

**Windenergieerzeugungsanlagen –
Teil 21-1: Messung und Bewertung der elektrischen Kennwerte –
Windenergieanlagen**

Inhalt		Seite
Einleitung		5
1 Anwendungsbereich		6
2 Normative Verweisungen		6
3 Begriffe		7
4 Kurzzeichen und Einheiten		15
5 Abkürzungen		18
6 Spezifikation der Windenergieanlage		19
7 Prüfbedingungen und Prüfsysteme		19
7.1 Allgemeines		19
7.1.1 Übersicht über die geforderten Prüfniveaus		19
7.2 Gültigkeit der Prüfung		20
7.3 Prüfbedingungen		21
7.4 Prüfeinrichtung		22
8 Messung und Prüfung der elektrischen Kennwerte		24
8.1 Allgemeines		24
8.1.1 Beobachtung der Wirkleistung als Funktion der Windgeschwindigkeit		24
8.2 Aspekte der Spannungsqualität		25
8.2.1 Flicker		25
8.2.2 Schaltvorgänge		28
8.2.3 Oberschwingungen, Zwischenharmonische und Anteile höherer Frequenzen		30
8.3 Stationärer Betrieb		32
8.3.1 Maximalleistung		32
8.3.2 Blindleistungsfähigkeit		34
8.4 Regelverhalten		36
8.4.1 Wirkleistungsregelung		36
8.4.2 Begrenzung der Anstiegsgeschwindigkeit der Wirkleistung		37
8.4.3 Frequenzregelung		40
8.4.4 Synthetische Trägheit		42
8.4.5 Blindleistungsregelung		44
8.5 Dynamisches Betriebsverhalten		47
8.5.1 Netzstützung im Fehlerfall		47
8.5.2 Unterspannungsereignisse		51
8.5.3 Überspannungsereignisse		53
8.6 Netzschutz		55

	Seite
8.6.1 Beschreibung.....	55
8.6.2 Prüfverfahren.....	55
8.6.3 Wiederanschlusszeit	59
8.6.4 Prüfung der Schutzeinrichtung für die Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz RoCoF (df/dt)	59
Anhang A (informativ) Prüfung der elektrischen Kennwerte nach IEC 61400-21-1	61
Anhang B (informativ) Spannungsschwankungen und Flicker	89
B.1 Dauerbetrieb.....	89
B.2 Schaltvorgänge.....	89
B.3 Nachweisprüfung des Messverfahrens für den Flicker	90
B.3.1 Leistungsprüfung des fiktiven Netzes.....	92
B.3.2 Verzerrte Spannung $u_m(t)$ mit mehreren Nulldurchgängen	92
B.3.3 Verzerrte Spannung $u_m(t)$ mit Modulation durch Zwischenharmonische	92
B.3.4 Langsame Frequenzänderungen	93
B.4 Herleitung der Definitionen	94
B.4.1 Flickerbeiwert	94
B.4.2 Flickerformfaktor.....	94
B.4.3 Spannungsänderungsfaktor	95
Anhang C (normativ) Messung von Wirkleistung, Blindleistung und Spannung	96
C.1 Allgemeines	96
C.2 Erzeugerzählpeilsystem	96
C.3 Berechnung von Mit-, Gegen- und Nullsystemgrößen	97
C.3.1 Zeigerberechnungen	97
C.3.2 Berechnung der Mitsystemgrößen mit den Zeigerkomponenten	100
B.3.3 Berechnung der Gegensystemgrößen mit den Zeigerkomponenten	101
C.3.4 Berechnung der Nullsystemgrößen mit den Zeigerkomponenten.....	102
Anhang D (informativ) Bewertung von Oberschwingungen	103
D.1 Einleitung.....	103
D.2 Allgemeine Analyseverfahren.....	103
D.2.1 Oberschwingungsspannungen.....	103
D.2.2 Phasenwinkel und Größe von Oberschwingungen	103
D.2.3 Statistische Analyse	107
D.2.4 Einstellung der Abtastrate	107
D.3 Bestimmung der Verzerrung der Hintergrund-Oberschwingungsspannung	107
D.3.1 Tägliche Schwankungen von Oberschwingungsspannung und -strom	107
D.3.2 Abschalten benachbarter WEA oder Lasten	108
D.3.3 Oberschwingungen von Strom und Spannung über der Leistung	108
D.3.4 Messung an einer Standardquelle.....	110

