

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

Wind energy generation systems – Part 24: Lightning protection

Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 24: Protection contre la foudre

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61400-24:2019/AMD1:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

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

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1
AMENDEMENT 1

**Wind energy generation systems –
Part 24: Lightning protection**

**Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 24: Protection contre la foudre**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.180

ISBN 978-2-8322-9911-1

**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.**

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –

Part 24: Lightning protection

AMENDMENT 1

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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

Amendment 1 to IEC 61400-24:2019 has been prepared by IEC technical committee 88: Wind energy generation systems.

The text of this Amendment is based on the following documents:

Draft	Report on voting
88/1040/FDIS	88/1054/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 Amendment is English.

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

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

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

INTRODUCTION to Amendment 1

This amendment to IEC 61400-24:2019 addresses an update of the content in Annex L regarding monitoring systems for detecting lightning strikes on wind turbines.

2 Normative references

Add the following document to the existing list, after IEC 62305-4:2010:

IECRE OD-501, *Type and Component Certification Scheme (wind turbines)*

Replace the existing Annex L with the following new Annex L:

Annex L (informative)

Lightning detection and measurement systems

L.1 General

L.1.1 Purpose

It is recommended that wind turbines are equipped with systems capable of detecting lightning, measuring its current components, and processing the parameters of the lightning strikes. The purpose of such systems is to:

- provide information to the operator on the occurrence of lightning strikes to the wind turbine and to give input to operation and maintenance regimes;
- provide valuable data on lightning strikes to wind turbines thus allowing post-assessment of the lightning magnitude/characteristics and contribution to the operator's risk assessment processes;
- enable the operator to compare the measured current parameters of lightning strikes to the lightning protection level, LPL, used for designing the wind turbine lightning protection system (e.g. for assessing if the lightning current intercepted by the LPS is below or above the values defined in Table 1);
- avoid hazardous activities such as maintenance when there is a risk of lightning strike.

L.1.2 Nomenclature

The following nomenclature applies to this annex.

- a) Thunderstorm warning systems (TWS), composed of thunderstorm detector(s) able to monitor the lightning or upcoming lightning activity and tools for processing the acquired data to provide a valid alarm (warning). They are based on local sensors (either based on electrostatic or electromagnetic fields), a group of local sensors or lightning location systems (LLS).
- b) Lightning measurement systems (LMS) measuring lightning events and their features with devices installed on the turbine. These systems range from a combination of simple electromechanical event counters to complex systems measuring and analyzing lightning parameters.

L.2 Benefits of lightning detection and measurement systems

There are many benefits of measuring actual lightning exposure. Depending on the specific stakeholder, a non-exhaustive list is included in Table L.1, Table L.2 and Table L.3. The industry is encouraged to share lightning data across all stakeholders (OEM/Owner/Insurance), to ensure benefits across the entire value chain.

Table L.1 – Considerations and benefits for the OEM (original equipment manufacturer)

Statement	Value aspect
For turbines delivered with long service contracts, the OEM (Original Equipment Manufacturer) with a service contract would like to know when the receptor/LPS has reached the design lifetime and needs to be replaced. This can be achieved by monitoring the accumulated charge and specific energy for each blade and correlating with test performance of the receptor/LPS.	This enables condition-based maintenance or repair, lowering downtime and unexpected damage costs significantly. Maintenance is cheaper than repair.
The OEM would like to know all information of strikes, to determine the efficiency of the receptors/LPS (the observed number of strikes intercepted correctly divided by the total number of strikes to the turbine/blade observed – see 3.12).	This information is used to market the OEM products, <i>"with a field efficiency of XX%, our turbines comply fully with YY"</i> .
Every strike will be different, and cross correlating strike information with other sensor signals can provide valuable information to the OEM to fully understand the turbine operation and design performance.	Get more information on the lightning susceptibility of the turbines, to enable stronger and cheaper designs for future turbines.
Turbine LPS have developed intensively during the past 10 years to 20 years, and OEMs are still following different paradigms for the design and verification air terminations, down conductors and lightning coordination with additional conductive components like CFRP. If a blade design, known from verification tests or modelling, is challenged by certain features of the lightning current, an active monitoring of the lightning exposure will allow targeted maintenance. Not all lightning strikes exhibit the same strike parameters, hence the consequence of strikes will differ.	By measuring all strikes in field, evaluating the strike parameters, and comparing them to design performance from laboratory tests and/or modelling verification, the consequence of specific strikes can be assessed. By evaluating the consequence of each lightning event, maintenance and inspections can be tailored and optimized.
In case lightning damages occur, the detailed measurements of the lightning parameters can be used to assign and split the cost of repair between OEM and owner/operator.	Enable the discussion on splitting costs of blade damages based on lightning impact.

Table L.2 – Considerations and benefits for owner and/or operator

Statement	Value aspect
The operator would like to know if a lightning flash exceeded IEC LPL current parameters to which the turbine has been certified as this is useful information in relation to warranty and insurance.	Lightning damage is paid by the responsible party.
The owner and/or operator would like to know if a lightning flash was potentially dangerous to the turbine.	In case the measurement can be used to identify a strike as representing a risk, the turbine could be checked (online or on site) before it is restarted. This could prevent further damage on the turbine.
The owner and/or operator would like to know when the receptor and/or LPS has reached the design lifetime and needs to be replaced. This is performed by monitoring the accumulated charge and/or specific energy in each blade and correlating it with the receptor and/or LPS performance as proven by testing according to Annex D. Additionally, the collection of lightning exposure will enable a determination of potential LPS performance degradation.	This enables condition-based maintenance/repair, lower downtime and unexpected damage cost significantly. Maintenance is cheaper than repair.
A correlation of lightning performance across large fleets with LMS will provide knowledge on the performance of a specific design and enable customisation of the LPS design to specific site conditions (altitude, lightning regime, number of WTs in the WF, etc.).	Enable the owner to select turbines with documented good experience on the lightning performance, as required by the specific site.
Every strike will be different, and cross correlating strike information with other sensor signals can provide valuable information to the owner and/or operator to fully understand the turbine operation and design performance.	Get more information to support condition-based maintenance strategies.
In case lightning damages occur, the detailed measurements of the lightning parameters can be used to assign and split the cost of repair between OEM and owner/operator.	Enable the discussion on splitting costs of blade damages based on lightning impact.

