



OVE EN IEC 61400-24

Ausgabe: 2020-12-01

Windenergieanlagen

Teil 24: Blitzschutz

(IEC 61400-24:2019)

Wind energy generation systems –

Part 24: Lightning protection

(IEC 61400-24:2019)

Systèmes de génération d'énergie éolienne –

Partie 24 : Protection contre la foudre

(IEC 61400-24:2019)

Copyright OVE

Medieninhaber und Hersteller:

OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik

ICS 27.180

Copyright © OVE – 2020.

Alle Rechte vorbehalten! Nachdruck oder Vervielfältigung, Aufnahme auf oder in sonstige Medien oder Datenträger nur mit Zustimmung gestattet!

Ident (IDT) mit IEC 61400-24:2019 (Übersetzung)
Ident (IDT) mit EN IEC 61400-24:2019

Ersatz für siehe nationales Vorwort

OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik
Eschenbachgasse 9, 1010 Wien
E-Mail: verkauf@ove.at
Internet: <http://www.ove.at>
Webshop: www.ove.at/webshop
Tel.: +43 1 587 63 73

zuständig OVE/TK GMT
Generatoren, Motoren, Transformatoren

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm EN IEC 61400-24:2019 hat den Status einer nationalen elektrotechnischen Norm gemäß ETG 1992. Bei ihrer Anwendung ist dieses Nationale Vorwort zu berücksichtigen.

Für den Fall einer undatierten normativen Verweisung (Verweisung auf einen Standard ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste Ausgabe dieses Standards.

Für den Fall einer datierten normativen Verweisung bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Standards.

Der Rechtsstatus dieser nationalen elektrotechnischen Norm ist den jeweils geltenden Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz zu entnehmen.

Bei mittels Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz verbindlich erklärten rein österreichischen elektrotechnischen Normen ist zu beachten:

- Hinweise auf Veröffentlichungen beziehen sich, sofern nicht anders angegeben, auf den Stand zum Zeitpunkt der Herausgabe dieser rein österreichischen elektrotechnischen Norm. Zum Zeitpunkt der Anwendung dieser rein österreichischen elektrotechnischen Norm ist der durch die Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz oder gegebenenfalls auf andere Weise festgelegte aktuelle Stand zu berücksichtigen.
- Informative Anhänge und Fußnoten sowie normative Verweise und Hinweise auf Fundstellen in anderen, nicht verbindlichen Texten werden von der Verbindlicherklärung nicht erfasst.

Europäische Normen (EN) von CENELEC werden gemäß den CENELEC-Regeln durch Veröffentlichung eines identen Titels und Textes in das Gesamtwerk der nationalen elektrotechnischen Normen übernommen, wobei der Nummerierung der Zusatz OVE vorangestellt wird.

Die nachstehende Tabelle listet jene nationalen elektrotechnischen Normen auf, die in Titel, Nummerierung und/oder Inhalt (nicht ident) von den zitierten internationalen bzw. europäischen Standards abweichen.

Europäische Norm	Internationale Norm	Nationale elektrotechnische Norm
HD 60364 (alle Teile)	IEC 60364 (alle Teile)	OVE E 8101:2019-01-01

OVE E 8101 Elektrische Niederspannungsanlagen

Erläuterung zum Ersatzvermerk

Gemäß Vorwort zur EN wird das späteste Datum, zu dem nationale (elektrotechnische) Normen, die der vorliegenden Norm entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen, mit dow (date of withdrawal) festgelegt. Bis zum Zurückziehungsdatum (dow) 2022-08-07 ist somit die Anwendung folgender Norm(en) noch erlaubt:

ÖVE/ÖNORM EN 61400-24:2011-05-01.

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN IEC 61400-24

August 2019

ICS 27.180

Ersatz für EN 61400-24:2010 und alle Änderungen
und Berichtigungen (falls vorhanden)

Deutsche Fassung

Windenergieanlagen –
Teil 24: Blitzschutz
(IEC 61400-24:2019)

Wind energy generation systems –
Part 24: Lightning protection
(IEC 61400-24:2019)

Systèmes de génération d'énergie éolienne –
Partie 24: Protection contre la foudre
(IEC 61400-24:2019)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2019-08-07 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

© 2019 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren,
sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN IEC 61400-24:2019 D

EN IEC 61400-24:2019**Europäisches Vorwort**

Der Text des Dokuments 88/709/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe der IEC 61400-24, erarbeitet vom IEC/TC 88 „Wind energy generation systems“ wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN IEC 61400-24:2019 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2020-05-07
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2022-08-07

Dieses Dokument ersetzt EN 61400-24:2010 und alle Änderungen und Berichtigungen (falls vorhanden).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61400-24:2019 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60060-1:2010	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60060-1:2010 (nicht modifiziert).
IEC 60071 (Reihe)	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 60071.
IEC 60071-2:2018	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN IEC 60071-2:2018 (nicht modifiziert).
IEC 60099-4	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60099-4.
IEC 60099-5	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN IEC 60099-5.
IEC 60204-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60204-1.
IEC 60204-11	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN IEC 60204-11.
IEC 60243 (Reihe)	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN 60243.
IEC 60243-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60243-1.
IEC 60243-3	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60243-3.
IEC 60464-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60464-2.
IEC 60587	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60587.
IEC 62561 (Reihe)	ANMERKUNG	Harmonisiert in der Reihe EN IEC 62561.
IEC 62561-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62561-1.
IEC 62793	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN IEC 62793.
IEC 62858	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62858.

