

Anwendungsbereich

Anwendungsbereich dieser Norm ist ...

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	10
Einleitung	11
1 Anwendungsbereich	13
2 Normative Verweisungen	13
3 Begriffe, Abkürzungen und Indizes	13
3.1 Begriffe	13
3.2 Abkürzungen und Indizes	17
3.2.1 Abkürzungen	17
3.2.2 Indizes	17
4 Symbole und Einheiten.....	18
4.1 Allgemeines	18
4.2 Symbole (Einheiten)	18
5 Funktionale Spezifikation von Modellen	20
5.1 Allgemeine Spezifikationen	20
5.2 Modelle von Windenergieanlagen	21
5.3 Modelle von Windkraftwerken	22
6 Formale Spezifikation modularer Strukturen	23
6.1 Allgemeines	23
6.2 Modelle von Windenergieanlagen	23
6.2.1 Allgemeines	23
6.2.2 Typ 1.....	24
6.2.3 Typ 2.....	27
6.2.4 Typ 3.....	28
6.2.5 Typ 4.....	31
6.3 Modelle für Hilfseinrichtungen	36
6.3.1 STATCOM-Modell	36
6.4 Modelle von Windkraftwerken	38
6.4.1 Allgemeines	38
6.4.2 Betriebsführungs- und Kommunikationsmodell von Windkraftwerken.....	39
6.4.3 WKW-Grundmodell.....	40
6.4.4 WKW-Modell mit Blindleistungskompensation.....	40
7 Formale Spezifikation von Teilmodellen.....	41
7.1 Allgemeines	41
7.2 Aerodynamische Modelle	42
7.2.1 Modell mit konstantem aerodynamischem Drehmoment.....	42

	Seite
7.2.2 Eindimensionales aerodynamisches Modell	43
7.2.3 Zweidimensionales aerodynamisches Modell.....	43
7.3 Mechanische Modelle	45
7.3.1 Zwei-Massen-Modell	45
7.4 Modelle des Generatorsystems	45
7.4.1 Asynchrongeneratormodell	45
7.4.2 Modell des Generatorsystems des Typs 3A	46
7.4.3 Modell des Generatorsystems des Typs 3B	47
7.4.4 Modell des Generatorsystems des Typs 4.....	48
7.4.5 Wechselmodell des Referenzrahmens	49
7.5 Regelmodelle des Blatteinstellwinkels	50
7.5.1 Modell der Leistungsregelung über den Blatteinstellwinkel	50
7.5.2 Regelmodell des Blatteinstellwinkels	51
7.6 Regelmodelle des Generators	52
7.6.1 Regelmodell des Läuferwiderstands.....	52
7.6.2 Modell der P-Regelung des Typs 3.....	53
7.6.3 Modell der P-Regelung des Typs 4A	56
7.6.4 Modell der P-Regelung des Typs 4B	57
7.6.5 Modell der Q-Regelung	57
7.6.6 Modell der Strombegrenzung.....	61
7.6.7 Modell der Konstant-Q-Begrenzung	62
7.6.8 Modell der QP- und QU-Begrenzung.....	63
7.7 Modell des Netzschutzes	63
7.8 Modell der Netzmessung	65
7.9 Modell des STATCOM-Umrichters.....	66
7.10 Modell der STATCOM-Q-Regelung	67
7.11 Modell der STATCOM-Strombegrenzung.....	71
7.12 Modell der STATCOM-Q-Begrenzung	71
7.12.1 Modell der STATCOM-Konstant-Q-Begrenzung.....	71
7.12.2 Modell der STATCOM-QU-Begrenzung	72
7.13 Regelmodelle für Windkraftwerke	72
7.13.1 Modell der Pf-Regelung von WKW	72
7.13.2 Modell der QU-Regelung des WKW	73
7.14 Kommunikationsmodell	75
7.14.1 Modell der Kommunikationsverzögerung.....	75
7.14.2 Modell der linearen Kommunikation.....	75
7.15 Modelle der elektrischen Komponenten.....	76
7.15.1 Leitungsmodell	76
7.15.2 Transformatormodell	76