Table L.3 – Considerations and benefits for the Insurance company

Statement	Value aspect
Sites with severe lightning exposure will potentially have more downtime to allow for extra service and maintenance, and the damage rate in terms of failures per year could also be larger. The insurance company could customize the insurance tariff according to site conditions in terms of challenging lightning activity, such that sites experiencing significant lightning activity could be priced higher than sites with limited lightning activity.	Utilizing a dynamic insurance premium, where that insurance premiums scale with documented lightning activity, would allow the insurance company to target the premiums more correctly to the risk.
A correlation of lightning performance across large fleets will provide knowledge of which designs work well and which designs don't for similar lightning environments. Since the lightning environment is documented by LMS, a correlation between insurance claims and LMS data will provide the needed information (e.g. protection efficiency of the LPS).	Optimize insurance premiums and exclude designs with poor performance, to eventually optimise the insurance business.
A blade certified according to IEC/RE OD-501 (referencing to IEC 61400-24 for lightning matters) eventually means that the turbine should be able to continue operation without the need of repair until next scheduled maintenance; see 8.2.2. An additional perception is that strikes outside the range of the LPL are disregarded. In both cases, knowledge on the actual strike data is useful for deciding the insurance coverage.	Qualify discussion of insurance coverage by providing actual lightning strike data.
In the event that blades suffer damages due to lightning, a discussion on insurance coverage can be assisted by accurate measurements. The insurance companies could require the installation of proper LMS to quantify the lightning exposure (current magnitude, specific energy, flash charge, accumulated charge, di/dt , etc.).	Discussions on lightning exposure can be eliminated once suitable LMS complying to industry standards are used efficiently.

L.3 Lightning detection and measurement systems

L.3.1 General

Lightning detection and measurement systems are devices that provide information about lightning affecting wind turbines. By detecting the presence of lightning strikes on and/or around the wind turbine, different strategies for optimized operation or maintenance of the turbines can be implemented.

Brief descriptions of the different options are given below.

L.3.2 Lightning detection systems

IEC 62793 describes sensors and networks of sensors (including LLS) able to provide real-time information on the risk of lightning strikes. Sensors measuring electrostatic field detect lightning related conditions and are usually employed as local detectors since they measure the formation, approach or dissipation of the thunderstorm in the area where they are installed.

Sensors measuring electromagnetic field produced by lightning strokes can be used as standalone detectors or used in networks. LLS use multiple antennae to locate lightning strokes based on direction-finding, time of arrival, or interferometric techniques. Data from these systems are generally available in real-time according to IEC 62793 requirements.

It is important for the user of data from TWS to know several parameters that affect the performance of the system. Considerations relevant to lightning detection systems should be compliant in full with IEC 62793.

L.3.3 Lightning measurement systems (LMS)

L.3.3.1 General

Lightning measurement systems are devices that provide information about lightning strikes on a wind turbine by measuring various parameters caused by that lightning strike (e.g., current magnitude, specific energy, flash charge, accumulated charge, di/dt , transient magnetic fields generated by lightning currents flowing through down conductors including the tower).

L.3.3.2 Lightning event counters and peak current sensors

Lightning counters and peak current sensor cards (PCS) provide minimal information about lightning events to a wind turbine. The simplest lightning counters (e.g. electromechanical) just provide the number of strikes. Electronic lightning counters can also provide time stamp and estimation of lightning parameters. Peak current sensor cards provide an estimation of the maximum peak current for the time period since the sensor was installed. Considerations relevant for lightning event counters and peak current sensors are listed in Table L.4.

Table L.4 – Considerations relevant for lightning event counters and peak current sensors

Types	Considerations
Lightning strike counters	Lightning counters designed in accordance with IEC 62561-6 could not be suitable for wind turbines exposed to large fractions of upward lightning. Some lightning counters also estimate one or several current parameters: peak current, charge, specific energy. Devices designed for the standard lightning currents (e.g. in IEC 62561-6) will not provide realistic data for all the strikes. The manufacturer should define test waveforms including continuing currents. The manufacturer should provide the reference waveforms and the uncertainties. The manufacturer should provide information about the frequency response of the sensitivity and uncertainty of the estimated parameters. The measurement capability of lightning counters used in wind turbines should demonstrate sensitivity to upward lightning. Manufacturer should provide the sensitivity versus frequency curve.
Peak current sensors	This type of sensors designed and calibrated only with the standard lightning current waveforms is not suitable for the registration of real lightning currents. The manufacturer should provide information about the performance of the sensor at typical lightning currents of wind turbines. The manufacturer should provide information about the minimum detectable current and the tested waveforms. This type of sensors is not suitable for detecting continuing currents. The manufacturer should provide the frequency response of the sensitivity and its uncertainty.

Users should be careful interpreting the information provided by the manufacturers of these types of devices.

L.3.3.3 Local lightning current measurement systems

Special systems, e.g. with sensors mounted on the tower and/or in the blades of a wind turbine to trigger a lightning alarm based on electromagnetic or optical criteria are called local lightning current measurement systems. The sensor measures what actually strikes the turbines and prevents remote lightning flashes from triggering a false alarm. Such systems can be connected to a SCADA system giving a useful indication of lightning strikes in real-time. The systems could give an indication of current waveform and strike severity and can hence be used by operators to evaluate the degree of wear and damage, and to prepare maintenance for the relevant turbines after a lightning storm.

The lightning parameters which individually or in combination are closely related to the wear of the lightning protection system and/or damages of the wind turbine are the current magnitude, total charge transfer, specific energy and front time of the lightning current, etc. Whether these parameters can be measured accurately depends largely on the frequency response and resolution of the system.

The subclauses below highlight important features of local lightning current measurement system to effectively capture the desired outcome of the lightning strikes.

L.3.3.4 Classifications

The characteristics of lightning current such as the current magnitude, charge, specific energy and front time, etc. vary and could depend on the installation areas. Therefore, it is recommended to investigate available information about characteristics of lightning currents for the installation area when selecting the lightning measurement system to actually meet the expected performance. To aid the selection, local lightning current measurement systems are classified into four types according to the measurement performance, and hence the adequacy of measuring the different lightning characteristics. The classification is shown in Table L.5.