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG 1 Ist eine internationale Publikation durch gemeinsame Abänderungen modifiziert worden, gekennzeichnet durch (mod.), dann gilt die entsprechende EN oder das HD.

ANMERKUNG 2 Aktualisierte Informationen über die in diesem Anhang aufgeführten aktuellen Fassungen der Europäischen Normen sind hier verfügbar: www.cenelec.eu.

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 60364-4-44	–	Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances	HD 60364-4-442	–
IEC 60364-5-53	–	Low-voltage electrical installations – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Protection, isolation, switching, control and monitoring	–	–
IEC 60364-5-54	–	Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors	HD 60364-5-54	–
IEC 60364-6	–	Low voltage electrical installations – Part 6: Verification	HD 60364-6	–
IEC 60664-1	–	Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests	EN 60664-1	–
IEC 61000-1	Reihe	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1 ^{N1)} : General – Methodology for the achievement of functional safety of electrical and electronic systems including equipment with regard to electromagnetic phenomena	EN 61000-1	Reihe
IEC 61000-4-5	–	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test	EN 61000-4-5	–
IEC 61000-4-9	–	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques – Impulse magnetic field immunity test	EN 61000-4-9	–
IEC 61000-4-10	–	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test	EN 61000-4-10	–

^{N1)} Nationale Fußnote: In EN IEC 61400-24:2019-08 wird sich irrtümlich auf Part 1-2 bezogen.

EN IEC 61400-24:2019

<u>Publikation</u>	<u>Jahr</u>	<u>Titel</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Jahr</u>
IEC 61400-23	–	Wind turbines – Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades	EN 61400-23	–
IEC 61587-3	–	Mechanical structures for electronic equipment – Tests for IEC 60917 and IEC 60297 – Part 3: Electromagnetic shielding performance tests for cabinets and subracks	EN 61587-3	–
IEC 61643-11	–	Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods	EN 61643-11	–
IEC 61643-12	–	Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles	CLC/TS 61643-12	–
IEC 61643-21	–	Low voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods	–	–
IEC 61643-22	–	Low-voltage surge protective devices – Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Selection and application principles	CLC/TS 61643-22	–
IEC 61936-1	–	Power installations exceeding 1 kV a.c. – Part 1: Common rules	EN 61936-1	–
IEC 62305-1 (mod)	2010	Protection against lightning – Part 1: General principles	EN 62305-1	2011
IEC 62305-2 (mod)	2010	Protection against lightning – Part 2: Risk management	EN 62305-2	2012
IEC 62305-3 (mod)	2010	Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard	EN 62305-3	2011
IEC 62305-4 (mod)	2010	Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures	EN 62305-4	2011
IEC/TR 60479-4	–	Effects of current on human beings and livestock – Part 4: Effects of lightning strokes on human beings and livestock	–	–
IEC/TR 61000-5-2	–	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling	–	–
IEC/TS 60479-1	–	Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects	–	–
IEC/TS 61936-2	–	Power installations exceeding 1 kV a.c. and 1,5 kV d.c. – Part 2: d.c.	–	–
ITU-T K.20	–	Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunication centre to overvoltages and overcurrents	–	–
ITU-T K.21	–	Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents	–	–

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	3
1 Anwendungsbereich	17
2 Normative Verweisungen	17
3 Begriffe	18
4 Symbole und Einheiten	25
5 Abkürzungen	29
6 Blitzumgebung von Windenergieanlagen	29
6.1 Allgemeines	29
6.2 Blitzstromparameter und Gefährdungspegel (LPL)	29
7 Bewertung der Blitzeinwirkung	31
7.1 Allgemeines	31
7.2 Bewertung der Blitzhäufigkeit, die eine einzelne WEA oder eine Gruppe von WEA trifft	32
7.2.1 Einteilung von Blitzereignissen	32
7.2.2 Schätzung der mittleren Anzahl von Blitzeinschlägen in eine einzelne WEA oder eine Gruppe von WEA	33
7.2.3 Schätzung der mittleren jährlichen Anzahl von Blitzeinschlägen neben der WEA (N_M)	36
7.2.4 Schätzung der mittleren jährlichen Anzahl von Blitzeinschlägen in mit der WEA verbundene Versorgungsleitungen (N_L)	36
7.2.5 Schätzung der mittleren jährlichen Anzahl von Blitzeinschlägen neben mit der WEA verbundenen Versorgungsleitungen (N_I)	37
7.3 Bewertung des Schadensrisikos	38
7.3.1 Grundgleichung	38
7.3.2 Bewertung von Risikokomponenten durch Blitzeinschläge in die WEA (S1)	39
7.3.3 Bewertung der Risikokomponente durch Blitzeinschläge neben der WEA (S2)	39
7.3.4 Bewertung von Risikokomponenten durch Blitzeinschläge in eine mit der WEA verbundene Versorgungsleitung (S3)	40
7.3.5 Bewertung der Risikokomponente durch Blitzeinschläge neben einer mit der WEA verbundenen Versorgungsleitung (S4)	40
8 Blitzschutz von Teilkomponenten	42
8.1 Allgemeines	42
8.1.1 Gefährdungspegel (LPL)	42
8.1.2 Blitzschutzonen (LPZ)	42
8.2 Rotorblätter	42
8.2.1 Allgemeines	42
8.2.2 Anforderungen	42
8.2.3 Nachweisprüfungen	43
8.2.4 Betrachtungen zur Planung des Schutzes	44
8.2.5 Prüfverfahren	46