	Seite
D.3.5 Leistungsfluss von Oberschwingungen + Spannungsmessung, Phasenwinkel	110
D.3.6 Spannungsoberschwingungen mit und ohne Betrieb der geprüften WEA.....	111
D.3.7 Messung an verschiedenen Standorten	112
D.4 Bestimmung der durch Raumharmonische beeinflussten Oberschwingungsamplitude an DFAG-Systemen	112
Anhang E (informativ) Bewertung der Spannungsqualität von Windenergieanlagen	114
E.1 Allgemeines.....	114
E.2 Spannungsschwankungen	114
E.2.1 Allgemeines.....	114
E.2.2 Dauerbetrieb.....	115
E.2.3 Schaltvorgänge	115
E.3 Oberschwingungen, Zwischenharmonische und Anteile höherer Frequenzen	116
Anhang F (informativ) Leitfaden für die Übertragbarkeit der Prüfergebnisse auf andere WEA-Varianten derselben Produktplattform	118
 Bilder	
Bild 1 – Beispiel der Sprungantwort	14
Bild 2 – Beschreibung des Messsystems mit den wichtigsten Komponenten	23
Bild 3 – Wirkleistung als Funktion der Windgeschwindigkeit (Beispiel)	24
Bild 4 – Fiktives Netz zur Nachbildung der fiktiven Spannung.....	25
Bild 5 – Beispieldiagramm für die PQ Fähigkeit bei einer bestimmten Spannung auf WEA-Niveau	34
Bild 6 – Einstellung des Wirkleistungs-Sollwertes.....	36
Bild 7 – Verfügbare Wirkleistung und Wirkleistung bei Begrenzung der Anstiegsgeschwindigkeit	38
Bild 8 – Beispiel einer Wirkleistungsregelfunktion $P = f(f)$ mit den verschiedenen Messpunkten und den zugehörigen Stufen der Frequenz	41
Bild 9 – Synthetische Trägheit – Festlegungen.....	44
Bild 10 – Prüfung der Genauigkeit	45
Bild 11 – Prüfung des dynamischen Ansprechverhaltens (Beispiel).....	45
Bild 12 – Beispiel einer UVRT-Prüfeinrichtung.....	48
Bild 13 – Toleranzen der Mitsystemspannung für das Unterspannungsereignis bei freigeschalteter, zu prüfender WEA.....	49
Bild 14 – Toleranz der Mitsystemspannung für das Überspannungsereignis.....	50
Bild 15 – Beispiel einer OVRT-Prüfeinrichtung mit Kondensator	51
Bild 16 – Beispiel eines Diagramms für die Unterspannungsprüfung.....	52
Bild 17 – Beispiel einer Überspannungsleistungskurve	54
Bild 18 – Beispiel eines stufenförmigen Anstiegsvorgangs für die Prüfung bei Überspannung oder -frequenz	57
Bild 19 – Beispiel eines impulsförmigen Anstiegsvorgangs für die Prüfung bei Überspannung oder -frequenz	58
Bild 20 – Beispiel von Prüfpegeln zur Bestimmung der Auslösezeit für Überspannung oder -frequenz „Prüfung des Auslösestromkreises“	58
Bild B.1 – Messverfahren für den Flicker während des Dauerbetriebs der WEA	89

	Seite
Bild B.2 – Messverfahren für Spannungsänderungen und für den Flicker während Schaltvorgängen der WEA	90
Bild C.1 – Positive Richtungen von Wirkleistung, Blindleistung, Phasenwinkel der Spannungen und Phasenwinkel der Ströme mit Erzeugerzählpeilsystem	96
Bild C.2 – Beispiele für Zeigerdiagramme der Leistung entsprechend dem Erzeugerzählpeilsystem in jedem Quadranten mit den zugehörigen Phasenwinkeln von Spannung und Strom.....	97
Bild D.1 – Definition der Phasenwinkel der Spektrallinie im Erzeugerzählpeilsystem. (Oberschwingung 5. Ordnung mit $\alpha_{15} = + 120^\circ$ und $\alpha_{U5} = + 170^\circ$ dargestellt als ein Beispiel, der Oberschwingungsphasenwinkel 5. Ordnung beträgt damit $\varphi_5 = + 170^\circ - 120^\circ = + 50^\circ$).....	104
Bild D.2 – Vergleich der zusammengefassten Oberschwingungsamplitude (gepunktet) und nicht zusammengefasster Amplitude (gestrichelt) , direkt aus der DFT mit 10-Perioden-Fenster, 10-s-Zusammenfassung.....	105
Bild D.3 – Vergleich des Hauptwinkelverhältnis (en: prevailing angle ratio – PAR) zwischen (a) einer Oberschwingung C1 mit kleiner Amplitude, die durch Unsicherheiten des Messsystems beeinflusst ist, (b) präzise geschätzte Oberschwingung C2 mit fester Phase, (c) Frequenzanteil bei der Oberschwingungsfrequenz, der nicht an die Grundschwingungsfrequenz des Netzes gekoppelt ist	106
Bild F.1 – Blockdiagramm für eine generische WEA (Quelle: IEC 61400-27).....	119
Tabellen	
Tabelle 1 – Übersicht über die geforderten Prüfniveaus	20
Tabelle 2 – Spezifikation von Anforderungen an die Messeinrichtung.....	23
Tabelle 3 – Beispiel von 10-min-Zeitreihen je Windgeschwindigkeits-Bin	24
Tabelle 4 – 95. Perzentile je Leistungs-Bin	28
Tabelle 5 – Gemessenen Werte der höchsten Wirkleistung	33
Tabelle 6 – Genauigkeit der Sollwert-Führungswerte der Wirkleistung	36
Tabelle 7 – Berechnung der Anstiegsgeschwindigkeit der Wirkleistung	38
Tabelle 8 – Beispiel für Frequenz, Wirkleistung und Wirkleistungsgradient für die 8 Prüfstufen (Beispiel).....	41
Tabelle 9 – Prüfung der Genauigkeit.....	46
Tabelle 10 – Prüfung des dynamischen Ansprechverhaltens	46
Tabelle 11 – Beispiele von Unterspannungsereignissen	52
Tabelle 12 – Beispiele von Überspannungsereignissen.....	54
Tabelle 13 – Prüfungen zum Netzschutz.....	56
Tabelle B.1 – Bei den Nachweisprüfungen verwendete Nennwerte der WEA.....	90
Tabelle B.2 – Relative Schwankungen des Eingangsstroms ΔIII für den Flickerbeiwert	91
Tabelle B.3 – Relative Schwankungen des Eingangsstroms ΔIII für den Flickerbeiwert	91
Tabelle B.4 – Prüfspezifikation für die verzerrte Spannung mit mehreren Nulldurchgängen.....	92
Tabelle F.1	119