

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Wind energy generation systems –
Part 21-2: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind
power plants**

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 21-2: Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Centrales
éoliennes**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-6648-9

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

CONTENTS

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	13
2 Normative references	14
3 Terms and definitions	15
4 Symbols and abbreviated terms.....	25
4.1 Symbols.....	25
4.2 Abbreviated terms.....	27
5 Power plant specifications	27
6 Overall test and documentation requirements	29
6.1 General.....	29
6.2 Test conditions, monitoring and reporting requirements	31
6.3 Test conditions in the case of external influences	33
6.4 Test and measurement equipment	33
6.4.1 General	33
6.4.2 Voltage, current and power calculations	33
6.4.3 Measurement equipment	33
6.4.4 Existing measurement equipment for power control tests.....	34
6.4.5 Optional measurements.....	34
6.5 Functional and performance test.....	34
6.6 Power plant controller	35
6.6.1 General	35
6.6.2 Definition and requirements	35
6.6.3 Measurement points	36
6.6.4 Measurement data	37
6.6.5 Test setup	37
6.6.6 Documentation	38
7 Measurement and test of electrical characteristics.....	39
7.1 General.....	39
7.2 Power quality aspects	39
7.2.1 General	39
7.2.2 Flicker during continuous operation	39
7.2.3 Rapid voltage changes due to switching operations	40
7.2.4 Harmonics	41
7.3 Steady state operation	43
7.3.1 General	43
7.3.2 Unbalance	43
7.4 Dynamic performance	44
7.4.1 Undervoltage and overvoltage ride-through (UVRT and OVRT) capability	44
7.4.2 Test setup and test conditions	44
7.4.3 Test and measurement procedure	44
7.4.4 Documentation	46
7.5 Disconnection from grid	47
7.5.1 Grid protection.....	47
7.5.2 Requirements of test devices.....	48

7.5.3	Grid protection test – PP level	48
7.5.4	Grid protection test – PGU level	49
7.5.5	RoCoF	49
8	Control performance	49
8.1	General.....	49
8.2	Performance test	49
8.2.1	General	49
8.2.2	Active power control tests.....	50
8.2.3	Controlled shutdown	52
8.2.4	Synthetic inertia response	54
8.2.5	Reactive power control	57
8.2.6	Reactive power capability	60
8.3	Functionality tests.....	63
8.3.1	General	63
8.3.2	Active power ramp rate limitation test	63
8.3.3	Priority of setpoints.....	65
8.3.4	Frequency control.....	67
8.3.5	Reactive power ramp rate limitation	72
8.3.6	Voltage control $Q(U)$ -characteristic	76
8.3.7	Power factor control.....	78
8.3.8	Communication error/fallback scenarios	81
9	Assessment of power quality of power plants (PP).....	84
9.1	General.....	84
9.2	Voltage fluctuations	84
9.2.1	Voltage change.....	84
9.2.2	Flicker in continuous operation	85
9.2.3	Voltage change and flicker during switching operations	86
9.3	Current harmonics, interharmonics and higher frequency components	87
Annex A (informative)	Report template.....	89
A.1	Overview.....	89
A.2	Power plant specification and test conditions	89
A.3	Power plant controller	90
A.4	Power quality aspects	91
A.5	Steady state operation	120
A.6	Dynamic performance	121
A.7	Disconnection from grid (grid protection).....	122
A.8	Performance test	122
A.8.1	General	122
A.8.2	Static error test.....	122
A.8.3	Dynamic response test	123
A.8.4	Controlled shutdown	123
A.8.5	Synthetic inertia response	124
A.8.6	Reactive power control	126
A.8.7	Reactive power capability	127
A.9	Functionality tests.....	128
A.9.1	Active power ramp rate limitation test	128
A.9.2	Priority of setpoints.....	129
A.9.3	Frequency control.....	130
A.9.4	Reactive power ramp rate limitation	131

A.9.5	Voltage control $Q(U)$ -characteristic	132
A.9.6	Power factor control.....	133
A.9.7	Communication error / fallback scenarios	135
Annex B (informative)	Harmonic evaluation.....	137
B.1	Harmonic estimation at the point of interest	137
B.2	Background harmonic distortion	137
B.3	Harmonic summation	138
B.4	Harmonic propagation studies.....	138
B.5	PP harmonic contribution evaluation	139
B.5.1	General	139
B.5.2	Incremental PP harmonic contribution based on simulations	139
B.5.3	PP electromagnetic compatibility analysis based on simulations	139
B.5.4	Harmonic measurements at the POC	140
Annex C (informative)	Validation procedure for PP	141
Annex D (informative)	Measurement accuracy	143
Bibliography	146
Figure 1	– Example of step response	19
Figure 2	– Example of a PP setup	29
Figure 3	– General structure of a PPC for reactive power control within a power plant	35
Figure 4	– General structure of a PPC for active power control within a power plant	36
Figure 5	– Illustration of the PPC as a black box with in- and outputs	36
Figure 6	– Illustration of the PPC with the internal system data	37
Figure 7	– Illustration of a complete test setup	38
Figure 8	– Example of time series for the active and reactive current measured (M) and simulated (S) active and reactive current [1].....	47
Figure 9	– Adjustment of active power reference value	51
Figure 10	– Example of active power response step	51
Figure 11	– Example of controlled shutdown	54
Figure 12	– Synthetic inertia – example response and definitions	56
Figure 13	– Test for static error.....	59
Figure 14	– Example of test of dynamic response	59
Figure 15	– Example of test of reactive power capability QP -chart	62
Figure 16	– Example of reactive power capability UP -chart corresponding to the QP -chart	62
Figure 17	– Example of available active power and active power in ramp rate limitation mode	64
Figure 18	– Example of active power setpoint prioritization test	66
Figure 19	– PPC measured frequency feedback is replaced by a simulated frequency	69
Figure 20	– Example of an active power control function $P = f(f)$, with the different measurement points and related steps of frequency	70
Figure 21	– Example of reactive power ramp rate limitation test.....	75
Figure 22	– Example of the $Q(U)$ characteristic with a 4 % slope.....	76
Figure 23	– Example of possible PP communication faults.....	81
Figure 24	– Example of graph for communication error test.....	83
Figure A.1 – Figure 25	– Voltage flicker P_{St} versus active power for normal operation	91