EN IEC 61400-24:2019

	Seite
8.3 Gondel und andere Konstruktionsteile	47
8.3.1 Allgemeines	47
8.3.2 Nabe	47
8.3.3 Spinner	48
8.3.4 Gondel	48
8.3.5 Turm	48
8.3.6 Nachweisverfahren	49
8.4 Mechanischer Antriebsstrang und Giersystem	49
8.4.1 Allgemeines	49
8.4.2 Lager	49
8.4.3 Hydraulische Systeme	50
8.4.4 Funkenstrecken und Schleifkontakte	51
8.4.5 Nachweisprüfungen	51
8.5 Elektrische Niederspannungssysteme und elektronische Systeme und Anlagen	52
8.5.1 Allgemeines	52
8.5.2 Potentialausgleichsverbindungen innerhalb der WEA	56
8.5.3 LEMP-Schutz und Störfestigkeitspegel	57
8.5.4 Schirmung und Leitungsführung	58
8.5.5 Überspannungsschutz	59
8.5.6 Prüfverfahren für Störfestigkeitsprüfung von Systemen	63
8.6 Elektrische Hochspannungsversorgungsnetze	63
9 Erdung von Windenergieanlagen	65
9.1 Allgemeines	65
9.1.1 Zweck und Anwendungsbereich	65
9.1.2 Grundanforderungen	65
9.1.3 Anordnungen von Erdern	65
9.1.4 Impedanz der Erdungsanlage	66
9.2 Potentialausgleichsverbindung	66
9.2.1 Allgemeines	66
9.2.2 Blitzschutz-Potentialausgleich für metallische Installationen	66
9.3 Konstruktionsteile	67
9.3.1 Allgemeines	67
9.3.2 Metallrohtürme	67
9.3.3 Betontürme mit Metallbewehrung	67
9.3.4 Gittertürme	67
9.3.5 Systeme innerhalb des Turmes	68
9.3.6 Betonfundament	68
9.3.7 Gründung in felsigen Gebieten	68
9.3.8 Metallische Monopfahlgründung	69

	Seite
9.3.9 Offshore-Gründung	69
9.4 Maße des Erders	69
9.5 Errichtung und Wartung der Erdungsanlage.....	70
10 Sicherheit von Personen	70
11 Dokumentation der Blitzschutzanlage.....	72
11.1 Allgemeines.....	72
11.2 Für die Bewertung der Konstruktion erforderliche Dokumentation.....	72
11.2.1 Allgemeines.....	72
11.2.2 Allgemeine Dokumentation	72
11.2.3 Dokumentation für die Rotorblätter	72
11.2.4 Dokumentation für das mechanische System.....	73
11.2.5 Dokumentation für das elektrische und elektronische System.....	73
11.2.6 Dokumentation für Erdungs- und Potentialausgleichsanlagen.....	73
11.2.7 Dokumentation für die Blitzschutzanlagen der Gondelabdeckung, der Nabe und des Turmes	73
11.3 Standortspezifische Informationen.....	74
11.4 Für die Inspektion der BSA im Handbuch vorzulegende Dokumentation.....	74
11.5 Handbücher.....	74
12 Inspektion der Blitzschutzanlage.....	74
12.1 Umfang der Inspektion	74
12.2 Reihenfolge der Inspektionen.....	75
12.2.1 Allgemeines.....	75
12.2.2 Inspektion während der Herstellung der WEA.....	75
12.2.3 Inspektion während der Errichtung der WEA.....	75
12.2.4 Inspektion während der Inbetriebnahme der WEA und periodische Inspektionen.....	75
12.2.5 Inspektion nach der Demontage oder der Reparatur von Hauptteilen	76
12.3 Wartung.....	76
Anhang A (informativ) Blitzerscheinungen im Zusammenhang mit WEA.....	78
A.1 Blitzumgebung für WEA.....	78
A.1.1 Allgemeines.....	78
A.1.2 Eigenschaften von Blitzen.....	78
A.1.3 Entstehung der Blitzentladung und elektrische Parameter.....	78
A.1.4 Wolke-Erde-Blitze	79
A.1.4.1 Allgemeines.....	79
A.1.4.2 Negative Wolke-Erde-Blitze	79
A.1.4.3 Positive Wolke-Erde-Blitze.....	84
A.1.5 Aufwärts gerichtete Blitze.....	85
A.2 Blitzstromparameter in Abhängigkeit vom Einschlagpunkt.....	88
A.3 Blitzkanalstrom ohne Rückentladung.....	90

