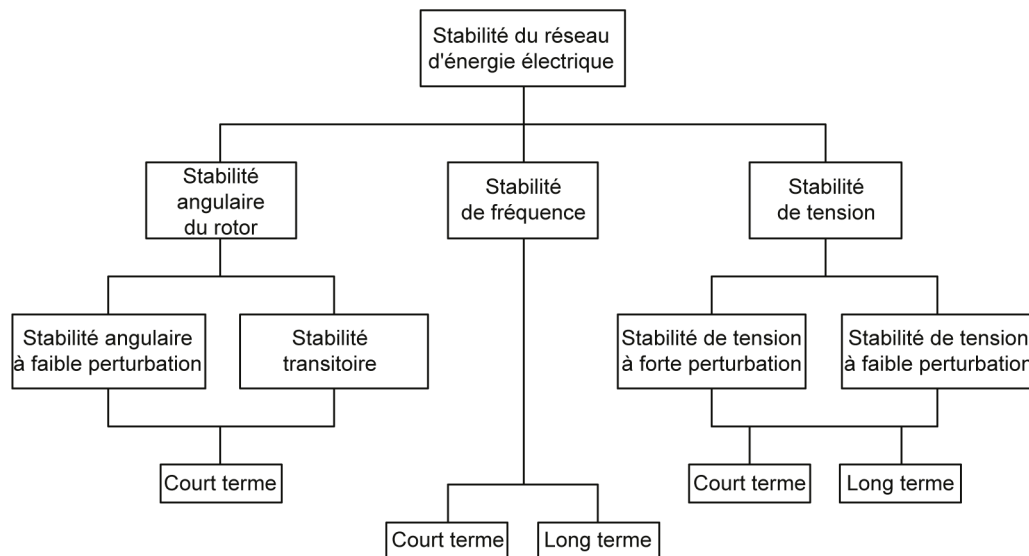
IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante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

INTRODUCTION

L'IEC 61400-27-2 spécifie des procédures de validation des modèles de simulation électrique des éoliennes et des centrales éoliennes.

Face à la percée croissante de l'énergie éolienne dans les réseaux d'énergie électrique, il est nécessaire que les gestionnaires de réseau de transport (TSO – *transmission system operators*) et les gestionnaires de réseau de distribution (DSO – *distribution system operators*) utilisent des modèles dynamiques de production d'énergie éolienne dans le cadre d'études de stabilité du réseau d'énergie électrique.

La présente Norme internationale a pour objet de spécifier des procédures de validation de modèles dynamiques, qui peuvent être appliquées dans les études de stabilité des réseaux d'énergie électrique. Le Joint Task Force IEEE/CIGRE on Stability Terms and Definitions [1]¹ (groupe de travail commun IEEE/CIGRE sur les termes et définitions de stabilité) a classé la stabilité des réseaux d'énergie électrique en catégories selon la Figure 1.



IEC

Figure 1 – Classification de la stabilité des réseaux d'énergie électrique selon le Joint Task Force IEEE/CIGRE on Stability Terms and Definitions [1]

En s'appuyant sur ces catégories, les modèles à valider ont été développés de manière à représenter la production d'énergie éolienne dans les études des phénomènes de stabilité à court terme et forte perturbation, c'est-à-dire les études relatives à la stabilité de tension et de fréquence, ainsi qu'à la stabilité transitoire à court terme, faisant référence aux définitions du Joint Task Force IEEE/CIGRE on Stability Terms and Definitions à la Figure 1. Ainsi, les modèles sont applicables à des simulations dynamiques d'événements des réseaux d'énergie électrique, tels que des courts-circuits (alimentation continue à basse tension), la perte de production ou des charges, et la séparation du réseau d'une zone synchrone en plusieurs zones synchrones.

La procédure de validation spécifiée dans le présent document évalue l'exactitude de la réponse à fréquence fondamentale des modèles de centrales éoliennes et d'éoliennes. Cette procédure inclut la validation des modèles génériques de séquence positive spécifiés dans l'IEC 61400-27-1 ainsi que la validation de la réponse de séquence positive et de séquence négative de modèles plus détaillés développés par les fabricants d'éoliennes.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

La procédure de validation présente les limites suivantes:

- La procédure de validation ne spécifie aucune exigence concernant l'exactitude du modèle. Elle ne spécifie que les mesures de quantification de l'exactitude du modèle^{2,3}.
- La procédure de validation ne précise pas les procédures d'essai et de mesure, celles-ci étant destinées à reposer sur les essais spécifiés dans l'IEC 61400-21 et l'IEC 61400-21-2⁴.
- La procédure de validation n'est pas destinée à justifier la conformité aux exigences des codes de réseaux, aux exigences de qualité de l'alimentation électrique ou à la législation nationale.
- La procédure de validation ne comprend pas la validation des capacités en régime établi (par exemple, la puissance réactive) mais se concentre sur la validation des performances dynamiques des modèles.
- La procédure de validation ne couvre pas l'analyse de stabilité à long terme,
- les phénomènes d'interaction sous-synchrone et l'étude des
- fluctuations dues à la variabilité de la vitesse du vent dans le temps et l'espace.
- Elle ne couvre pas non plus les phénomènes tels que les harmoniques, le papillotement ou les autres émissions CEM éventuelles incluses dans la série IEC 61000 ni les calculs de valeurs propres pour l'analyse de stabilité des signaux faibles.
- La procédure de validation ne couvre pas les calculs de valeur propre pour l'analyse de stabilité des signaux faibles.
- Cette procédure de validation ne traite pas des spécificités des calculs de courts-circuits.
- La procédure de validation est limitée par les spécifications fonctionnelles définies à l'Article 5.

Les parties prenantes suivantes sont des utilisateurs potentiels des procédures de validation spécifiées dans le présent document:

- il est nécessaire que les gestionnaires de réseaux de transport (TSO) et les gestionnaires de réseaux de distribution (DSO) disposent de procédures leur permettant de valider l'exactitude des modèles qu'ils utilisent dans les études de stabilité d'un réseau d'énergie;
- les propriétaires de centrale éolienne sont en général responsables de la validation de leurs modèles de centrales éoliennes destinés aux TSO et/ou aux DSO avant la mise en service de la centrale.
- les fabricants d'éoliennes valident en général les modèles d'éoliennes destinés au propriétaire;
- les développeurs de logiciels modernes destinés aux outils de simulation de réseau d'énergie électrique peuvent utiliser la norme pour mettre en œuvre des procédures de validation dans le cadre d'une bibliothèque de logiciels;
- les organismes de certification en cas de validation de modèles indépendants;
- les communautés de l'enseignement et de la recherche, qui peuvent également bénéficier de procédures de validation de modèles normalisés.

² La spécification d'exigences de modélisation de l'exactitude relève de la responsabilité des gestionnaires de réseaux de transport (TSO), par exemple, dans les codes de réseaux. Le domaine d'application de l'IEC 61400-27-2 consiste à fournir une norme dédiée à la procédure de mesure de l'exactitude et ainsi de suppression de tout caractère indéterminé

³ L'Article 7 spécifie un grand nombre de mesures pour l'exactitude du modèle. L'importance de la mesure individuelle dépend du type de réseau et du type d'étude de stabilité. L'Annexe D décrit les limites d'exactitude possible des modèles.

⁴ À l'étude.

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 27-2: Modèles de simulation électrique – Validation des modèles

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 spécifie des procédures de validation des modèles de simulation électrique pour les éoliennes et les centrales éoliennes, destinées à être utilisées dans des analyses de stabilité du réseau d'énergie électrique et du réseau de distribution. Les procédures de validation reposent sur les essais spécifiés dans l'IEC 61400-21 (toutes les parties). Les procédures de validation sont applicables aux modèles génériques spécifiés dans l'IEC 61400-27-1 et aux autres modèles de centrales éoliennes et d'éoliennes à fréquence fondamentale.

Les procédures de validation des modèles d'éoliennes se concentrent sur la capacité d'alimentation continue par défaut et les performances de commande. La capacité d'alimentation continue par défaut comprend la réponse aux creux de tension équilibrés et déséquilibrés, ainsi qu'aux hausses de tension. Les performances de commande comprennent la commande de puissance active, la commande de fréquence, la commande d'inertie synthétique et la commande de puissance réactive. Les procédures de validation applicables aux modèles d'éoliennes se rapportent aux essais spécifiés dans l'IEC 61400-21-1. Les procédures de validation applicables aux modèles d'éoliennes se rapportent aux bornes de l'éolienne.

Les procédures de validation applicables aux modèles de centrales éoliennes ne sont pas détaillées du fait du stade précoce de l'IEC 61400-21-2 dont le domaine d'application consiste à définir des essais destinés aux centrales éoliennes. Les procédures de validation applicables aux modèles de centrales éoliennes se rapportent au point de connexion de la centrale éolienne.

Les procédures de validation spécifiées dans l'IEC 61400-27-2 reposent sur des comparaisons entre les mesurages et les simulations. Elles ne dépendent toutefois pas du choix de l'outil de simulation logicielle.

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 60050-415:1999, *Vocabulaire électrotechnique international (IEV) – Partie 415: Aérogénérateurs* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 61400-21-1:2019, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 21-1: Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Éoliennes*

IEC 61400-27-1, *Wind energy generation systems – Part 27-1: Electrical simulation models – Generic models* (disponible en anglais seulement)