Figure A.2 – Voltage flicker P_{st} for background level 92

Figure A.3 – Time series of three-phase voltages as RMS of PP starting 92

Figure A.4 – Time series of three-phase currents as RMS of PP starting..... 92

Figure A.5 – Time series of active and reactive power of PP starting 92

Figure A.6 – Time series of three-phase voltages as RMS of PP stopping..... 93

Figure A.7 – Time series of three-phase currents as RMS of PP stopping 93

Figure A.8 – Time series of active and reactive power of PP stopping..... 93

Figure A.9 – Maximum of the 99th percentiles of integer harmonic currents versus harmonic order 117

Figure A.10 – Maximum of the 99th percentiles of interharmonic currents versus frequency..... 117

Figure A.11 – Maximum of the 99th percentiles of higher frequency current components versus frequency..... 117

Figure A.12 – Maximum of the 95th percentiles of integer harmonic currents versus harmonic order 117

Figure A.13 – Maximum of the 95th percentiles of interharmonic currents versus frequency..... 118

Figure A.14 – Maximum of the 95th percentiles of higher frequency current components versus frequency..... 118

Figure A.15 – Maximum of the 99th percentiles of integer harmonic voltages versus harmonic order 118

Figure A.16 – Maximum of the 99th percentiles of interharmonic voltages versus frequency..... 118

Figure A.17 – Maximum of the 99th percentiles of higher frequency voltage components versus frequency..... 119

Figure A.18 – Maximum of the 95th percentiles of integer harmonic voltages versus harmonic order 119

Figure A.19 – Maximum of the 95th percentiles of interharmonic voltages versus frequency..... 119

Figure A.20 – Maximum of the 95th percentiles of higher frequency voltage components versus frequency..... 119

Figure A.21 – Current unbalance factor as a function of active power 120

Figure A.22 – Voltage unbalance factor as a function of active power 120

Figure A.23 – Time series: Instantaneous three-phase currents and voltages at the POC 121

Figure A.24 – Time series: Positive and negative sequence of the active and reactive current..... 121

Figure A.25 – Time series: Positive and negative sequence of the active and reactive power 121

Figure A.26 – Time series: Positive and negative sequence grid voltage at the POC 122

Figure A.27 – Time series of available active power, measured active power output and reference values 122

Figure A.28 – Time series of available active power, measured active power output and reference values 123

Figure A.29 – Time series of available active power, measured active power output and reference values 123

Figure A.30 – Time-series of available active power, measured active power and reference value of the grid frequency for (test 1 and test 2) $0,25 \times P_n < P < 0,5 \times P_n$	124
Figure A.31 – Time-series of available active power, measured active power and reference value of the grid frequency for (test 3 and test 4) $P > 0,8 \times P_n$	124
Figure A.32 – Time-series of available active power, measured active power and reference value of the grid frequency for (test 5 and test 6) $v > v_n$	124
Figure A.33 – Time-series of reactive power reference values and measured reactive power and grid voltage during the test of reactive power control	126
Figure A.34 – Time-series of reactive power reference values and measured reactive power, grid voltage during the test of reactive power control	126
Figure A.35 – Zoom of step response (for all three-step responses) in the time-series of reactive power reference values and measured reactive power, grid voltage during the test of reactive power control	127
Figure A.36 – Test of reactive power capability <i>QP</i> -chart	127
Figure A.37 – Reactive power capability <i>UP</i> -chart corresponding to the <i>QP</i> -chart.....	128
Figure A.38 – Time-series of available active power and active power in ramp rate limitation mode – Slow ramp rate	128
Figure A.39 – Time-series of available active power and active power in ramp rate limitation mode – Fast ramp rate	129
Figure A.40 – Time-series of active power setpoints, available power and active power.....	129
Figure A.41 – Time-series of active power setpoints, available power and active power.....	130
Figure A.42 – Time-series of simulated frequency	130
Figure A.43 – Time series of reactive power setpoint, reactive power	131
Figure A.44 – Time series of voltage – Reactive power, expected reactive power for a given slope	132
Figure A.45 – Time series of active power, reactive power, power factor and power factor reference	133
Figure A.46 – Time-series of active power setpoint, active power and available power and failure time point (case 1 to case 3)	135
Figure A.47 – Graph for communication error test (example)	136
Figure B.1 – Simplified representation for the PP connected to the external grid used for the estimation of incremental harmonic contribution at POC or any other point of interest	139
Figure B.2 – Simplified representation of the PP for harmonic propagation studies including the harmonic background and PGU's non-ideal harmonic voltage source	140
Table 1 – Overview of measurements and their requirements	30
Table 2 – Description and general requirements of the HIL test functional	38
Table 3 – List of recorded signals	45
Table 4 – List of electrical signals to be monitored for the evaluation of events.....	45
Table 5 – Maximum measurement uncertainties for the grid simulator.....	48
Table 6 – List of signals during test.....	50
Table 7 – Accuracy of the active power control values	52
Table 8 – Results from the active power dynamic response test.....	52
Table 9 – Example of list of signals during test	53
Table 10 – Results of the emergency shutdown test.....	54
Table 11 – List of signals during test.....	55

Table 12 – Synthetic inertia settings 57

Table 13 – Synthetic inertia test results 57

Table 14 – List of signals during test..... 58

Table 15 – Test for static error..... 60

Table 16 – Test for dynamic response 60

Table 17 – List of signals during test..... 61

Table 18 – Example of reactive power capability *QP*-chart 63

Table 19 – List of signals during test..... 63

Table 20 – Active power ramp rate calculation 65

Table 21 – List of signals during test..... 66

Table 22 – Test results priority of setpoints..... 67

Table 23 – List of signals during test..... 68

Table 24 – Example of test sequence for the frequency dependent active power function..... 72

Table 25 – List of signals during test..... 73

Table 26 – Test procedure reactive power ramp rate limitation test..... 74

Table 27 – Reactive power ramp rate calculation 75

Table 28 – List of signals during test..... 77

Table 29 – Voltage control *Q(U)* – slope test..... 78

Table 30 – List of signals during test..... 79

Table 31 – Example of power factor control test..... 80

Table 32 – List of signals during test..... 82

Table 33 – Example of communication error test – Failure on external interface 83