EN IEC 61400-24:2019

	Seite
A.4 Auswirkungen elektromagnetischer Blitzimpulse	90
Anhang B (informativ) Bewertung der Blitzeinwirkung	91
B.1 Allgemeines	91
B.2 Schätzmethode für die mittlere jährliche Anzahl von Blitzeinschlägen in WEA eines Windparks und Einschläge aufwärts gerichteter Blitze in WEA	91
B.2.1 Allgemeines	91
B.2.2 Ermittlungsmethode für die mittlere jährliche Anzahl von Blitzeinschlägen in WEA eines Windparks und Schätzung durch Anhebung des Standortfaktors zur Berücksichtigung von Einschlägen aufwärts gerichteter Blitze in WEA	91
B.2.3 Prozentualer Anteil von Aufwärtsblitzen in Windparks	95
B.3 Erläuterung der Begriffe	95
B.3.1 Schaden und Verlust	95
B.3.2 Zusammensetzung von Schadensrisiken.....	97
B.3.3 Abschätzung der Risikokomponenten.....	97
B.3.4 Schadenshäufigkeit	98
B.3.5 Abschätzung der Schadenswahrscheinlichkeit P_X	100
B.4 Abschätzung der Schadenswahrscheinlichkeiten für WEA.....	100
B.4.1 Wahrscheinlichkeit P_{AT} , dass ein Blitzeinschlag in eine WAE eine gefährliche Berührungs- und Schrittspannung verursachen wird	100
B.4.2 Wahrscheinlichkeit P_{AD} , dass ein Blitzeinschlag in die WEA eine Verletzung einer gefährdeten Person am Bauwerk verursacht.....	101
B.4.3 Wahrscheinlichkeit P_B , dass ein Blitzeinschlag in die WEA physische Schäden verursacht	102
B.4.4 Wahrscheinlichkeit P_C , dass ein Blitzeinschlag in die WEA den Ausfall innerer Systeme verursacht.....	103
B.4.5 Wahrscheinlichkeit P_M , dass ein Blitzeinschlag neben der WEA den Ausfall innerer Systeme verursacht.....	104
B.4.6 Wahrscheinlichkeit P_U , dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung die Verletzung von Menschen durch eine Berührungsspannung verursacht.....	104
B.4.7 Wahrscheinlichkeit P_V , dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung einen physischen Schaden verursacht.....	105
B.4.8 Wahrscheinlichkeit P_W , dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung einen Ausfall innerer Systeme verursacht	105
B.4.9 Wahrscheinlichkeit P_Z , dass ein Blitzeinschlag neben einer eingeführten Versorgungsleitung den Ausfall innerer Systeme verursacht.....	106
B.4.10 Wahrscheinlichkeit P_P , dass sich eine Person an einem gefährlichen Ort aufhält	107
B.4.11 Wahrscheinlichkeit P_e , dass eine Einrichtung einem Schadensereignis ausgesetzt wird	107
B.5 Abschätzung des Wertes des Verlustes L_X in einer WEA	107
B.5.1 Allgemeines	107
B.5.2 Mittlerer relativer Verlust je gefährliches Ereignis	107
Anhang C (informativ) Schutzverfahren für Rotorblätter	109

	Seite
C.1 Allgemeines	109
C.1.1 Arten von Rotorblättern und Schutzverfahren für Rotorblätter	109
C.1.2 Beschädigungsmechanismen an Rotorblättern	111
C.2 Schutzverfahren	111
C.2.1 Allgemeines	111
C.2.2 Blitzfangeinrichtungen an der Blattoberfläche oder in die Oberfläche eingebettet	112
C.2.3 Aufgeklebte Metallbänder und segmentierte Ableitstreifen	112
C.2.4 Innere Ableitungssysteme	113
C.2.5 Leitende Oberflächenwerkstoffe	113
C.3 Konstruktionsteile aus CFK	114
C.4 Besondere Aspekte leitender Bauteile	115
C.5 Auffangwirksamkeit	116
C.6 Auslegung von Blitzschutzanlagen	116
C.7 Übergang Rotorblatt – Nabe	119
C.8 Betriebseinsatz von WEA-Rotorblättern	119
C.8.1 Allgemeines	119
C.8.2 Anwendung	120
C.8.3 Betriebseinsatz	120
Anhang D (normativ) Prüfspezifikationen	121
D.1 Allgemeines	121
D.2 Hochspannungs-Einschlagprüfungen	121
D.2.1 Überprüfung der Wirksamkeit von Fangeinrichtungen	121
D.2.2 Erstblitz-Einschlagprüfung	121
D.2.2.1 Zweck der Prüfung	121
D.2.2.2 Prüfling	122
D.2.2.3 Prüfaufbau	122
D.2.2.4 Kurvenform der Prüfspannung	128
D.2.2.5 Messungen und Datenaufzeichnung	129
D.2.2.6 Prüfverfahren	129
D.2.2.7 Interpretation der Daten	130
D.2.2.8 Annahme-/Ablehnungskriterien	130
D.2.3 Prüfung nachfolgender Blitzeinschläge	131
D.2.3.1 Zweck der Prüfung	131
D.2.3.2 Prüfling	131
D.2.3.3 Prüfaufbau	131
D.2.3.4 Kurvenform der Prüfspannung	132
D.2.3.5 Messungen und Datenaufzeichnung	133
D.2.3.6 Prüfverfahren	133
D.2.3.7 Interpretation der Daten	134