Table L.5 – Requirement for each class of lightning measurement systems

Category	Range	Class I	Class II-PC	Class II-EC	Class III
Frequency bandwidth ^a	0,1 Hz to 1 MHz or wider	x			
	1 Hz to 1 MHz or wider		x		
	0,1 Hz to 100 kHz or wider			x	
	1 Hz to 100 kHz or wider				x
Maximum measurable current value ^b	200 kA or higher	x	x		
	100 kA or higher			x	x
Maximum measurable electric charge value ^c	1 000 C or higher	x		x	
	600 C or higher		x		x
Minimum detectable current value ^d	1 kA or lower	x		x	
	2 kA or lower		x		x
Digital resolution ^e	16 bit or higher	x			
	12 bit or better		x	x	
	8 bit or higher				x
Observation period ^f	0,5 s or longer		x		x
	1 s or longer	x		x	
^a A high upper cut off frequency allows measurement of short stroke pulses, a low lower cut off frequency ensures measurement of long strokes. ^b Upper boundary for current detection, only Class I and Class II-PC ensures measurement of LPL1 current magnitude. ^c Sites exposed to winter lightning should consider the risk of large charge transfer. ^d ICC strokes could transfer significant amount of charge at current magnitudes less than 1 kA. This charge transfer will add to the erosion of air terminations, which is why a minimum measurable current should consider this. ^e Digital resolution is important when measuring small current signals with a system having a large dynamic range. ^f Especially UW lightning and/or bipolar events are known to persist for up to 1 s and above.					

A guidance on the suitable classes of measurement systems is provided below:

- Class I: Suitable for measuring all quantities of a lightning strike
- Class II-PC: Focus on measuring the peak current (PC) of the lightning strike
- Class II-EC: Focus on measuring the electric charge (EC) of the lightning strike
- Class III: Limited measurement performance
- Class IV: Any lightning measurement systems not complying with Class I-III

The classification of a lightning measurement system follows the lowest classification in any of the categories, i.e. a LMS complying with class I in five out of six categories, but only to Class II-PC in one category, is classified as Class II-PC.

L.3.3.5 Properties of lightning measurement systems

L.3.3.5.1 General

Several properties of a lightning measurement system for a wind turbine are important for ensuring that expectations are met, including the electrical properties of the front-end measuring system, the quantities which are recorded and stored by the system, and the ability to interface to the turbine or operator SCADA system. The following is a non-exhaustive informative list of topics to consider. The following subclauses of L.3.3.5 are a non-exhaustive informative list of topics to consider.

L.3.3.5.2 Electrical performances

L.3.3.5.2.1 Detection method

The front end of the lightning measurement system defines the detection method. Several principles exist ranging from full current measurements in individual blades, full current in the tower, or partial current measurement in earthing systems. When measuring lightning current in wind turbines, it is important to consider that the structure itself could affect the current measurement. This appears due to impedance mismatch at interfaces between blade and nacelle, and/or tower and ground. The result can be reflections in the measured lightning current, which are still part of the actual current component affecting the turbine but would not be present if the lightning current could be measured without the turbine.

Most of the systems that measure the lightning current flowing through the LPS (air termination, down conductor, tower and earthing system, etc.) and hence detect lightning strikes on wind turbines use various current sensors (Rogowski coil, CT, solenoid coil, resistive shunt, etc.) to measure the above-mentioned lightning parameters.

The manufacturer should specify the detection method used, the applicability of the chosen detection method for the frequency range considered, and for systems measuring partial current in the earthing system, the manufacturer should ensure that the current share is well defined across the frequency range stated.

L.3.3.5.2.2 Current detection frequency bandwidth

The current detection frequency bandwidth (the frequency bandwidth with a gain characteristic between -3 dB and $+3$ dB) should be defined by the manufacturer. Since lightning current is known to exhibit a wide range of frequencies from short strokes at downward lightning to long strokes experienced as ICC or winter lightning, the frequency range should be chosen for the application.

L.3.3.5.2.3 Observation period

The observation period, or total time of recording and processing, should ensure that the entire duration of the expected lightning flashes is covered.

L.3.3.5.2.4 Minimum detectable current value

The minimum detectable current magnitude is the magnitude that the LMS can measure reliably relative to noise floor, DC offset, dynamic range, etc. ICC strokes are known to transfer significant amount of charge at low current magnitude; hence a small minimum detectable current is desirable at sites experiencing upward lightning and lightning during cold seasons, and in particular when the turbine design is prone to damages resulting from excessive charge transfer.

L.3.3.5.2.5 Maximum measurable current value

The maximum measurable current magnitude should reflect the risk of observing such strikes in field. For areas exposed to mainly low magnitude strikes (cold season winter lightning), 100 kA for the full lightning current could be sufficient [2], whereas the general ability of justifying exposure within the LPL I range as specified in Clause 8 requires a LMS capable of measuring the full lightning current of at least 200 kA.

L.3.3.5.2.6 Resolution

The resolution of the current measurement within the dynamic range is a measure of how well the current waveform is digitized in discrete steps. A high resolution means that the current magnitude is discretized in small steps, such that even small magnitude events like ICC can be measured and the associate charge transfer can be accurately calculated.

L.3.3.5.2.7 Measurement of electric charge

The charge transfer of the entire lightning flash is associated with the erosion of metal surfaces at the arc root, and damages of sliding rail interfaces, bearings and other moving parts along the lightning path. The charge is calculated by the time integral of the current, and its accuracy and minimum/maximum parameters will therefore depend on both the dynamic range (maximum and minimum detectable current magnitude), the resolution, the observation time and the sampling rate. For areas exposed to long strokes transferring significant amounts of charge (winter lightning during cold seasons), the LMS should be capable of measuring the extensive charge levels.

L.3.3.5.2.8 Trigger process

The trigger process is the mechanism in a lightning detection system at which the recording of the lightning current is triggered. The trigger process can be defined by the current magnitude, certain waveform features, magnetic fields, or a combination thereof. The overall goal of the trigger process is to ensure a reliable discrimination of lightning events over false positives.

Some LMS have a fixed and high trigger level chosen to ensure a reliable triggering in the event of what is perceived as real lightning strikes and to avoid too many false alarms, which could result in low current amplitude lightning events being neglected, whereas other systems provide a customizable trigger level enabling the user to also measure small magnitude lightning events. Small trigger levels will provide a high number of events, since also induced current and aborted leaders are measured, whereas higher trigger levels could miss the recordings of ICC potentially transferring significant amount of charge.

The manufacturer should specify the fixed trigger levels or the options of customized trigger levels.

L.3.3.5.2.9 Measurement accuracy and tolerances

The manufacturer should specify the measurement accuracy for the current measurement system, and the measurement tolerances with regards to the different key parameters as peak current, specific energy, charge, and current gradient. The accuracy should be specified and verified within the relevant range of the different parameters, potentially by executing lightning current tests using principles from Annex D.

Information on calibration intervals and procedure should be provided.

L.3.3.5.2.10 Electromagnetic compliance

The LMS should be compliant with the lightning environment and remain operational during the event. The performance should be documented by demonstrating compliance with relevant EMC standards and tests, as described in the IEC 61000 series.