Table 34 – Example of failure of PPC or communication between PPC and PGUs 83

Table 35 – Example of failure of grid data measurement..... 84

Table 36 – Specification of exponents according to IEC TR 61000-3-6..... 88

Table A.1 – General and nominal data 89

Table A.2 – General power plant capabilities and control functions 90

Table A.3 – General test and report information 90

Table A.4 – General test conditions and grid data 90

Table A.5 – General test conditions and test setup 91

Table A.6 – Flicker values..... 91

Table A.7 – Rapid voltage changes due to switching operations 92

Table A.8 – General test information..... 93

Table A.9 – 99th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 94

Table A.10 – 99th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 95

Table A.11 – 99th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 97

Table A.12 – 95th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 98

Table A.13 – 95th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 99

Table A.14 – 95th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 101

Table A.15 – 99th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 102

Table A.16 – 99th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week..... 103

Table A.17 – 99 th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week.....	105
Table A.18 – 95 th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week.....	106
Table A.19 – 95 th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week.....	107
Table A.20 – 95 th percentile of 10 min harmonic magnitudes per week.....	108
Table A.21 – 99 th percentile of 3 s harmonic magnitudes per week	109
Table A.22 – 99 th percentile of 3 s harmonic magnitudes per week	111
Table A.23 – 99 th percentile of 3 s harmonic magnitudes per week	112
Table A.24 – 99 th percentile of 3 s harmonic magnitudes per week	113
Table A.25 – 99 th percentile of 3 s harmonic magnitudes per week	114
Table A.26 – 99 th percentile of 3 s harmonic magnitudes per week	116
Table A.27 – Unbalance.....	120
Table A.28 – General fault information of undervoltage and overvoltage ride-through (UVRT and OVRT) events/record ^a	121
Table A.29 – Accuracy of the active power control values	122
Table A.30 – Accuracy of the active power control values	123
Table A.31 – Results of the emergency shutdown test	123
Table A.32 – Synthetic inertia test results	125
Table A.33 – Test for static error.....	126
Table A.34 – Test for dynamic response	127
Table A.35 – PQ -diagram.....	128
Table A.36 – Active power ramp rate calculation – Slow ramp rate	129
Table A.37 – Active power ramp rate calculation – Fast ramp rate	129
Table A.38 – Test results priority of setpoints	130
Table A.39 – Frequency dependent active power function results	131
Table A.40 – Reactive power ramp rate calculation.....	132
Table A.41 – Voltage control $Q(U)$ – slope test.....	133
Table A.42 – Power factor control test	134
Table A.43 – Communication error test – Failure on external interface (example)	135
Table A.44 – Failure of PPC or communication between PPC and PGUs (example).....	135
Table A.45 – Failure of grid data measurement (example)	135
Table A.46 – Communication error test – Failure on external interface (example)	136
Table A.47 – Failure of PPC or communication between PPC and PGUs (example).....	136
Table A.48 – Failure of grid data measurement (example)	136
Table C.1 – Recommended assessment methods for the validation of the electrical capabilities of the PP	141
Table D.1 – Voltage transducer (VT) in MV, HV and EHV.....	143
Table D.2 – Current transducer (CT) in MV, HV und EHV.....	144

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –**Part 21-2: Measurement and assessment of electrical characteristics –
Wind power plants**

FOREWORD

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

IEC 61400-21-2 has been prepared by technical committee 88: Wind energy generation systems. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
88/933/FDIS	88/943/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

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/standardsdev/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,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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

This part of IEC 61400 defines a uniform method that will ensure the measurement, testing and assessment of the electrical characteristics of grid connected wind power plants. These characteristics include: power quality aspects, control characteristics such as power control, reactive power control, voltage control, frequency control, fault ride-through behaviour, as well as grid protection testing.

The measurements and assessment refer to the point of connection (POC) of the power plant. The procedure describes standardized methods, which will allow the developer as well as system operators (e.g. transmission system operators (TSOs) and distribution system operators (DSOs)) to analyze the fulfilment of the grid connection rules with respect to the above-mentioned characteristics.

This document includes the following aspects:

- definition and specification of the quantities to be determined for characterizing the electrical characteristics of grid connected power plants;
- measurement and test procedures for quantifying the electrical characteristics of a power plant;
- measurement and test procedures of the power plant controller;
- procedures and methods for the estimation of electrical capabilities, using results from each of the wind turbine measurements to assess compliance with electrical connection requirements on power plant level;
- test and measurement procedures that can be used as a reference, for example commissioning tests for existing or newly connected power plants;
- procedures for measurement and fault recording for the validation and verification of wind power plant simulation models as described in IEC 61400-27-1 and IEC 61400-27-2.

These measurement procedures are valid for power plants, including the power plant controller (PPC) and other connected equipment necessary for the operation of the power plant. The measurement procedures are valid for any size of power plant connected to the POC with a single interface.

The results of the measurements and assessment of the power plant's electrical characteristics can be used as input for the verification of the electrical simulation models for wind power plants as described in IEC 61400-27-2.

Any aspects described in this document can be tested and reported individually, and it is not mandatory to perform all of the described tests and measurements.

The validation of control functions on the power plant is a combination of the performance of the individual power generation units (PGUs), any additional plant components, the communication system and the PPC.

The control performance of the power plant can be proved by a combination of performance tests on site and functionality tests carried out on a hardware-in-the-loop (HIL) setup.

The validation tests for the control performance are therefore divided into two parts:

- 1) performance tests
- 2) functionality tests

Functionality tests can be carried out either on a specific test setup (HIL test) or on site.

Performance tests, which are site-dependent, are done at each specific site under the specific site conditions and provide together with the functionality tests the complete control performance of the power plant.

Additional tests and measurements may be carried out and reported on for more detailed assessment of simulation models and compliance with specific grid code requirements.

As the described tests can be used for the validation of other renewable power plants, this document uses the following generic abbreviations:

- PGU: power generation unit as an abbreviated term for a wind turbine
- PP: power plant as the abbreviated term for wind power plant

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 21-2: Measurement and assessment of electrical characteristics – Wind power plants

1 Scope

This part of IEC 61400 defines and specifies the quantities that are determined to characterize the electrical characteristics of grid-connected power plants (PPs).

This document defines the measurement and test procedures for quantifying the electrical characteristics as basis for the verification of compliance of PPs, including:

- power quality aspects,
- steady state operation,
- dynamic response (undervoltage and overvoltage fault ride-through),
- disconnection from grid (grid protection),
- control performance.