EN IEC 61400-24:2019

	Seite
D.2.3.8 Annahme-/Ablehnungskriterien	134
D.3 Hochstrom-Zerstörungsprüfungen	135
D.3.1 Allgemeines	135
D.3.2 Lichtbogen-Eintrittsprüfung	135
D.3.2.1 Zweck der Prüfung	135
D.3.2.2 Prüflinge	135
D.3.2.3 Prüfaufbau	135
D.3.2.4 Kurvenformen des Prüfstromes	137
D.3.2.5 Messungen und Datenaufzeichnung	137
D.3.2.6 Prüfverfahren	138
D.3.2.7 Interpretation der Daten	139
D.3.2.8 Annahme-/Ablehnungskriterien	139
D.3.3 Prüfung des leitungsgeführten Stromes	140
D.3.3.1 Zweck der Prüfung	140
D.3.3.2 Prüfling	140
D.3.3.3 Prüfaufbau	140
D.3.3.4 Kurvenformen des Prüfstromes	140
D.3.3.5 Messungen und Datenaufzeichnung	141
D.3.3.6 Prüfverfahren	142
D.3.3.7 Interpretation der Daten	144
D.3.3.8 Annahme-/Ablehnungskriterien	144
Anhang E (informativ) Anwendung der Blitzumgebung und von Blitzschutzzonen (LPZ).....	145
E.1 Blitzumgebung für Rotorblätter	145
E.1.1 Anwendung	145
E.1.2 Beispiele für vereinfachte Bereiche der Blitzumgebung	145
E.1.3 Übergänge zwischen den Bereichen	147
E.2 Definition der Blitzschutzzonen für WEA (nicht für Rotorblätter).....	147
E.2.1 Allgemeines	147
E.2.2 LPZ 0	148
E.2.3 Weitere Zonen	149
E.2.4 Zonengrenzen	150
E.2.5 Anforderungen an Schutzzonen	151
Anhang F (informativ) Auswahl und Installation eines koordinierten Überspannungsschutzes in Windenergieanlagen.....	153
F.1 Anordnung von SPDs	153
F.2 Auswahl von SPDs	153
F.3 Installation von SPDs	153
F.4 Beanspruchung von SPDs durch die Umgebung	154
F.5 SPD-Zustandsanzeige und SPD-Überwachung bei einem SPD-Ausfall	155

	Seite
F.6 Auswahl von SPDs unter Berücksichtigung des Schutzpegels (U_p) und der Störfestigkeit auf Systemebene	155
F.7 Auswahl von SPDs unter Berücksichtigung von innerhalb der WEA erzeugten Überspannungen.....	155
F.8 Auswahl von SPDs unter Berücksichtigung von Entladungsstrom (I_n) und Stoßstrom (I_{imp})	155
Anhang G (informativ) Informationen zu Potentialausgleich, Schirmung und Installationsverfahren	157
G.1 Weitere Informationen zum Potentialausgleich.....	157
G.2 Weitere Informationen zu Schirmung und Installationsverfahren	158
Anhang H (informativ) Prüfverfahren für Störfestigkeitsprüfungen auf der Systemebene	161
Anhang I (informativ) Erdungsanlage	166
I.1 Allgemeines	166
I.1.1 Arten von Erdungsanlagen.....	166
I.1.2 Aufbau	166
I.1.2.1 Fundamenterder.....	166
I.1.2.2 Ringerder Typ B	167
I.1.2.3 Erder in felsigem Boden.....	168
I.2 Maße des Erders.....	168
I.2.1 Art der Anordnung.....	168
I.2.2 Frequenzabhängigkeit der Erdungsimpedanz	170
I.3 Gleichungen für den Erdungswiderstand für verschiedene Erderanordnungen.....	171
Anhang J (informativ) Beispiel für definierte Messpunkte	174
Anhang K (informativ) Klassifizierung von Blitzschäden auf der Basis des Risikomanagements	176
K.1 Allgemeines.....	176
K.2 Blitzschäden im Rotorblatt	176
K.2.1 Klassifizierung von Rotorblattschäden durch Blitzeinschläge.....	176
K.2.2 Mögliche Gründe für Rotorblattschäden durch Blitzeinschläge	178
K.2.3 Gegenmaßnahmen gegen Rotorblattschäden durch Blitze	178
K.3 Blitzschäden anderer Bauteile	180
K.3.1 Klassifizierung von Schäden durch Blitze an anderen Bauteilen.....	180
K.3.2 Gegenmaßnahmen gegen Blitzschäden an anderen Bauteilen	181
K.4 Typischer Fragebogen für Blitzschäden	181
K.4.1 Allgemeines.....	181
K.4.2 Beispiel für einen Fragebogen	181
Anhang L (informativ) Überwachungssysteme.....	185
Anhang M (informativ) Leitfaden für kleine WEA – Mikroerzeugung	188
Anhang N (informativ) Leitfaden für den Nachweis der Ähnlichkeit von Rotorblättern	189
N.1 Allgemeines.....	189
N.2 Grenzen der Ähnlichkeit.....	189
Anhang O (informativ) Leitfaden für die Überprüfung numerischer Auswertungsmethoden	192

