

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	12
2 Normative Verweisungen	12
3 Begriffe, Abkürzungen und Indizes	12
3.1 Begriffe	12
3.2 Abkürzungen und Indizes	16
3.2.1 Abkürzungen	16
3.2.2 Indizes	17
4 Symbole und Einheiten	18
4.1 Allgemeines	18
4.2 Symbole (Einheiten)	18
5 Spezifikation von Modellen	20
5.1 Überblick	20
5.2 Allgemeine Spezifikationen	21
5.3 Schnittstelle der Modelle	23
5.4 Parameter und Initialisierung	23
5.4.1 Allgemeines	23
5.4.2 Parameterkategorien	24
5.4.3 Globale Parameter	24
5.4.4 Initialisierung	24
5.5 Modulare Struktur von Modellen	25
5.5.1 Generische modulare Struktur	25
5.5.2 Typ 1	25
5.5.3 Typ 2	28
5.5.4 Typ 3	30
5.5.5 Typ 4	33
5.6 Modulbibliothek	37
5.6.1 Aerodynamische Modelle	37
5.6.2 Mechanische Modelle	39
5.6.3 Generatorsatzmodelle	40
5.6.4 Elektrische Einrichtungen	45
5.6.5 Regelmodelle	45
5.6.6 Netzschutzmodell	58
6 Spezifikation des Validierungsverfahrens	60
6.1 Überblick	60
6.2 Allgemeine Spezifikationen	60
6.3 Validierungsverfahren	62

	Seite
6.3.1 Spannungseinbrüche	62
6.3.2 Referenzpunktänderungen.....	66
6.3.3 Netzschutz.....	67
Anhang A (informativ) Validierungsprüfdokumente	69
A.1 Allgemeines	69
A.2 Informationen zum Simulationsmodell und zur Durchführung der Validierung.....	69
A.3 Vorlage für die Ergebnisse der Validierungsprüfung.....	70
A.3.1 Allgemeines	70
A.3.2 Spannungseinbrüche.....	70
A.3.3 Referenzpunktänderungen.....	70
A.3.4 Netzschutz.....	71
Anhang B (normativ) Grenzen der möglichen Genauigkeit der Modelle	72
B.1 Allgemeines	72
B.2 Zwangsläufige Simulationsfehler.....	72
B.3 Messfehler	72
Anhang C (normativ) Kritisch gedämpftes Digital-Tiefpassfilter zweiter Ordnung	74
Anhang D (informativ) Vereinfachtes Modell der WKW-Ebene.....	75
D.1 Allgemeines	75
D.2 Anwendungsbereich.....	75
D.3 Beschreibung des Modells des Spannungs- und Blindleistungsreglers	75
D.4 Beschreibung des Modells des Frequenz- und Wirkleistungsreglers	77
Anhang E (informativ) Zweidimensionales aerodynamisches Modell	79
E.1 Zweck	79
E.2 Modellansatz	79
E.3 Anpassung der Modellparameter	80
E.4 Anwendungsfälle	82
E.4.1 Allgemeines	82
E.4.2 Anwendungsfälle einer Stabilitätsuntersuchung	82
E.4.3 Anwendungsfälle der Validierung.....	83
E.5 Initialisierung des Modells bei leistungsgeminderten Bedingungen.....	83
Anhang F (informativ) Generische Softwareschnittstelle für die Anwendung von Modellen in verschiedenen Softwareumgebungen.....	84
F.1 Beschreibung des Ansatzes.....	84
F.2 Beschreibung der Softwareschnittstelle	85
F.2.1 Beschreibung der Datenstrukturen.....	85
F.2.2 Funktionen für die Kommunikation über die ESE-Schnittstelle.....	87
F.2.3 Eingangswerte, Ausgangswerte, Parameter	88
Anhang G (normativ) Bibliothek der Blocksymbole	89
G.1 Allgemeines	89

	Seite
G.2 Verzögerung des Zeitschritts	89
G.3 Unabhängiger Begrenzer der Rampengeschwindigkeit	89
G.4 Filter erster Ordnung mit absoluten Grenzen, Geschwindigkeitsgrenzen und Freeze-Flag	90
G.5 Wertetabelle	91
G.6 Komparator.....	91
G.7 Zeitglied.....	91
G.8 Anti-Windup-Integrator	92
G.9 Integrator mit Rückstellung	93
G.10 Filter erster Ordnung mit Grenzwerterkennung	93
G.11 Verzögerungs-Flag.....	94
G.12 Erkennung ansteigender Flanken	94
Literaturhinweise	96
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	98