This document defines a uniform functionality test and measurement procedure for the power plant controller (PPC), as a basis for the unit test of the power plant controller.

This document defines the procedures for assessing compliance with electrical connection requirements, including the aggregation methods for power quality aspects such as voltage variations, flicker, harmonics and interharmonics.

This document defines the procedures for measurement and fault recording, for example for the verification of power plant electrical simulation models in relation to undervoltage and overvoltage ride-through events.

These measurement procedures are valid for power plants, including the power plant controller and other connected equipment, necessary for the operation of the power plant. The measurement procedures are valid for any size of power plant connected to the point of connection (POC) at one connection point.

The procedures for assessing and verifying the compliance with grid connection requirements are valid for power plants in power systems with fixed frequency and a sufficient short-circuit power.

Out of the scope of this document are:

- evaluation of several power plants, i.e. the control by a cluster management of several power plants (PPs) or evaluation where the power plant is connected to several connection points;
- compliance test and performance requirements, including pass or fail criteria;
- specific component test and validation of the PP equipment (switchgear, cables, transformers, etc.), which are covered by other IEC standards;
- wind power plant model validation, as defined in IEC 61400-27-2;
- load flow calculation methods and load flow study guidelines;
- test and measurement of the communication interface and system of the PP as defined in the IEC 61400-25 series.

NOTE For the purposes of this document, the following terms for system voltage apply, based on IEC 60038:

- low voltage (LV) refers to $100 \text{ V} < U_n \leq 1 \text{ kV}$;
- medium voltage (MV) refers to $1 \text{ kV} < U_n \leq 35 \text{ kV}$;
- high voltage (HV) refers to $35 \text{ kV} < U_n \leq 230 \text{ kV}$;
- extra high voltage (EHV) refers to $U_n > 230 \text{ kV}$.

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 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60255-121:2014, *Measuring relays and protection equipment – Part 121: Functional requirements for distance protection*

IEC 60255-127:2010, *Measuring relays and protection equipment – Part 127: Functional requirements for over/under voltage protection*

IEC 60255-151:2009, *Measuring relays and protection equipment – Part 151: Functional requirements for over/under current protection*

IEC 60255-181:2019, *Measuring relays and protection equipment – Part 181: Functional requirements for frequency protection*

IEC TR 61000-3-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*

IEC 61000-4-15, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications*

IEC 61000-4-30, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods*

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*

IEC 61400-27-2, *Wind energy generation systems – Part 27-2: Electrical simulation models – Model validation*

IEC 61869-2, *Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers*

IEC 61869-3, *Instrument transformers – Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers*

IEC/IEEE 61850-9-3, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	156
INTRODUCTION.....	158
1 Domaine d'application	160
2 Références normatives	161
3 Termes et définitions	162
4 Symboles et abréviations.....	173
4.1 Symboles.....	173
4.2 Abréviations.....	175
5 Spécifications relatives à la centrale électrique.....	176
6 Exigences générales relatives aux essais et à la documentation	177
6.1 Généralités	177
6.2 Exigences générales relatives aux conditions d'essai, à la surveillance et à l'établissement de rapports	180
6.3 Conditions d'essai en cas d'influences externes.....	181
6.4 Matériel d'essai et de mesure	181
6.4.1 Généralités.....	181
6.4.2 Calculs de tension, de courant et de puissance	182
6.4.3 Matériel de mesure	182
6.4.4 Matériel de mesure existant pour les essais de contrôle de puissance.....	182
6.4.5 Mesures facultatives.....	182
6.5 Essai fonctionnel et de performance	183
6.6 Contrôleur de centrale électrique	183
6.6.1 Généralités.....	183
6.6.2 Définition et exigences	183
6.6.3 Points de mesure.....	185
6.6.4 Données de mesure.....	185
6.6.5 Montage d'essai	186
6.6.6 Documentation	188
7 Mesurage et essai des caractéristiques électriques	188
7.1 Généralités	188
7.2 Aspects liés à la qualité de puissance.....	188
7.2.1 Généralités.....	188
7.2.2 Papillotement en fonctionnement continu.....	188
7.2.3 Variations rapides de tension dues aux opérations de commutation.....	190
7.2.4 Harmoniques	191
7.3 Fonctionnement en régime établi	192
7.3.1 Généralités.....	192
7.3.2 Déséquilibre	192
7.4 Performances dynamiques.....	194
7.4.1 Capacité d'alimentation continue en cas de sous-tension et de surtension (UVRT et OVRT).....	194
7.4.2 Montage d'essai et conditions d'essai	194
7.4.3 Procédure d'essai et de mesure.....	194
7.4.4 Documentation	196
7.5 Déconnexion du réseau	197
7.5.1 Protection du réseau	197
7.5.2 Exigences relatives aux dispositifs d'essai.....	198

7.5.3	Essai de protection du réseau – au niveau de la PP	198
7.5.4	Essai de protection du réseau – au niveau du PGU	199
7.5.5	RoCoF	199
8	Performances de contrôle	199
8.1	Généralités	199
8.2	Essai de performance	200
8.2.1	Généralités	200
8.2.2	Essais de contrôle de puissance active	200
8.2.3	Arrêt contrôlé	203
8.2.4	Réponse à l'inertie synthétique	205
8.2.5	Contrôle de puissance réactive	209
8.2.6	Capacité de puissance réactive	213
8.3	Essais de fonctionnalité	215
8.3.1	Généralités	215
8.3.2	Essai de limitation du taux de variation de la puissance active	215
8.3.3	Priorité des points de consigne	218
8.3.4	Contrôle de fréquence	220
8.3.5	Limitation du taux de variation de la puissance réactive	225
8.3.6	Caractéristique du contrôle de tension $Q(U)$	229
8.3.7	Contrôle du facteur de puissance	231
8.3.8	Erreur de communication/scénarios de repli	234
9	Évaluation de la qualité de puissance des centrales électriques (PP)	237
9.1	Généralités	237
9.2	Fluctuations de tension	238
9.2.1	Variation de tension	238
9.2.2	Papillotement en fonctionnement continu	238
9.2.3	Variation de tension et papillotement lors des opérations de commutation	239
9.3	Harmoniques de courant, interharmoniques et composantes à fréquence plus élevée	240
Annex A (informative)	Modèle de rapport	242
A.1	Vue d'ensemble	242
A.2	Spécification de la centrale électrique et conditions d'essai	242
A.3	Contrôleur de centrale électrique	244
A.4	Aspects liés à la qualité de puissance	244
A.5	Fonctionnement en régime établi	274
A.6	Performances dynamiques	275
A.7	Déconnexion du réseau (protection du réseau)	276
A.8	Essai de performance	276
A.8.1	Généralités	276
A.8.2	Essai d'erreur statique	276
A.8.3	Essai de réponse dynamique	277
A.8.4	Arrêt contrôlé	277
A.8.5	Réponse à l'inertie synthétique	278
A.8.6	Contrôle de puissance réactive	280
A.8.7	Capacité de puissance réactive	281
A.9	Essais de fonctionnalité	282
A.9.1	Essai de limitation du taux de variation de la puissance active	282
A.9.2	Priorité des points de consigne	283