EN IEC 61400-24:2019

	Seite
O.1 Allgemeines	192
O.2 Spannungs- und Stromverteilung im Rotorblatt	192
O.3 Analyse indirekter Auswirkungen	193
Anhang P (informativ) Prüfung von rotierenden Bauteilen	194
P.1 Allgemeines	194
P.2 Prüfling.....	194
P.2.1 Prüfling, der ein stationäres/quasistationäres Lager darstellt	194
P.2.2 Prüfling, der ein rotierendes Lager darstellt	194
P.3 Prüfaufbau	194
P.3.1 Prüfaufbau für ein stationäres/quasistationäres Lager.....	194
P.3.2 Prüfaufbau für ein rotierendes Lager.....	195
P.4 Prüfverfahren.....	196
P.5 Annahme-/Ablehnungskriterien	197
Anhang Q (informativ) Erdungsanlagen für Windparks	198
Literaturhinweise.....	199
Bilder	
Bild 1 – Einfangfläche der WEA.....	35
Bild 2 – Beispiel für die Einfangfläche eines Windparks (A_{DWF}) mit 10 WEA (schwarze Punkte) unter Berücksichtigung von Überlappungen	35
Bild 3 – Einfangfläche einer WEA der Höhe H_a und eines weiteren Bauwerkes der Höhe H_b , die durch ein Erdkabel der Länge L_c verbunden sind	38
Bild 4 – Beispiele für mögliche Schutzmaßnahmen gegen LEMP (SPM).....	55
Bild 5 – Verbindung von zwei LPZ 1 mit SPDs.....	56
Bild 6 – Verbindung von zwei LPZ 1 mit geschirmten Kabeln oder geschirmten Kabelkanälen	56
Bild 7 – Magnetisches Feld innerhalb eines Gehäuses durch ein langes Verbindungskabel vom Gehäuseeintritt zur SPD.....	59
Bild 8 – Weitere Schutzmaßnahmen	60
Bild 9 – Beispiele für die Anordnung von Überspannungsableitern für Hochspannung in zwei typischen elektrischen Hauptstromkreisen von WEA.....	64
Bild A.1 – Vorgänge bei der Ausbildung eines nach unten gerichteten Wolke-Erde-Blitzes.....	80
Bild A.2 – Typischer Verlauf eines negativen Wolke-Erde-Blitzes	81
Bild A.3 – Definition von Kurzentladungsparametern (gewöhnlich ist $T_2 < 2$ ms)	81
Bild A.4 – Definition von Langentladungsparametern (gewöhnlich ist 2 ms $< T_{long} < 1$ s).....	82
Bild A.5 – Mögliche Komponenten von Abwärtsblitzen (typisch für ebenes Gelände und niedrige Bauwerke)	84
Bild A.6 – Typischer Verlauf eines positiven Wolke-Erde-Blitzes.....	84
Bild A.7 – Vorgänge bei der Ausbildung eines nach oben gerichteten Wolke-Erde-Blitzes im Sommer und im Winter.....	85
Bild A.8 – Typischer Verlauf eines negativen, aufwärts gerichteten Blitzes.....	86

	Seite
Bild A.9 – Mögliche Komponenten von Aufwärtsblitzen (typisch für exponierte und/oder hohe Bauwerke)	88
Bild B.1 – Weltweite Winterblitzkarte auf der Basis von LLS-Daten und der Witterung	93
Bild B.2 – Detaillierte Winterblitzkarten auf der Basis von LLS-Daten und der Witterung	94
Bild B.3 – Beschreibung des Verhältnisses <i>h/d</i>	94
Bild C.1 – Bauarten von WEA-Rotorblättern	110
Bild C.2 – Blitzschutzkonzeptionen für große moderne WEA-Rotorblätter	112
Bild C.3 – Spannungen zwischen Blitzstrompfad und Messfühlerleitung durch gegenseitige Kopplung und die Impedanz des Strompfades	115
Bild D.1 – Beispiel für Prüfaufbau A für die Erstblitz-Einschlagprüfung	123
Bild D.2 – Mögliche Ausrichtungen für Prüfaufbau A für Erstblitz-Einschlagprüfungen	124
Bild D.3 – Festlegung der Längsachse des Rotorblattes bei Blitzeinschlagprüfungen	125
Bild D.4 – Beispiel für die Anwendung von Winkeln bei der Hochspannungsprüfung	125
Bild D.5 – Beispiel für einen Blitzkanal-Verbindungspunkt entfernt vom Prüfling	126
Bild D.6 – Prüfaufbau B für die Erstblitz-Einschlagprüfung	127
Bild D.7 – Typischer Schaltstoßspannungsanstieg bis zum Überschlag (100 µs je Teilstrich)	128
Bild D.8 – Anordnung für die Prüfung nachfolgender Blitzeinschläge	132
Bild D.9 – Kurvenform der Blitzstoßspannung	132
Bild D.10 – An der Wellenfront abgeschnittene Blitzstoßspannung	133
Bild D.11 – Positionen der Hochspannungselektrode für die Prüfung nachfolgender Blitzeinschläge	134
Bild D.12 – Hochstrom-Prüfanordnung für die Lichtbogen-Eintrittsprüfung	136
Bild D.13 – Typische Strahlableitungselektroden	137
Bild D.14 – Beispiel für eine Anordnung für Prüfungen des leitungsgeführten Stromes	142
Bild E.1 – Beispiele für eine allgemeingültige Definition der Blitzumgebung für Rotorblätter	146
Bild E.2 – Anwendung der Blitzkugelmethode für WEA	149
Bild E.3 – Geflecht mit großer Maschenweite für Gondeln mit GFK-Verkleidung	150
Bild E.4 – Geflecht mit kleiner Maschenweite für Gondeln mit GFK-Verkleidung	150
Bild E.5 – Zwei Schränke, die beide als LPZ 2 festgelegt und über die Schirmung eines geschirmten Kabels miteinander verbunden sind	151
Bild E.6 – Beispiel für die Unterteilung von WEA in verschiedene Blitzschutzzonen	152
Bild E.7 – Beispiel dafür, wie ein SPM-System durch Unterteilung des elektrischen Systems in Schutz-zonen zu dokumentieren ist, mit der Angabe, an denen die Stromkreise die LPZ-Grenzen überqueren, und mit der Darstellung langer Kabel, die zwischen Turmfuß und Gondel verlaufen	152
Bild F.1 – Punkt-zu-Punkt-Installationsplan	154
Bild F.2 – Installationsplan der Erdungsverbindungen	154
Bild G.1 – Zwei Steuerschränke, die auf unterschiedlichen metallischen Ebenen innerhalb einer Gondel angeordnet sind	157
Bild G.2 – Mechanismus der magnetischen Kopplung	158
Bild G.3 – Messung der Transferimpedanz	160
Bild H.1 – Beispielstromkreis für die SPD-Entladungsstromprüfung unter Betriebsbedingungen	162