L.3.3.5.3 Recording of lightning information

L.3.3.5.3.1 General

The important information of the lightning strike should be recorded and stored for tailoring maintenance and inspection intervals or aiding the discussion of liability in the event of damages.

L.3.3.5.3.2 Time of lightning strike

The time of the lightning strike is recorded, and if a correlation with other sensor systems is desired, the accuracy should in general be within 0,1 s. The method of reading the time should be specified by the manufacturer, and could range between ground positioning system (GPS) synchronized time stamps, network time protocol (NTP) synchronized time stamps, internal clock with manual synchronization, etc.

The manufacturer should specify the time zone used.

L.3.3.5.3.3 Lightning key parameters

The important lightning key parameters for the intended application should be recorded and stored, potentially including maximum current value, electric charge transfer, specific energy, strike polarity, strike direction of initiation, di/dt , etc.

For sites exposed to a lightning environment with charge transfer during long strokes, the accumulated charge transfer could also be very important to evaluate lifetime of air terminations, etc.

L.3.3.5.3.4 Current waveform

For additional analysis of the lightning impact to the blade, or for validation of the calculated key parameters, the current waveform itself can be valuable to record. The manufacturer should specify whether the current waveform is recorded as well as the resolution and the sampling rate of the recording.

L.3.3.5.4 Interface properties

L.3.3.5.4.1 General

Besides the measurement properties of the active lightning detection systems, another important feature is how it interfaces to the turbine, to turbine SCADA systems, operator SCADA systems, customer cloud solutions, etc.

L.3.3.5.4.2 Alarm output

Many systems feature the option of an alarm output to notify the operator when a lightning event has occurred. For some systems, the alarm output is set to trigger at a lightning event whereas other systems enable a trigger output when one or more of the key parameters exceed a predefined threshold level.

The manufacturer should specify the alarm output options, whether it triggers on the lightning event or a key data trigger threshold, or a combination of trigger thresholds (current magnitude, charge, accumulated charge, specific energy, etc.) has been exceeded.

The alarm output may be electrical, optical, wireless, etc.

L.3.3.5.4.3 Communication interface

Several options for communicating the measurements exist:

- online system where data is transferred to an external cloud solution;
- online system where data is transferred to the operator SCADA system;
- online system where the data is transferred to the local turbine SCADA system;
- offline system, where lightning recordings are only accessible at the turbine;
- other systems not covered by the above.

The manufacturer should specify the options for communication with the lightning measurement system.

L.3.3.6 Installation and commissioning

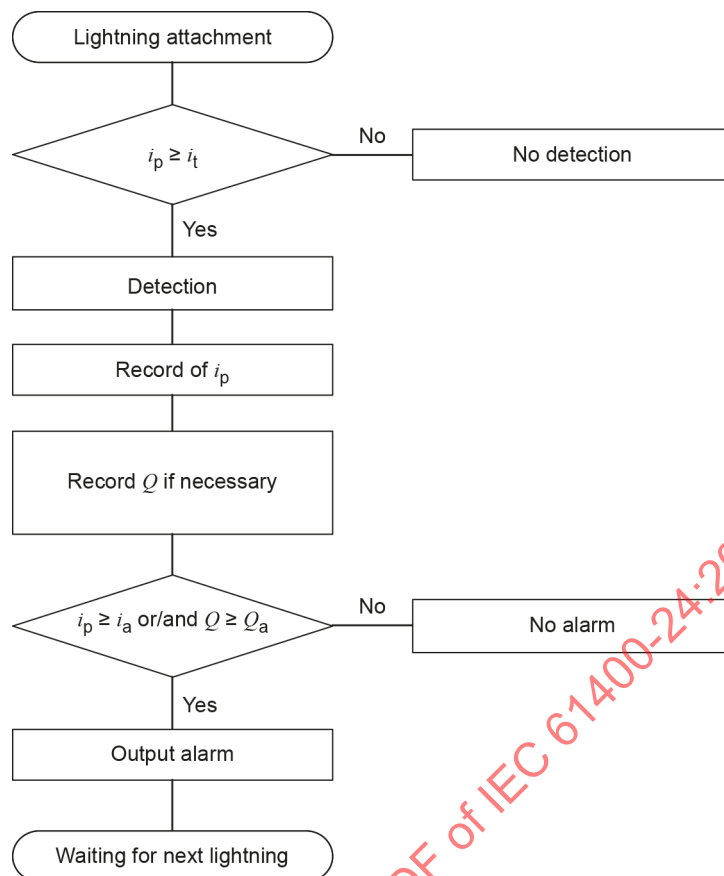
The method of installation and commissioning should be provided by the manufacturer, to ensure a durable installation with respect to the location within the turbine and specific site conditions. If the LMS utilizes conductive elements in the blade, the designer/installer should ensure that it doesn't compromise the lightning protection coordination.

Working instructions and maintenance manuals should be part of the manufacturer's documentation.

L.3.3.7 Operation flow chart

The operation flowchart should be developed by the user in collaboration with the blade designer, to ensure that actionable information is provided by the LMS. A simple example is shown in Figure L.1, where the evaluation of current magnitude and secondly charge transfer decides if an alarm is raised.

Depending on the LMS capabilities and measurement accuracy provided, other combinations of insight providing actionable information can be defined: measurement of accumulated charge correlated with results from verification tests of the present LPS will identify the expected wear of air terminations, current magnitude and di/dt provide insight on induced voltages and differential voltage distribution, specific energy provides insight on electrical loading of connection components and equipotential bonding, the number of lightning events attaching to one turbine relative to others could affect inspection plans, etc.



IEC

Key

- i_p maximum value of detected lightning current
- Q electric charge value of detected lightning
- i_t trigger current value
- i_a alarm current value
- Q_a alarm electric charge value

Figure L.1 – Example of flow chart for lightning detection and alarm output for LPS designs sensitive to charge transfer

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE GÉNÉRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE –

Partie 24: Protection contre la foudre

AMENDEMENT 1

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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'a pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'Amendement 1 de l'IEC 61400-24:2019 a été établi par le comité d'études 88 de l'IEC: Systèmes de génération d'énergie éolienne.

Le texte de cet Amendement est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
88/1040/FDIS	88/1054/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 cet Amendement est l'anglais.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61400, publiées sous le titre général *Systèmes de génération d'énergie éolienne*, 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, ou
- révisé.

INTRODUCTION à l'Amendement 1

Le présent amendement de l'IEC 61400-24:2019 traite d'une mise à jour du contenu de l'Annexe L concernant les systèmes de surveillance pour la détection des coups de foudre sur les éoliennes.