A.9.3	Contrôle de fréquence	284
A.9.4	Limitation du taux de variation de la puissance réactive.....	285
A.9.5	Caractéristique du contrôle de tension $Q(U)$	286
A.9.6	Contrôle du facteur de puissance	287
A.9.7	Erreur de communication/scénarios de repli	288
Annex B (informative)	Évaluation des harmoniques	291
B.1	Estimation des harmoniques au point d'intérêt	291
B.2	Distorsion harmonique de fond.....	291
B.3	Addition des harmoniques.....	292
B.4	Études relatives à la propagation des harmoniques	292
B.5	Évaluation de la contribution harmonique de la PP.....	293
B.5.1	Généralités	293
B.5.2	Contribution harmonique incrémentielle de la PP à partir de simulations.....	293
B.5.3	Analyse de la compatibilité électromagnétique de la PP à partir de simulations	294
B.5.4	Mesurages des harmoniques au POC	294
Annex C (informative)	Procédure de validation de la PP	296
Annex D (informative)	Exactitude de mesure.....	298
Bibliographie.....		301
Figure 1	– Exemple de réponse d'échelon.....	166
Figure 2	– Exemple de configuration d'une PP	177
Figure 3	– Structure générale d'un PPC pour le contrôle de puissance réactive dans une centrale électrique	184
Figure 4	– Structure générale d'un PPC pour le contrôle de puissance active dans une centrale électrique	184
Figure 5	– Représentation du PPC sous forme de boîte noire avec entrées et sorties	185
Figure 6	– Représentation du PPC avec les données du système interne	186
Figure 7	– Représentation d'un montage d'essai complet.....	187
Figure 8	– Exemples de séries temporelles pour les courants actifs et réactifs mesurés (M) et simulés (S) [1]	197
Figure 9	– Réglage de la valeur de référence de la puissance active	201
Figure 10	– Exemple d'échelon de réponse de puissance active	202
Figure 11	– Exemple d'arrêt contrôlé	205
Figure 12	– Inertie synthétique – exemple de réponse et définitions	207
Figure 13	– Essai d'erreur statique	211
Figure 14	– Exemple d'essai de réponse dynamique.....	211
Figure 15	– Exemple de diagramme QP d'essai de capacité de puissance réactive	214
Figure 16	– Exemple de diagramme UP de capacité de puissance réactive qui correspond au diagramme QP	215
Figure 17	– Exemple de puissance active disponible et de puissance active en mode de limitation du taux de variation	217
Figure 18	– Exemple d'essai de priorisation des points de consigne de puissance active.....	219
Figure 19	– La réaction de fréquence mesurée du PPC est remplacée par une fréquence simulée	222
Figure 20	– Exemple d'une fonction de contrôle de puissance active $P = f(f)$, avec les différents points de mesure et les échelons de fréquence associés.....	223

Figure 21 – Exemple d'essai de limitation du taux de variation de la puissance réactive	228
Figure 22 – Exemple de caractéristique $Q(U)$ avec une pente de 4 %	229
Figure 23 – Exemples de défaillances de communication possibles de la PP	234
Figure 24 – Exemple de graphique concernant l'essai d'erreur de communication.....	236
Figure A.1 – Figure 25 – Papillotement de tension P_{St} par rapport à la puissance active pour le fonctionnement normal.....	245
Figure A.2 – Papillotement de tension P_{St} pour le niveau de fond	245
Figure A.3 – Séries temporelles de tensions triphasées en tant que valeur efficace de démarrage de la PP	245
Figure A.4 – Séries temporelles de courants triphasés en tant que valeur efficace de démarrage de la PP	246
Figure A.5 – Séries temporelles de puissance active et réactive de démarrage de la PP	246
Figure A.6 – Séries temporelles de tensions triphasées en tant que valeur efficace d'arrêt de la PP.....	246
Figure A.7 – Séries temporelles de courants triphasés en tant que valeur efficace d'arrêt de la PP.....	246
Figure A.8 – Séries temporelles de puissance active et réactive d'arrêt de la PP	246
Figure A.9 – Valeur maximale des 99 ^e centiles de courants harmoniques entiers par rapport au rang d'harmonique	271
Figure A.10 – Valeur maximale des 99 ^e centiles de courants interharmoniques par rapport à la fréquence.....	271
Figure A.11 – Valeur maximale des 99 ^e centiles des composantes de courant à fréquence plus élevée par rapport à la fréquence.....	271
Figure A.12 – Valeur maximale des 95 ^e centiles de courants harmoniques entiers par rapport au rang d'harmonique	271
Figure A.13 – Valeur maximale des 95 ^e centiles de courants interharmoniques par rapport à la fréquence.....	272
Figure A.14 – Valeur maximale des 95 ^e centiles des composantes de courant à fréquence plus élevée par rapport à la fréquence.....	272
Figure A.15 – Valeur maximale des 99 ^e centiles de tensions harmoniques entières par rapport au rang d'harmonique	272
Figure A.16 – Valeur maximale des 99 ^e centiles de tensions interharmoniques par rapport à la fréquence.....	272
Figure A.17 – Valeur maximale des 99 ^e centiles des composantes de tension à fréquence plus élevée par rapport à la fréquence.....	273
Figure A.18 – Valeur maximale des 95 ^e centiles de tensions harmoniques entières par rapport au rang d'harmonique	273
Figure A.19 – Valeur maximale des 95 ^e centiles de tensions interharmoniques par rapport à la fréquence.....	273
Figure A.20 – Valeur maximale des 95 ^e centiles des composantes de tension à fréquence plus élevée par rapport à la fréquence.....	273
Figure A.21 – Taux de déséquilibre de courant en fonction de la puissance active.....	274
Figure A.22 – Taux de déséquilibre de tension en fonction de la puissance active	274
Figure A.23 – Série temporelle: courants et tensions instantanés triphasés au POC	275
Figure A.24 – Série temporelle: séquence positive et négative du courant actif et réactif	275