EN IEC 61400-24:2019

	Seite
Bild H.2 – Typischer Prüfaufbau für die Einspeisung von Prüfstrom.....	164
Bild H.3 – Beispielstromkreis für die Induktionsprüfung für Blitzströme.....	165
Bild I.1 – Mindestlänge l_1 jedes Erders entsprechend der BSA-Schutzklasse	169
Bild I.2 – Frequenzabhängigkeit der Erdungsimpedanz.....	170
Bild J.1 – Beispiel für Messpunkte.....	174
Bild K.1 – Übersicht über die empfohlenen Gegenmaßnahmen nach der Klassifizierung der Vorfälle	179
Bild K.2 – Rotorblattumrisse für die Markierung der Schadensstellen	184
Bild N.1 – Definierte Benennungen für das Rotorblattprofil.....	191
Bild O.1 – Beispielgeometrie für Simulationen der Spannungs- und Stromverteilung in Rotorblättern	192
Bild O.2 – Beispielgeometrie für Simulationen indirekter Auswirkungen auf die Gondel.....	193
Bild P.1 – Möglicher Prüfaufbau für ein Pitch-Lager.....	194
Bild P.2 – Mögliche Einspeisung des Prüfstromes in ein Pitch-Lager.....	195
Bild P.3 – Möglicher Prüfaufbau für ein Hauptlager	196
Bild P.4 – Beispielmessung des Reihenwiderstandes des Prüflings.....	197
Tabellen	
Tabelle 1 – Größtwerte von Blitzparametern nach dem Gefährdungspegel (LPL) (nach IEC 62305-1)	30
Tabelle 2 – Kleinstwerte von Blitzparametern und entsprechender Blitzkugelradius nach dem Gefährdungspegel (LPL) (nach IEC 62305-1)	31
Tabelle 3 – Einfangflächen A_L und A_I der Versorgungsleitung in Abhängigkeit von der Verlegungsart, Freileitung oder Erdverlegung.....	38
Tabelle 4 – Parameter für die Bewertung von Risikokomponenten für WEA (nach IEC 62305-2)	41
Tabelle 5 – Verifizierung von Lager- und Lagerschutzkonzepten	50
Tabelle 6 – Allgemeine Inspektionsabstände der BSA.....	76
Tabelle A.1 – Stromparameter eines Wolke-Erde-Blitzes	83
Tabelle A.2 – Stromparameter von aufwärts gerichteten Blitzen	87
Tabelle A.3 – Zusammenfassung der Blitzgefährdungsparameter, die für die Berechnung der Prüfwerte für die verschiedenen Komponenten der BSA und für die verschiedenen LPL zu betrachten sind	89
Tabelle B.1 – Empfohlene Werte für einzelne Standortfaktoren	92
Tabelle B.2 – Bereich der Aufwärtsblitzaktivität in Abhängigkeit von der Winterblitzaktivität für Windparks in einem flachen Gelände.....	95
Tabelle B.3 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_A , dass ein Blitzeinschlag in eine WEA dazu führt, dass Menschen einen elektrischen Schlag durch gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen erleiden (nach IEC 62305-2).....	100
Tabelle B.4 – Werte des Reduktionsfaktors r_1 in Abhängigkeit von der Art der Oberfläche des Erdbodens oder Fußbodens (nach IEC 62305-2)	101
Tabelle B.5 – Werte des Faktors P_o , der der Position einer Person im exponierten Bereich entspricht (nach IEC 62305-2)	101
Tabelle B.6 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LPS} , die von den Schutzmaßnahmen zum Schutz der exponierten Bereiche der WEA gegen direkten Blitzeinschlag und zur Verringerung physischer Schäden abhängt (nach IEC 62305-2)	102