2 Références normatives

Ajouter le document suivant à la liste existante, après l'IEC 62305-4:2010:

IECRE OD-501, *Type and Component Certification Scheme (wind turbines)*

Remplacer l'Annexe L existante par la nouvelle Annexe L suivante:

Annexe L (informative)

Systèmes de détection et de mesure de la foudre

L.1 Généralités

L.1.1 Objet

Il est recommandé d'équiper les éoliennes de systèmes capables de détecter la foudre, de mesurer ses composantes de courant et de traiter les paramètres des coups de foudre. L'objectif de ces systèmes est de:

- fournir des informations à l'exploitant concernant l'occurrence des coups de foudre sur l'éolienne et fournir des données pour les programmes de fonctionnement et de maintenance;
- fournir des données valables sur les coups de foudre qui frappent les éoliennes, ce qui permet une évaluation a posteriori de l'amplitude/des caractéristiques de la foudre et contribue aux processus d'appréciation du risque de l'exploitant;
- permettre à l'exploitant de comparer les paramètres de courant mesurés des coups de foudre au niveau de protection contre la foudre, NPF, utilisé pour concevoir le système de protection contre la foudre de l'éolienne (par exemple pour évaluer si le courant de foudre intercepté par le SPF est inférieur ou supérieur aux valeurs définies dans le Tableau 1);
- éviter les activités dangereuses telles que la maintenance lorsqu'il y a un risque de coup de foudre.

L.1.2 Nomenclature

La nomenclature suivante s'applique à la présente annexe.

- a) Dispositifs de détection d'orage (TWS - *thunderstorm warning systems*) composés d'un ou de plusieurs détecteurs d'orage capables de surveiller la foudre ou l'activité de foudre à venir et d'outils pour traiter les données acquises afin de fournir une alarme valable (avertissement). Ils utilisent des capteurs locaux (en fonction des champs électrostatiques ou électromagnétiques), un groupe de capteurs locaux ou des systèmes de localisation de la foudre (LLS - *lightning location systems*).
- b) Systèmes de mesure de la foudre (LMS - *lightning measurement systems*), qui mesurent les événements de foudre et leurs caractéristiques à l'aide de dispositifs installés sur l'éolienne. Ces systèmes vont d'une combinaison de simples compteurs d'événements électromécaniques à des systèmes complexes de mesure et d'analyse des paramètres de la foudre.

L.2 Avantages des systèmes de détection et de mesure de la foudre

La mesure de l'exposition réelle à la foudre présente de nombreux avantages. En fonction de la partie prenante concernée, une liste non exhaustive figure dans le Tableau L.1, le Tableau L.2 et le Tableau L.3. Le secteur industriel est invité à partager les données concernant la foudre entre toutes les parties prenantes (FEO/Propriétaire/Assurance), afin d'assurer des avantages sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

**Tableau L.1 – Éléments à prendre en considération et avantages pour le FEO
(fabricant d'équipement d'origine)**

Énoncé	Aspect de valeur
Pour les éoliennes livrées avec des contrats de service de longue durée, le FEO (fabricant d'équipement d'origine) avec un contrat de service souhaite connaître le moment auquel le récepteur/le SPF ont atteint la durée de vie théorique et nécessitent d'être remplacés. Cette opération peut être réalisée par un contrôle de la charge cumulée et de l'énergie spécifique pour chaque pale, ainsi que par l'établissement d'une corrélation avec l'aptitude à la fonction d'essai du récepteur/SPF.	Ce dispositif permet une maintenance ou une réparation conditionnelle, ce qui réduit considérablement le temps de panne et les coûts des dommages imprévus. La maintenance est moins coûteuse que la réparation.
Le FEO souhaite connaître toutes les informations relatives aux coups de foudre, afin de déterminer l'efficacité des récepteurs/SPF (le nombre observé de coups de foudre correctement interceptés divisé par le nombre total de coups de foudre observés frappant l'éolienne/la pale – voir 3.12).	Ces informations sont utilisées pour commercialiser les produits des FEO, <i>"avec un rendement sur le terrain de XX%, nos éoliennes sont entièrement conformes à YY"</i> .
Chaque coup de foudre est différent, et la corrélation croisée des informations relatives aux coups de foudre avec d'autres signaux de capteurs peut fournir des informations précieuses au FEO pour comprendre pleinement le fonctionnement de l'éolienne et son aptitude à la fonction théorique.	Obtenir un plus grand nombre d'informations sur la vulnérabilité des éoliennes à la foudre, afin de pouvoir concevoir des éoliennes plus solides et moins coûteuses à l'avenir.
Les SPF des éoliennes ont connu un développement intensif au cours des 10 à 20 dernières années, et les FEO suivent encore différents paradigmes pour la conception et la vérification des dispositifs de capture, des conducteurs de descente et de la coordination de la foudre avec des composants conducteurs supplémentaires tels que le CFRP. Si une conception de pale, connue par le biais des essais de vérification ou de la modélisation, est remise en cause par certaines caractéristiques du courant de foudre, une surveillance active de l'exposition à la foudre permet une maintenance ciblée. Tous les coups de foudre ne présentent pas les mêmes paramètres de frappe, ce qui explique que les conséquences des coups de foudre soient différentes.	La mesure de tous les coups de foudre sur le terrain, l'évaluation de leurs paramètres et leur comparaison avec l'aptitude à la fonction théorique obtenue lors des essais en laboratoire et/ou de la vérification de la modélisation permettent d'évaluer les conséquences de coups de foudre spécifiques. L'évaluation des conséquences de chaque événement de foudre permet d'adapter et d'optimiser la maintenance et les inspections.
En cas de dommages occasionnés par la foudre, les mesurages détaillés des paramètres de la foudre peuvent être utilisés pour attribuer et répartir le coût de la réparation entre le FEO et le propriétaire/exploitant.	Permettre l'examen de la répartition des coûts des dommages occasionnés aux pales en fonction de l'impact de foudre.