Figure A.25 – Série temporelle: séquence positive et négative de la puissance active et réactive.....	275
Figure A.26 – Série temporelle: tension directe et inverse du réseau au POC.....	276
Figure A.27 – Séries temporelles de la puissance active disponible, de la puissance de sortie active mesurée et des valeurs de référence.....	276
Figure A.28 – Séries temporelles de la puissance active disponible, de la puissance de sortie active mesurée et des valeurs de référence.....	277
Figure A.29 – Séries temporelles de la puissance active disponible, de la puissance de sortie active mesurée et des valeurs de référence.....	277
Figure A.30 – Séries temporelles de la puissance active disponible, de la puissance active mesurée et de la valeur de référence de la fréquence du réseau pour (essai 1 et essai 2) $0,25 \times P_n < P < 0,5 \times P_n$	278
Figure A.31 – Séries temporelles de la puissance active disponible, de la puissance active mesurée et de la valeur de référence de la fréquence du réseau pour (essai 3 et essai 4) $P > 0,8 \times P_n$	278
Figure A.32 – Séries temporelles de la puissance active disponible, de la puissance active mesurée et de la valeur de référence de la fréquence du réseau pour (essai 5 et essai 6) $v > v_n$	278
Figure A.33 – Séries temporelles des valeurs de référence de la puissance réactive, de la puissance réactive mesurée et de la tension du réseau au cours de l'essai de contrôle de puissance réactive.....	280
Figure A.34 – Séries temporelles des valeurs de référence de la puissance réactive, de la puissance réactive mesurée et de la tension du réseau au cours de l'essai de contrôle de puissance réactive.....	280
Figure A.35 – Zoom sur la réponse aux échelons (pour les réponses aux trois échelons) dans le cadre des séries temporelles des valeurs de référence de la puissance réactive, de la puissance réactive mesurée et de la tension du réseau au cours de l'essai de contrôle de puissance réactive.....	281
Figure A.36 – Diagramme <i>QP</i> d'essai de capacité de puissance réactive.....	281
Figure A.37 – Diagramme <i>UP</i> de capacité de puissance réactive qui correspond au diagramme <i>QP</i>	282
Figure A.38 – Séries temporelles de la puissance active disponible et de la puissance active en mode de limitation du taux de variation – Taux de variation lent.....	282
Figure A.39 – Séries temporelles de la puissance active disponible et de la puissance active en mode de limitation du taux de variation – Taux de variation rapide.....	283
Figure A.40 – Séries temporelles des points de consigne de puissance active, de la puissance disponible et de la puissance active.....	283
Figure A.41 – Séries temporelles des points de consigne de puissance active, de la puissance disponible et de la puissance active.....	284
Figure A.42 – Série temporelle de la fréquence simulée.....	284
Figure A.43 – Séries temporelles du point de consigne de puissance réactive et de la puissance réactive.....	285
Figure A.44 – Séries temporelles de la tension – Puissance réactive et puissance réactive attendue pour une pente donnée.....	286
Figure A.45 – Séries temporelles de la puissance active, de la puissance réactive, du facteur de puissance et de la référence du facteur de puissance.....	287
Figure A.46 – Séries temporelles du point de consigne de puissance active, de la puissance active, de la puissance disponible et du moment de la défaillance (cas 1 à cas 3).....	289
Figure A.47 – Graphique concernant l'essai d'erreur de communication (exemple).....	290

Figure B.1 – Représentation simplifiée de la PP raccordée au réseau externe, utilisée pour l'estimation de la contribution harmonique incrémentielle au POC ou en tout autre point d'intérêt.....	293
Figure B.2 – Représentation simplifiée de la PP pour les études relatives à la propagation des harmoniques, y compris le fond harmonique et la source de tension harmonique non idéale du PGU	294
Tableau 1 – Vue d'ensemble des mesures et de leurs exigences	178
Tableau 2 – Description et exigences générales de l'essai HIL fonctionnel	187
Tableau 3 – Liste des signaux enregistrés	195
Tableau 4 – Liste des signaux électriques à surveiller pour l'évaluation des événements	195
Tableau 5 – Incertitudes de mesure maximales du simulateur de réseau	198
Tableau 6 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	200
Tableau 7 – Exactitude des valeurs de contrôle de la puissance active.....	202
Tableau 8 – Résultats de l'essai de réponse dynamique de puissance active.....	203
Tableau 9 – Exemple de liste des signaux au cours de l'essai	204
Tableau 10 – Résultats de l'essai d'arrêt d'urgence	205
Tableau 11 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	206
Tableau 12 – Réglages d'inertie synthétique.....	208
Tableau 13 – Résultats de l'essai d'inertie synthétique	209
Tableau 14 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	210
Tableau 15 – Essai d'erreur statique	212
Tableau 16 – Essai de réponse dynamique.....	212
Tableau 17 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	213
Tableau 18 – Exemple de diagramme QP de capacité de puissance réactive	215
Tableau 19 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	216
Tableau 20 – Calcul du taux de variation de la puissance active	217
Tableau 21 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	218
Tableau 22 – Résultats d'essai de priorisation des points de consigne.....	220
Tableau 23 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	221
Tableau 24 – Exemple de séquence d'essai pour la fonction de puissance active dépendante de la fréquence.....	225
Tableau 25 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	226
Tableau 26 – Procédure pour l'essai de limitation du taux de variation de la puissance réactive.....	227
Tableau 27 – Calcul du taux de variation de la puissance réactive.....	228
Tableau 28 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	230
Tableau 29 – Contrôle de tension $Q(U)$ – essai de pente	231
Tableau 30 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	232
Tableau 31 – Exemple d'essai de contrôle du facteur de puissance	233
Tableau 32 – Liste des signaux au cours de l'essai.....	235
Tableau 33 – Exemple d'essai d'erreur de communication – Défaillance au niveau de l'interface externe	236
Tableau 34 – Exemple de défaillance du PPC ou de la communication entre le PPC et les PGU	237