Tabelle B.7 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_S , dass ein Blitzeinschlag in eine WEA zu einer gefährlichen Funkenbildung führt (nach IEC 62305-2)	102
Tabelle B.8 – Werte des Reduktionsfaktors r_p in Abhängigkeit von vorgesehenen Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes (nach IEC 62305-2)	103
Tabelle B.9 – Werte des Reduktionsfaktors r_f in Abhängigkeit vom Brandrisiko einer WEA (nach IEC 62305-2)	103
Tabelle B.10 – Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LI} in Abhängigkeit von der Leitungsart und von der Steh-Stoßspannung U_W der Einrichtung (nach IEC 62305-2)	107
Tabelle B.11 – Verlust für jede Zone (nach IEC 62305-2)	108
Tabelle B.12 – Typische Mittelwerte für L_T , L_D , L_F und L_O (nach IEC 62305-2)	108
Tabelle C.1 – Werkstoff, Form und kleinster Nennquerschnitt von Fangleitungen, Fangstangen, Erdeinführungen und Ableitungen ^a (nach IEC 62305-3)	117
Tabelle C.2 – Physikalische Eigenschaften üblicher Werkstoffe für den Einsatz in BSA (nach IEC 62305-1)	118
Tabelle C.3 – Erwärmung [K] von unterschiedlichen Leitern in Abhängigkeit von WIR (nach IEC 62305-1)	119
Tabelle C.4 – Bereich der Verteilung direkter Blitzeinschläge bei Einsatzaktionen, bei denen Daten über die Verteilung von Einschlägen in Abhängigkeit vom Abstand von der Blattspitze bei 39 m bis 45 m langen WEA-Rotorblättern mit und ohne CFK erfasst wurden	120
Tabelle D.1 – Prüfstromparameter für LPL I	138
Tabelle D.2 – Prüfstromparameter für die Prüfung der Einwirkung von Winterblitzen (Dauer höchstens 1 s)	139
Tabelle D.3 – Prüfstromparameter für LPL I	143
Tabelle D.4 – Prüfstromparameter für LPL I (für flexible Pfade)	143
Tabelle D.5 – Prüfstromparameter für die Prüfung der Einwirkung von Winterblitzen (Dauer höchstens 1 s)	144
Tabelle E.1 – Definition der Rotorblattbereiche für das Beispiel in Konzeption A	147
Tabelle E.2 – Definition der Rotorblattbereiche für das Beispiel in Konzeption B	147
Tabelle E.3 – Definition der Blitzschutzzone nach IEC 62305-1	148
Tabelle F.1 – Entladungs- und Stoßstrompegel für TN-Systeme nach IEC 60364-5-53	156
Tabelle F.2 – Beispiele für erhöhte Entladungs- und Stoßstrompegel für TN-Systeme	156
Tabelle I.1 – Impulswirkungsgrad für verschiedene Anordnungen von Tiefenerdern, bezogen auf einen senkrechten Tiefenerder mit 12 m Länge (100 %)	171
Tabelle I.2 – In den Tabellen I.3 bis I.6 verwendete Symbole	171
Tabelle I.3 – Gleichungen für verschiedene Erderanordnungen	172
Tabelle I.4 – Gleichungen für erdverlegte Ringerder in Kombination mit Vertikalerdern	172
Tabelle I.5 – Gleichungen für erdverlegte Ringerder in Kombination mit Strahlenerdern	173
Tabelle I.6 – Gleichungen für erdverlegte gerade Horizontalerder in Kombination mit Vertikalerdern	173
Tabelle J.2 – Messpunkte und aufzuzeichnende Widerstände	175
Tabelle K.1 – Klassifizierung von Rotorblattschäden durch Blitzeinschläge	177
Tabelle K.2 – Matrix der Rotorblattschäden durch Blitze unter Berücksichtigung des Risikomanagements	180

EN IEC 61400-24:2019

	Seite
Tabelle K.3 – Klassifizierung von Schäden durch Blitzeinschläge in anderen Bauteilen.....	181
Tabelle L.1 – Merkmale für Weitbereichs-Blitzortungssysteme	185
Tabelle L.2 – Merkmale für aktive örtliche Blitzortungssysteme	186
Tabelle L.3 – Merkmale für passive örtliche Blitzortungssysteme.....	186
Tabelle N.1 – Zur Beurteilung der Ähnlichkeit zu prüfende und nachzuweisende Aussagen.....	190
Tabelle P.1 – Prüffolge für die Hochstromprüfung von rotierenden Komponenten.....	197

Copyright OVE

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 61400 gilt für den Blitzschutz von Windenergieanlagen und Windkraftanlagen. Ein Leitfaden für kleine Windenergieanlagen kann Anhang M entnommen werden.

Dieses Dokument legt die Blitzzumgebung für Windenergieanlagen und die Risikobewertung für Windenergieanlagen in dieser Umgebung fest. Es werden Anforderungen an den Schutz von Rotorblättern, anderen Konstruktionselementen sowie elektrischen Systemen und Betriebsführungssystemen sowohl gegen direkte als auch indirekte Auswirkungen von Blitzen festgelegt. Außerdem sind Prüfverfahren zum Nachweis der Einhaltung der Anforderungen enthalten.

Es sind Leitlinien für die Anwendung geltender Normen für den Blitzschutz, von elektrotechnischen Industrienormen und EMV-Normen einschließlich der Erdung angegeben.

Außerdem Leitlinien für die Sicherheit von Personen bereitgestellt.

Die Norm enthält Leitlinien für Schadensstatistiken und -berichte.

Die Norm enthält normative Verweisungen auf Fachgrundnormen für den Blitzschutz sowie für Niederspannungs- und Hochspannungssysteme für Maschinen und Anlagen und für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60364-4-44, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60364-5-53, *Electrical installations of buildings – Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment – Isolation, switching and control*

IEC 60364-5-54, *Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors*

IEC 60364-6, *Low-voltage electrical installations – Part 6: Verification*

IEC TS 60479-1, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC TR 60479-4, *Effects of current on human beings and livestock – Part 4: Effects of lightning strokes*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 61000 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC 61000-4-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-9: Testing and measurement techniques – Impulse magnetic field immunity test*

IEC 61000-4-10, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic field immunity test*