Tableau L.2 – Éléments à prendre en considération et avantages pour le propriétaire et/ou l'exploitant

Énoncé	Aspect de valeur
L'exploitant souhaite savoir si un éclair a dépassé les paramètres de courant NPF IEC pour lesquels l'éolienne a été certifiée, car il s'agit d'une information utile en matière de garantie et d'assurance.	Les dommages occasionnés par la foudre sont à la charge de la partie responsable.
Le propriétaire et/ou l'exploitant souhaitent savoir si un éclair est potentiellement dangereux pour l'éolienne.	Si le mesurage peut être utilisé pour identifier un coup de foudre qui représente un risque, l'éolienne peut être contrôlée (en ligne ou sur site) avant d'être redémarrée. Ce contrôle peut éviter tout endommagement supplémentaire de l'éolienne.
Le propriétaire et/ou l'exploitant souhaitent connaître le moment auquel le récepteur et/ou le SPF ont atteint la durée de vie théorique et auquel ils nécessitent d'être remplacés. Cette opération est réalisée par un contrôle de la charge cumulée et/ou de l'énergie spécifique dans chaque pale, ainsi que par l'établissement d'une corrélation avec l'aptitude à la fonction du récepteur et/ou du SPF, comme cela est démontré par des essais conformément à l'Annexe D. En outre, la collecte des données sur l'exposition à la foudre permet de déterminer la dégradation potentielle de l'aptitude à la fonction des SPF.	Ce dispositif permet une maintenance/réparation conditionnelle, ce qui réduit considérablement le temps de panne et les coûts des dommages imprévus. La maintenance est moins coûteuse que la réparation.
Une corrélation de l'aptitude à la fonction en cas de foudre dans les grandes flottes équipées de LMS permet de connaître l'aptitude à la fonction d'une conception spécifique et d'adapter la conception des SPF aux conditions spécifiques du site (altitude, régime de foudre, nombre d'éoliennes dans le parc éolien, etc.).	Permettre au propriétaire de sélectionner des éoliennes avec une bonne expérience documentée de l'aptitude à la fonction en cas de foudre, comme l'exige le site spécifique.
Chaque coup de foudre est différent, et la corrélation croisée des informations relatives aux coups de foudre avec d'autres signaux de capteurs peut fournir des informations précieuses au propriétaire et/ou à l'exploitant pour comprendre pleinement le fonctionnement de l'éolienne et son aptitude à la fonction théorique.	Obtenir un plus grand nombre d'informations pour soutenir les stratégies de maintenance conditionnelle.
En cas de dommages occasionnés par la foudre, les mesurages détaillés des paramètres de la foudre peuvent être utilisés pour attribuer et répartir le coût de la réparation entre le FEO et le propriétaire/exploitant.	Permettre l'examen de la répartition des coûts des dommages occasionnés aux pales en fonction de l'impact de foudre.

Tableau L.3 – Éléments à prendre en considération et avantages pour la compagnie d'assurance

Énoncé	Aspect de valeur
Les sites fortement exposés à la foudre présentent potentiellement un temps de panne plus long pour permettre un service et une maintenance supplémentaires, et le taux de dommages en matière de défaillances par an peut également être plus important. La compagnie d'assurance peut adapter le tarif de l'assurance en fonction des conditions du site en matière d'activité de foudre, de sorte que les sites qui présentent une activité de foudre importante peuvent être tarifés plus cher que les sites qui présentent une activité de foudre limitée.	L'utilisation d'une prime d'assurance dynamique, avec laquelle les primes d'assurance varient en fonction de l'activité documentée de la foudre, permet à la compagnie d'assurance de mieux cibler les primes en fonction du risque.
Une corrélation de l'aptitude à la fonction en cas de foudre dans de grandes flottes permet de savoir quels sont les modèles qui fonctionnent bien et ceux qui ne fonctionnent pas bien dans des environnements de foudre similaires. Étant donné que l'environnement de foudre est documenté par le LMS, une corrélation entre les demandes d'indemnisation et les données du LMS fournit les informations nécessaires (par exemple, l'efficacité de la protection du SPF).	Optimiser les primes d'assurance et exclure les modèles avec une mauvaise aptitude à la fonction, afin d'optimiser à terme les activités d'assurance.
Une pale certifiée conformément à l'IEC/RE OD-501 (en référence à l'IEC 61400-24 pour les questions relatives à la foudre) signifie en définitive qu'il convient que l'éolienne puisse continuer à fonctionner sans nécessiter de réparation jusqu'à la prochaine maintenance programmée, voir 8.2.2. Une perception supplémentaire consiste en ce que les frappes en dehors de la portée du NPF ne sont pas prises en compte. Dans les deux cas, la connaissance des données relatives aux frappes est utile pour déterminer la couverture d'assurance.	Qualifier l'examen de la couverture d'assurance par la fourniture de données réelles sur les coups de foudre.
Si des lames subissent des dommages occasionnés par la foudre, un examen de la couverture d'assurance peut être facilité par des mesurages réalisés avec exactitude. Les compagnies d'assurance peuvent exiger l'installation d'un LMS adéquat pour quantifier l'exposition à la foudre (amplitude du courant, énergie spécifique, charge d'éclair, charge cumulée, rapport di/dt , etc.).	Les examens portant sur l'exposition à la foudre peuvent être supprimés, après utilisation efficace des LMS adaptés et conformes aux normes de l'industrie.

L.3 Systèmes de détection et de mesure de la foudre

L.3.1 Généralités

Les systèmes de détection et de mesure de la foudre sont des dispositifs qui fournissent des informations sur la foudre qui affecte les éoliennes. La détection de l'occurrence de coups de foudre sur et/ou autour de l'éolienne permet de mettre en œuvre différentes stratégies d'optimisation du fonctionnement ou de la maintenance des éoliennes.

Des descriptions succinctes des différentes options sont données ci-dessous.

L.3.2 Systèmes de détection de la foudre

L'IEC 62793 décrit les capteurs et les réseaux de capteurs (y compris LLS) capables de fournir des informations en temps réel sur le risque de coups de foudre. Les capteurs qui mesurent le champ électrostatique détectent les conditions liées à la foudre et sont généralement utilisés comme détecteurs locaux puisqu'ils mesurent la formation, l'approche ou la dissipation de l'orage dans leur zone d'installation.

Les capteurs qui mesurent le champ électromagnétique produit par les coups de foudre peuvent être utilisés comme détecteurs autonomes ou utilisés dans des réseaux. Les LLS utilisent plusieurs antennes pour localiser les coups de foudre sur la base de la radiogoniométrie, de l'instant d'arrivée ou de techniques interférométriques. Les données de ces systèmes sont généralement disponibles en temps réel, conformément aux exigences de l'IEC 62793.

Il est important que l'utilisateur des données des systèmes TWS connaisse plusieurs paramètres qui altèrent l'aptitude à la fonction du système. Il convient que les éléments à prendre en considération relatifs aux systèmes de détection de la foudre soient totalement conformes à l'IEC 62793.

L.3.3 Systèmes de mesure de la foudre (LMS)

L.3.3.1 Généralités

Les systèmes de mesure de la foudre sont des dispositifs qui fournissent des informations concernant les coups de foudre sur une éolienne par la mesure de différents paramètres provoqués par ce coup de foudre (par exemple, l'amplitude du courant, l'énergie spécifique, la charge de l'éclair, la charge cumulée, le rapport di/dt , les champs magnétiques transitoires générés par les courants de foudre qui s'écoulent à travers les conducteurs de descente, y compris le pylône).