Bilder

Bild 1 – Einteilung der Netzstabilität nach der IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions.....	9
Bild 2 – Beispiel für eine Sprungantwort	14
Bild 3 – Allgemeine Schnittstelle zwischen WEA-Modell, Netzmodell und WKW-Modell.....	23
Bild 4 – Allgemeine Schnittstelle für die Initialisierung von WEA-Modell, WKW-Modell und Netzmodell	24
Bild 5 – Generische modulare Struktur von WEA-Modellen	25
Bild 6 – Elektrische und mechanische Hauptkomponenten von WEAs des Typs 1	26
Bild 7 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 1A.....	26
Bild 8 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 1B.....	27
Bild 9 – Elektrische und mechanische Hauptkomponenten von WEAs des Typs 2	28
Bild 10 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 2	29
Bild 11 – Modulare Struktur des Regelmodells des Typs 2	29
Bild 12 – Elektrische und mechanische Hauptkomponenten von WEAs des Typs 3	30
Bild 13 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 3	31
Bild 14 – Modulare Struktur des Regelmodells des Typs 3	32
Bild 15 – Elektrische und mechanische Hauptkomponenten von WEAs des Typs 4	33
Bild 16 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 4A.....	34
Bild 17 – Modulare Struktur des Regelmodells des Typs 4A.....	35
Bild 18 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 4B.....	36
Bild 19 – Modulare Struktur des Regelmodells des Typs 4B.....	36
Bild 20 – Signalfussplan für das Modell mit konstantem aerodynamischem Drehmoment	37
Bild 21 – Signalfussplan für das eindimensionale aerodynamische Modell.....	38
Bild 22 – Signalfussplan für das zweidimensionale aerodynamische Modell	39

	Seite
Bild 23 – Signalfussplan für das Zwei-Massen-Modell	40
Bild 24 – Signalfussplan für das Generatorsatzmodell des Typs 3A.....	41
Bild 25 – Signalfussplan für das Generatorsatzmodell des Typs 3B.....	43
Bild 26 – Signalfussplan für das Generatorsatzmodell des Typs 4	44
Bild 27 – Signalfussplan für das Wechselmodell des Referenzrahmens	45
Bild 28 – Signalfussplan für das Modell der Leistungsregelung über den Blatteinstellwinkel	46
Bild 29 – Signalfussplan für das Regelmodell des Blatteinstellwinkels	47
Bild 30 – Signalfussplan für das Regelmodell des Läuferwiderstands	48
Bild 31 – Signalfussplan für das Modell der P-Regelung des Typs 3.....	50
Bild 32 – Signalfussplan für eine PI-Regelung des Drehmoments des Typs 3.....	50
Bild 33 – Signalfussplan für das Modell der P-Regelung des Typs 4A	51
Bild 34 – Signalfussplan für das Modell der P-Regelung des Typs 4B	52
Bild 35 – Signalfussplan für das Modell der Q-Regelung	54
Bild 36 – Signalfussplan für die Strombegrenzung.....	56
Bild 37 – Signalfussplan für das Konstant-Q-Begrenzungsmodell	57
Bild 38 – Signalfussplan für das QP- und QU-Begrenzungsmodell	57
Bild 39 – Signalfussplan für das Netzschutzsystem	59
Bild 40 – Signalfussplan für die Spannungs-Frequenz-Messung.....	59
Bild 41 – Signalverarbeitungsstruktur für die „Rückkopplungs“-Methode	63
Bild 42 – Signalverarbeitungsstruktur für die Methode der „Simulation des gesamten Netzes“	63
Bild 43 – Fenster für einen Spannungseinbruch	65
Bild D.1 – Signalfussplan für WEA-Blindleistungsregler.....	77
Bild D.2 – Signalfussplan für den WEA-Wirkleistungsregler	78
Bild E.1 – Aerodynamische Leistung als Funktion des Blatteinstellwinkels θ und der Windgeschwindigkeit v	80
Bild E.2 – Partielle Ableitung der Leistung bezogen auf eine Änderung der Rotordrehzahl $\partial p_{aero} / \partial \omega_{WTR}$ als Funktion des Blatteinstellwinkels θ und der Windgeschwindigkeit v	80
Bild E.3 – Partielle Ableitung der Leistung bezogen auf den Blatteinstellwinkel dp_{θ} als Funktion des Blatteinstellwinkels θ	80
Bild E.4 – Partielle Ableitung der Leistung bezogen auf eine Änderung der Rotordrehzahl dp_{ω} als Funktion der Windgeschwindigkeit v für 1 p.u. (Volllinie) und 0,5 p.u. (gestrichelte Linie) der Wirkleistung	80
Bild E.5 – Näherung der aerodynamischen Leistung als Funktion der Windgeschwindigkeit	82
Bild E.6 – Näherung des Blatteinstellwinkels als Funktion der Windgeschwindigkeit.....	82
Bild F.1 – Simulationsablauf bei Nutzung der ESE-Schnittstelle.....	88
Bild G.1 – Blocksymbol für die Verzögerung eines einzelnen Integrationszeitschritts.....	89
Bild G.2 – Blocksymbol für einen unabhängigen Begrenzer der Rampengeschwindigkeit.....	89
Bild G.3 – Signalfussplan für die Implementierung des unabhängigen Begrenzers der Rampengeschwindigkeit.....	90
Bild G.4 – Blocksymbol für einen Filter erster Ordnung mit absoluten Grenzen, Geschwindigkeitsgrenzen und Freeze-Flag	90