Tableau 35 – Exemple de défaillance de mesure des données du réseau	237
Tableau 36 – Spécifications des exposants conformément à l'IEC TR 61000-3-6	241
Tableau A.1 – Données générales et nominales	242
Tableau A.2 – Capacités générales de la centrale électrique et fonctions de contrôle	243
Tableau A.3 – Informations générales d'essai et de rapport	243
Tableau A.4 – Conditions générales d'essai et données du réseau	243
Tableau A.5 – Conditions générales d'essai et montage d'essai.....	244
Tableau A.6 – Valeurs de papillotement.....	244
Tableau A.7 – Variations rapides de tension dues aux opérations de commutation	245
Tableau A.8 – Informations générales relatives aux essais	247
Tableau A.9 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine	247
Tableau A.10 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine	249
Tableau A.11 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine	250
Tableau A.12 – 95 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine	251
Tableau A.13 – 95 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine	252
Tableau A.14 – 95 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine	254
Tableau A.15 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine	255
Tableau A.16 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine.....	257
Tableau A.17 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine.....	258
Tableau A.18 – 95 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine.....	259
Tableau A.19 – 95 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine.....	261
Tableau A.20 – 95 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 10 min par semaine.....	262
Tableau A.21 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 3 s par semaine	263
Tableau A.22 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 3 s par semaine	265
Tableau A.23 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 3 s par semaine	266
Tableau A.24 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 3 s par semaine	267
Tableau A.25 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 3 s par semaine	269
Tableau A.26 – 99 ^e centile d'amplitudes harmoniques de 3 s par semaine	270
Tableau A.27 – Déséquilibre	274
Tableau A.28 – Informations générales relatives aux défaillances pour les événements d'alimentation continue en cas de sous-tension et de surtension (UVRT et OVRT)/l'enregistrement ^a	275
Tableau A.29 – Exactitude des valeurs de contrôle de la puissance active.....	276
Tableau A.30 – Exactitude des valeurs de contrôle de la puissance active.....	277
Tableau A.31 – Résultats de l'essai d'arrêt d'urgence	277
Tableau A.32 – Résultats de l'essai d'inertie synthétique	279
Tableau A.33 – Essai d'erreur statique.....	280
Tableau A.34 – Essai de réponse dynamique.....	281
Tableau A.35 – Diagramme PQ	282
Tableau A.36 – Calcul du taux de variation de la puissance active – Taux de variation lent 283	

Tableau A.37 – Calcul du taux de variation de la puissance active – Taux de variation rapide	283
Tableau A.38 – Résultats d'essai de priorisation des points de consigne	284
Tableau A.39 – Résultats de la fonction de puissance active dépendante de la fréquence	285
Tableau A.40 – Calcul du taux de variation de la puissance réactive.....	286
Tableau A.41 – Contrôle de tension $Q(U)$ – essai de pente	287
Tableau A.42 – Essai de contrôle du facteur de puissance.....	288
Tableau A.43 – Essai d'erreur de communication – Défaillance au niveau de l'interface externe (exemple).....	289
Tableau A.44 – Défaillance du PPC ou de la communication entre le PPC et les PGU (exemple)	289
Tableau A.45 – Défaillance de mesure des données du réseau (exemple).....	289
Tableau A.46 – Essai d'erreur de communication – Défaillance au niveau de l'interface externe (exemple).....	290
Tableau A.47 – Défaillance du PPC ou de la communication entre le PPC et les PGU (exemple)	290
Tableau A.48 – Défaillance de mesure des données du réseau (exemple).....	290
Tableau C.1 – Méthodes d'évaluation recommandées pour la validation des capacités électriques de la PP.....	296
Tableau D.1 – Transducteur de tension (VT, <i>Voltage Transducer</i>) en MT, HT et THT.....	298
Tableau D.2 – Transducteur de courant (CT, <i>Current Transducer</i>) en MT, HT et THT	299

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 21-2: Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Centrales éoliennes

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.

L'IEC 61400-21-2 a été établie par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
88/933/FDIS	88/943/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

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/standardsdev/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61400, publiées sous le titre général *Systèmes de génération d'énergie éolienne*, se trouve 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,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 61400 définit une méthode uniforme pour le mesurage, les essais et l'évaluation des caractéristiques électriques des centrales éoliennes connectées au réseau. Ces caractéristiques comprennent les aspects liés à la qualité de puissance, les caractéristiques de contrôle telles que le contrôle de puissance, le contrôle de puissance réactive, le contrôle de tension, le contrôle de fréquence, le comportement d'alimentation continue en cas de défaillance, ainsi que les essais de protection du réseau.

Les mesurages et l'évaluation concernent le point de connexion (POC, *Point Of Connection*) de la centrale électrique. La procédure décrit les méthodes normalisées qui permettent au développeur ainsi qu'aux opérateurs de réseau de transport et aux opérateurs de réseau (par exemple, opérateurs réseau de transport (TSO, *Transmission System Operators*) et opérateurs de réseau de distribution (DSO, *Distribution System Operators*)) d'analyser le respect des règles de connexion au réseau en ce qui concerne les caractéristiques susmentionnées.

Le présent document inclut les aspects suivants:

- définition et spécification des grandeurs à déterminer pour définir les caractéristiques électriques de centrales connectées à un réseau;
- procédures de mesure et d'essai pour quantifier les caractéristiques électriques d'une centrale;
- procédures de mesure et d'essai du contrôleur de centrale électrique;
- procédures et méthodes d'estimation des capacités électriques, à l'aide des résultats des mesurages de chacune des éoliennes pour évaluer la conformité aux exigences de raccordement électrique au niveau de la centrale;
- procédures d'essai et de mesure qui peuvent servir de référence, par exemple essais de mise en service de centrales électriques existantes ou récemment raccordées;
- procédures de mesure et d'enregistrement des défaillances pour la validation et la vérification des modèles de simulation de centrale éolienne, comme cela est décrit dans l'IEC 61400-27-1 et l'IEC 61400-27-2.

Ces procédures de mesure sont valables pour les centrales électriques, y compris le contrôleur de centrale électrique (PPC, *Power Plant Controller*) et tout autre matériel connecté nécessaire à l'exploitation de la centrale électrique. Les procédures de mesure sont valables pour les centrales électriques raccordées au POC avec une interface unique, quelle que soit leur taille.