L.3.3.2 Compteurs d'événements de foudre et capteurs de courant de crête

Les compteurs d'éclairs et les cartes de détection du courant de crête (PCS - *peak current sensor*) fournissent des informations minimales concernant les événements de foudre qui frappent une éolienne. Les compteurs d'éclairs les plus simples (par exemple, compteurs électromécaniques) fournissent juste le nombre de coups de foudre. Les compteurs d'éclairs électroniques peuvent également fournir l'horodatage et l'estimation des paramètres de foudre. Les cartes de détection du courant de crête fournissent une estimation du courant de crête maximal pendant la période qui a suivi l'installation du capteur. Les éléments à prendre en considération relatifs aux compteurs d'événements de foudre et aux capteurs de courant de crête sont énumérés dans le Tableau L.4.

Tableau L.4 – Éléments à prendre en considération concernant les compteurs d'événements de foudre et les capteurs de courant de crête

Types	Éléments à prendre en considération
Compteurs de coups de foudre	Les compteurs de coups de foudre conçus conformément à l'IEC 62561-6 peuvent ne pas être adaptés aux éoliennes exposées à de grandes fractions d'éclairs ascendants. Certains compteurs de coups de foudre permettent également d'estimer un ou plusieurs paramètres de courant: courant de crête, charge, énergie spécifique. Les dispositifs conçus pour les courants de foudre normalisés (par exemple dans l'IEC 62561-6) ne fournissent pas de données réalistes pour tous les coups de foudre. Il convient que le fabricant définisse des formes de courant d'essai y compris les courants de suite. Il convient qu'il fournisse les formes de référence et les incertitudes, ainsi que les informations concernant la réponse en fréquence de la sensibilité et l'incertitude des paramètres estimés. Il convient que la capacité de mesure des compteurs de coups de foudre utilisés dans les éoliennes démontre une sensibilité certaine à la foudre ascendante. Il convient que le fabricant indique la sensibilité par rapport à une courbe de fréquences.
Capteurs de courant de crête	Ce type de capteurs conçus et étalonnés avec les seules formes de courant de foudre normalisées n'est pas adapté à l'enregistrement des courants de foudre réels. Il convient que le fabricant fournisse des informations concernant l'aptitude à la fonction du capteur aux courants de foudre types des éoliennes. Il convient qu'il fournisse également des informations concernant le courant minimal détectable et les formes de courant soumises à l'essai. Ce type de capteurs n'est pas adapté à la détection des courants de suite. Il convient que le fabricant fournisse la réponse en fréquence de la sensibilité et son incertitude.

Il convient que les utilisateurs interprètent avec la plus grande attention les informations fournies par les fabricants de ces types de dispositifs.

L.3.3.3 Systèmes de mesure du courant de foudre local

Les systèmes particuliers, par exemple équipés de capteurs montés sur le pylône et/ou dans les pales d'une éolienne destinés à déclencher une alarme de foudre sur la base de critères électromagnétiques ou optiques sont appelés systèmes de mesure du courant de foudre local. Le capteur mesure ce qui frappe effectivement les éoliennes et empêche les éclairs distants de déclencher une fausse alarme. Ces systèmes peuvent être connectés à un système SCADA qui donne une indication utile des coups de foudre en temps réel. Les systèmes peuvent donner une indication de la forme du courant et de la gravité des coups, et peuvent donc être utilisés par les exploitants pour évaluer le degré d'usure et d'endommagement, et pour préparer la maintenance des éoliennes concernées après un orage.

Les paramètres de la foudre qui, individuellement ou en combinaison, sont étroitement liés à l'usure du système de protection contre la foudre et/ou aux dommages occasionnés à l'éolienne sont l'amplitude du courant, le transfert de charge total, l'énergie spécifique et le temps de montée du courant de foudre, etc. L'exactitude de mesure de ces paramètres dépend largement de la réponse en fréquence et de la résolution du système.

Les paragraphes ci-dessous mettent en évidence les caractéristiques importantes du système de mesure du courant de foudre local afin de capturer efficacement le résultat souhaité des coups de foudre.

L.3.3.4 Classifications

Les caractéristiques du courant de foudre, telles que l'amplitude du courant, la charge, l'énergie spécifique et le temps de montée, etc. varient et peuvent dépendre des zones d'installation. Il est donc recommandé d'étudier les informations disponibles sur les caractéristiques des courants de foudre dans la zone d'installation lors de la sélection du système de mesure de la foudre afin de satisfaire effectivement à l'aptitude à la fonction attendue. Pour faciliter la sélection, les systèmes de mesure du courant de foudre local sont classés en quatre types en fonction des performances de mesure, et donc de l'adéquation de la mesure des différentes caractéristiques de la foudre. La classification est présentée dans le Tableau L.5.

Tableau L.5 – Exigences pour chaque classe des systèmes de mesure de la foudre

Catégorie	Plage	Classe I	Classe II-PC	Classe II-EC	Classe III
Largeur de bande de fréquence ^a	0,1 Hz à 1 MHz ou plus large	x			
	1 Hz à 1 MHz ou plus large		x		
	0,1 Hz à 100 kHz ou plus large			x	
	1 Hz à 100 kHz ou plus large				x
Valeur maximale du courant mesurable ^b	200 kA ou supérieure	x	x		
	100 kA ou supérieure			x	x
Valeur maximale mesurable de la charge électrique ^c	1 000 C ou supérieure	x		x	
	600 C ou supérieure		x		x
Valeur de courant minimale détectable ^d	1 kA ou inférieure	x		x	
	2 kA ou inférieure		x		x
Résolution numérique ^e	16 bits ou supérieure	x			
	12 bits ou supérieure		x	x	
	8 bits ou supérieure				x
Période d'observation ^f	0,5 s ou durée plus longue		x		x
	1 s ou durée plus longue	x		x	

- | | |
|---|--|
| a | Une fréquence de coupure supérieure élevée permet de mesurer les décharges de courte durée, tandis qu'une fréquence de coupure inférieure basse permet de mesurer les décharges de longue durée. |
| b | Limite supérieure pour la détection du courant, seules les classes I et II-PC assurent le mesurage de l'amplitude du courant NPF1. |
| c | Il convient que les sites exposés à la foudre hivernale prennent en considération le risque de transfert de charges importantes. |
| d | Les décharges ICC peuvent transférer une quantité significative de charges à des amplitudes de courant inférieures à 1 kA. Ce transfert de charge ajoute à l'érosion des dispositifs de capture. De ce fait, il convient qu'un courant minimal mesurable prenne en considération ce phénomène. |
| e | La résolution numérique est importante lors de la mesure de petits signaux de courant avec un système ayant une grande plage dynamique. |
| f | En particulier, les éclairs UW et/ou les événements bipolaires sont connus pour persister jusqu'à 1 s et plus. |

Des recommandations concernant les classes appropriées des systèmes de mesure sont fournies ci-dessous:

- Classe I: convient pour la mesure de toutes les grandeurs liées à un coup de foudre;
- Classe II-PC: concentration sur la mesure du courant de crête (PC - *peak current*) du coup de foudre;
- Classe II-EC: concentration sur la mesure de la charge électrique (EC - *electric charge*) du coup de foudre;
- Classe III: performances de mesure limitées;
- Classe IV: tout système de mesure de la foudre non conforme à la classe I-III.