	Seite
Bild G.5 – Signalflussplan für die Implementierung eines Filters erster Ordnung mit absoluten Grenzen, Geschwindigkeitsgrenzen und Freeze-Flag.....	90
Bild G.6 – Signalflussplan für die Implementierung des Freeze-Zustands ohne Filter ($T = 0$)	91
Bild G.7 – Blocksymbol für eine Wertetabelle	91
Bild G.8 – Blocksymbole für Komparatoren	91
Bild G.9 – Blocksymbol für ein Zeitglied.....	91
Bild G.10 – Funktion des Zeitglieds.....	92
Bild G.11 – Blocksymbol für einen Anti-Windup-Integrator	92
Bild G.12 – Signalflussplan für die Implementierung eines Anti-Windup-Integrators.....	93
Bild G.13 – Blocksymbol für einen Integrator mit Rückstellung	93
Bild G.14 – Blocksymbol für ein Filter erster Ordnung mit Grenzwerterkennung	93
Bild G.15 – Blocksymbol für die Implementierung des Filters erster Ordnung mit Grenzwerterkennung.....	94
Bild G.16 – Blocksymbol für ein Verzögerungs-Flag.....	94
Bild G.17 – Signalflussplan für die Implementierung eines Verzögerungs-Flags	94
Bild G.18 – Blocksymbol für die Erkennung ansteigender Flanken	95
Bild G.19 – Signalflussplan für die Erkennung ansteigender Flanken	95
 Tabellen	
Tabelle 1 – Globale WEA-Modellparameter.....	24
Tabelle 2 – Initialisierungsvariablen, die in Signalflussplänen von Modellen auf jeden Fall angewendet werden.....	25
Tabelle 3 – Im Modell des Typs 1A benutzte Module	27
Tabelle 4 – Im Modell des Typs 1B benutzte Module	28
Tabelle 5 – Im Modell des Typs 2 benutzte Module.....	30
Tabelle 6 – Im Modell des Typs 3 benutzte Module.....	33
Tabelle 7 – Im Modell des Typs 4A benutzte Module	35
Tabelle 8 – Im Modell des Typs 4B benutzte Module	37
Tabelle 9 – Parameterliste für das eindimensionale aerodynamische Modell.....	38
Tabelle 10 – Parameterliste für das zweidimensionale aerodynamische Modell.....	38
Tabelle 11 – Parameterliste für das Zwei-Massen-Modell	39
Tabelle 12 – Parameterliste für das Generatorsatzmodell des Typs 3A.....	41
Tabelle 13 – Parameterliste für das Generatorsatzmodell des Typs 3B.....	42
Tabelle 14 – Parameterliste für das Generatorsatzmodell des Typs 4	44
Tabelle 15 – Parameterliste für das Wechselmodell des Referenzrahmens	44
Tabelle 16 – Parameterliste für das Modell der Leistungsregelung über den Blatteinstellwinkel.....	46
Tabelle 17 – Parameterliste für das Regelmodell des Blatteinstellwinkels	47
Tabelle 18 – Parameterliste für das Regelmodell des Läuferwiderstands.....	48
Tabelle 19 – Parameterliste für das Modell der P-Regelung des Typs 3.....	49
Tabelle 20 – Parameterliste für das Modell der P-Regelung des Typs 4.....	51

	Seite
Tabelle 21 – Parameterliste für das Modell der P-Regelung des Typs 4B.....	51
Tabelle 22 – Allgemeine Q-Regelbetriebsarten M_{qG} der WEA	52
Tabelle 23 – UVRT-Q-Regelbetriebsarten M_{qUVRT}	52
Tabelle 24 – Parameterliste für das Modell der Q-Regelung	53
Tabelle 25 – Beschreibung der F_{UVRT} -Flag-Werte.....	55
Tabelle 26 – Parameterliste für das Strombegrenzungsmodell	55
Tabelle 27 – Parameterliste für das Konstant-Q-Begrenzungsmodell	56
Tabelle 28 – Parameterliste für das QP- und QU-Begrenzungsmodell.....	57
Tabelle 29 – Parameterliste für das Netzschutzmodell	58
Tabelle 30 – Für Fehlerberechnungen benutzte Fenster	66
Tabelle A.1 – Erforderliche Informationen über das Simulationsmodell und die Durchführung der Validierung.....	69
Tabelle A.2 – Weitere Informationen, die erforderlich sind, wenn eine Simulation des gesamten Netzes durchgeführt wird.....	69
Tabelle A.3 – Zusammenfassung der Validierung von Spannungseinbrüchen	70
Tabelle A.4 – Zusammenfassung der Validierung von Referenzpunktänderungen.....	71
Tabelle A.5 – Zusammenfassung der Validierung des Netzschutzes	71
Tabelle D.1 – Im Spannungs- und Blindleistungsregelmodell angewendete Parameter	76
Tabelle D.2 – Im Frequenz- und Wirkleistungsregelmodell angewendete Parameter	78
Tabelle E.1 – Punkte, die die Beziehung zwischen der Windgeschwindigkeit v und der partiellen Ableitung dp_{ω} kennzeichnen	81
Tabelle E.2 – Parameterliste für das aerodynamische Verhalten eines spezifischen WEA-Typs	82