Les résultats des mesurages et de l'évaluation des caractéristiques électriques de la centrale peuvent être utilisés comme données d'entrée pour la vérification des modèles de simulation électrique des centrales éoliennes, comme cela est décrit dans l'IEC 61400-27-2.

Les aspects décrits dans le présent document peuvent être soumis à l'essai et consignés individuellement, et il n'est pas obligatoire d'effectuer tous les essais et mesurages décrits.

La validation des fonctions de contrôle de la centrale électrique englobe les performances des différents groupes électrogènes (PGU, *Power Generation Unit*), de tout composant supplémentaire de la centrale, du système de communication et du PPC.

Les performances de contrôle de la centrale électrique peuvent être vérifiées par une combinaison d'essais de performance sur site et d'essais de fonctionnalité effectués sur une configuration de matériel en boucle fermée (HIL, *Hardware-In-the-Loop*).

Les essais de validation des performances de contrôle sont donc divisés en deux parties:

- 1) essais de performance;
- 2) essais de fonctionnalité.

Les essais de fonctionnalité peuvent être effectués sur un montage d'essai spécifique (essai HIL) ou sur site.

Les essais de performance, qui dépendent du site, sont effectués sur chaque site spécifique dans les conditions spécifiques au site et fournissent conjointement aux essais de fonctionnalité l'ensemble des performances de contrôle de la centrale électrique.

Des essais et mesurages supplémentaires peuvent être réalisés et consignés pour une évaluation plus détaillée des modèles de simulation et pour la conformité aux exigences de code de réseau spécifiques.

Les essais décrits pouvant être utilisés pour la validation d'autres centrales à énergie renouvelable, le présent document utilise les abréviations génériques suivantes:

- PGU: abréviation de groupe électrogène (*Power Generation Unit*), qui désigne une éolienne
- PP: abréviation de centrale électrique (*Power Plant*), qui désigne une centrale éolienne

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 21-2: Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Centrales éoliennes

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61400 définit et spécifie les grandeurs qui sont déterminées pour définir les caractéristiques électriques des centrales électriques (PP) connectées au réseau.

Le présent document définit les procédures de mesure et d'essai pour quantifier les caractéristiques électriques utilisées comme base pour la vérification de la conformité des PP, y compris:

- aspects liés à la qualité de puissance;
- fonctionnement en régime établi;
- réponse dynamique (alimentation continue en cas de sous-tension et de surtension);
- déconnexion du réseau (protection du réseau);
- performances de contrôle.

Le présent document définit une procédure de mesure et d'essai de fonctionnalité uniforme pour le contrôleur de centrale électrique (PPC), qui sert de base pour l'essai d'unité du contrôleur de centrale électrique.

Le présent document définit les procédures d'évaluation de la conformité aux exigences de raccordement électrique, y compris les méthodes d'agrégation pour les aspects liés à la qualité de puissance, tels que les variations de tension, le papillotement, les harmoniques et les interharmoniques.

Le présent document définit les procédures de mesure et d'enregistrement des défaillances, par exemple pour la vérification des modèles de simulation électrique de centrale en ce qui concerne les événements d'alimentation continue en cas de sous-tension et de surtension.

Ces procédures de mesure sont valables pour les centrales électriques, y compris le contrôleur de centrale électrique et tout autre matériel connecté nécessaire à l'exploitation de la centrale électrique. Les procédures de mesure sont valables pour les centrales électriques raccordées au point de connexion (POC) en un point unique, quelle que soit leur taille.

Les procédures d'évaluation et de vérification de la conformité aux exigences en matière de raccordement au réseau sont valables pour les centrales électriques qui font partie de réseaux d'alimentation à fréquence fixe et puissance de court-circuit suffisante.

Les aspects suivants sont hors du domaine d'application du présent document:

- évaluation de plusieurs centrales électriques, c'est-à-dire contrôle par une gestion de groupes de plusieurs centrales électriques (PP) ou évaluation où la centrale électrique est raccordée à plusieurs points de connexion;
- essai de conformité et exigences de performance, y compris les critères de réussite ou d'échec;
- essai de composants spécifiques et validation des équipements de la PP (appareillage, câbles, transformateurs, etc.), qui sont couverts par d'autres normes IEC;
- validation du modèle de la centrale éolienne, comme cela est défini dans l'IEC 61400-27-2;

- méthodes de calcul de flux de charge et lignes directrices d'étude de flux de charge;
- essai et mesurage de l'interface de communication et du système de la PP, comme cela est défini dans la série IEC 61400-25.

NOTE Pour les besoins du présent document, les termes suivants s'appliquent pour la tension système, selon l'IEC 60038:

- basse tension (BT) s'applique à $100 \text{ V} < U_n \leq 1 \text{ kV}$;
- moyenne tension (MT) s'applique à $1 \text{ kV} < U_n \leq 35 \text{ kV}$;
- haute tension (HT) s'applique à $35 \text{ kV} < U_n \leq 230 \text{ kV}$;
- très haute tension (THT) s'applique à $U_n > 230 \text{ kV}$.

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 60038, *Tensions normales de la CEI*

IEC 60255-121:2014, *Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 121: Exigences fonctionnelles pour protection de distance*

IEC 60255-127:2010, *Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 127: Exigences fonctionnelles pour les protections à minimum et maximum de tension*

IEC 60255-151:2009, *Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 151: Exigences fonctionnelles pour les protections à minimum et maximum de courant*

IEC 60255-181:2019, *Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 181: Exigences fonctionnelles relatives aux protections de fréquence*

IEC TR 61000-3-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems* (disponible en anglais seulement)

IEC 61000-4-15, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-15: Techniques d'essai et de mesure – Flickermètre – Spécifications fonctionnelles et de conception*

IEC 61000-4-30, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-30: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation*

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, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 27-1: Modèles de simulation électrique – Modèles génériques*

IEC 61400-27-2, *Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 27-2: Modèles de simulation électrique – Validation des modèles*

IEC 61869-2, *Transformateurs de mesure – Partie 2: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant*

IEC 61869-3, *Transformateurs de mesure – Partie 3: Exigences supplémentaires concernant les transformateurs inductifs de tension*

IEC/IEEE 61850-9-3, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation* (disponible en anglais seulement)