La classification d'un système de mesure de la foudre suit la classification la plus basse quelle que soit la catégorie, c'est-à-dire qu'un LMS conforme à la classe I dans cinq des six catégories, mais seulement à la classe II-PC dans une catégorie, est classé dans la classe II-PC.

L.3.3.5 Propriétés des systèmes de mesure de la foudre

L.3.3.5.1 Généralités

Plusieurs propriétés d'un système de mesure de la foudre pour une éolienne sont importantes pour satisfaire aux attentes, notamment les propriétés électriques du système de mesure frontal, les grandeurs enregistrées et stockées par le système, et la capacité à établir une interface avec le système SCADA de l'éolienne ou de l'exploitant. La liste suivante est une liste informative non exhaustive de sujets à prendre en considération. Les paragraphes suivants du L.3.3.5 sont une liste informative non exhaustive de sujets à prendre en considération.

L.3.3.5.2 Performances électriques

L.3.3.5.2.1 Méthode de détection

L'extrémité avant du système de mesure de la foudre définit la méthode de détection. Il existe plusieurs principes qui vont des mesurages du courant total dans les pales individuelles au mesurage du courant total dans le pylône, en passant par le mesurage du courant partiel dans les installations de mise à la terre. Lors de la mesure du courant de foudre dans les éoliennes, il est important de prendre en considération le fait que la structure elle-même peut affecter le mesurage du courant. Cet aspect semble dû à une désadaptation d'impédance aux interfaces entre la pale et la nacelle, et/ou entre le pylône et la terre. Il peut en résulter des réflexions dans le courant de foudre mesuré, qui font toujours partie de la composante réelle du courant qui affecte l'éolienne, mais qui n'existeraient pas si le courant de foudre pouvait être mesuré sans l'éolienne.

La plupart des systèmes qui mesurent le courant de foudre qui circule à travers le SPF (dispositif de capture, conducteur de descente, pylône et installation de mise à la terre, etc.) et qui détectent donc les coups de foudre sur les éoliennes utilisent différents capteurs de courant (bobine de Rogowski, TC, bobine solénoïde, shunt résistif, etc.) pour mesurer les paramètres de foudre susmentionnés.

Il convient que le fabricant spécifie la méthode de détection utilisée, l'applicabilité de la méthode de détection choisie pour la plage de fréquences à l'étude et, pour les systèmes qui mesurent le courant partiel dans l'installation de mise à la terre, il convient que le fabricant vérifie que la part de courant est bien définie dans la plage de fréquences indiquée.

L.3.3.5.2.2 Largeur de bande de fréquence de détection du courant

Il convient que le fabricant définisse la largeur de bande de fréquence de détection du courant (la largeur de bande de fréquence avec une caractéristique de gain comprise entre -3 dB et $+3$ dB). Dans la mesure où il est connu que le courant de foudre présente une large plage de fréquences, allant de coups de foudre de courte durée dans le cas de la foudre descendante aux coups de foudre de longue durée dans le cas de la foudre ICC (courant permanent initial - *initial continuous current*) ou de la foudre hivernale, il convient de choisir la plage de fréquences en fonction de l'application.

L.3.3.5.2.3 Période d'observation

Il convient que la période d'observation, ou le temps total d'enregistrement et de traitement, permette de couvrir toute la durée des éclairs prévus.

L.3.3.5.2.4 Valeur de courant minimale détectable

L'amplitude minimale du courant détectable est l'amplitude que le LMS peut mesurer de manière fiable par rapport au bruit de fond, au décalage de courant continu, à la plage dynamique, etc. Les décharges ICC sont connues pour transférer une quantité importante de charge à une faible amplitude de courant; il est donc souhaitable de disposer d'un faible courant minimal détectable sur les sites soumis à des éclairs ascendants et à des éclairs pendant les saisons froides, et en particulier lorsque la conception de l'éolienne est susceptible d'être endommagée par un transfert de charges excessives.

L.3.3.5.2.5 Valeur maximale du courant mesurable

Il convient que l'amplitude maximale du courant mesurable reflète le risque d'observation de tels coups de foudre sur le terrain. Pour les zones exposées principalement à des coups de foudre de faible amplitude (foudre hivernale de la saison froide), une valeur de 100 kA pour le courant de foudre complet peut être suffisante [2], alors que la capacité générale de justifier l'exposition dans la plage NPF I, comme cela est spécifié à l'Article 8, exige un LMS capable de mesurer le courant de foudre complet d'au moins 200 kA.

L.3.3.5.2.6 Résolution

La résolution du mesurage de courant dans la plage dynamique constitue une mesure de la qualité de la numérisation de la forme du courant par pas discrets. Une résolution élevée signifie que l'amplitude du courant est discrétisée par petits pas, de sorte que même les événements de faible amplitude tels que les décharges ICC peuvent être mesurés et que le transfert de charge associé peut être calculé avec exactitude.

L.3.3.5.2.7 Mesurage de la charge électrique

Le transfert de charge de l'ensemble de l'éclair est associé à l'érosion des surfaces métalliques à la racine de l'arc, et à l'endommagement des interfaces des rails de glissement, des paliers et d'autres pièces mobiles le long du trajet de l'éclair. La charge est calculée par l'intégrale temporelle du courant, et son exactitude ainsi que les paramètres minimal/maximal dépendent donc à la fois de la plage dynamique (amplitude maximale et minimale du courant détectable), de la résolution, du temps d'observation et de la fréquence d'échantillonnage. Pour les zones exposées à des coups de foudre de longue durée qui transfèrent des quantités importantes de charge (foudre hivernale pendant les saisons froides), il convient que le LMS soit capable de mesurer les niveaux de charge étendus.