	Seite
7.15.3 Modell des Parallelkondensators	77
7.15.4 Modell der Nebenschlussdrossel	77
7.15.5 Leistungsschaltermodell	78
Anhang A (informativ) Ermittlung der Parameter für das einsträngige Modell eines elektrischen Kraftwerksnetzes	79
A.1 Einleitung	79
A.2 Beschreibung des Verfahrens	79
A.2.1 Leitungen	79
A.2.2 WEA-Transformatoren	80
A.3 Numerisches Beispiel	80
Anhang B (informativ) Zweidimensionales aerodynamisches Modell	83
B.1 Zweck	83
B.2 Modellansatz	83
B.3 Anpassung der Modellparameter	84
B.4 Anwendungsfälle	86
B.4.1 Allgemeines	86
B.4.2 Anwendungsfälle einer Stabilitätsuntersuchung	86
B.4.3 Anwendungsfälle der Validierung	87
B.5 Initialisierung des Modells bei leistungsgeminderten Bedingungen	87
Anhang C (informativ) Gegensystemerweiterung des Modells	88
C.1 Einleitung	88
C.2 Implementierung	88
C.2.1 Typ 1 und Typ 2	88
C.2.2 Typ 3 und Typ 4	88
C.2.3 Gegensystemerweiterung des Generatormodells	89
C.3 Integration	90
C.3.1 Integration in den Signalflussplan des Strombegrenzers	90
C.3.2 Integration in eine modularen Struktur	91
C.3.2.1 Generatorleistung des Gegensystems	92
C.3.2.2 Wechsel des Referenzrahmens für das Gegensystem	93
Anhang D (informativ) Generische Softwareschnittstelle für die Anwendung von Modellen in verschiedenen Softwareumgebungen	95
D.1 Beschreibung des Ansatzes	95
D.2 Beschreibung der Softwareschnittstelle	96
D.2.1 Beschreibung der Datenstrukturen	96
D.2.1.1 Allgemeines	96
D.2.1.2 StaticExtSimEnvCapi	96
D.2.1.3 InstanceExtSimenvCapi	97
D.2.1.4 StaticESEInputSignal	97
D.2.1.5 StaticESEOutputSignal	97

	Seite
D.2.1.6 StaticESEParameter	97
D.2.1.7 ESEExtension	98
D.2.2 Funktionen für die Kommunikation über die ESE-Schnittstelle	98
D.2.3 Eingangswerte, Ausgangswerte, Parameter.....	99
Anhang E (normativ) Bibliothek der Blocksymbole	100
E.1 Allgemeines.....	100
E.2 Verzögerung des Zeitschritts	100
E.3 Unabhängiger Begrenzer der Rampengeschwindigkeit	100
E.4 Filter erster Ordnung mit absoluten Grenzen, Geschwindigkeitsgrenzen und Einfrier-Flag.....	101
E.5 Wertetabelle	101
E.6 Komparator.....	102
E.7 Zeitglied.....	102
E.8 Anti-Windup-Integrator	103
E.9 Integrator mit Rückstellung	104
E.10 Filter erster Ordnung mit Grenzwerterkennung	104
E.11 Verzögerungs-Flag.....	105
E.12 Erkennung ansteigender Flanken	105
E.13 Totzone	106
Literaturhinweise	107
 Bilder	
Bild 1 – Einteilung der Netzstabilität nach IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions.....	11
Bild 2 – Generische modulare Struktur von WEA-Modellen	24
Bild 3 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 1A.....	25
Bild 4 – Einliniendiagramm für das elektrische System des Typs 1 und des Typs 2; a) mit WTT auf der Niederspannungsseite des Transformators und b) mit WTT auf der Hochspannungsseite.....	25
Bild 5 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 1B.....	26
Bild 6 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 2	28
Bild 7 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 3	29
Bild 8 – Modulare Struktur des Regelmodells des Generators des Typs 3	30
Bild 9 – Einliniendiagramm für das elektrische System des Typs 3 und des Typs 4; a) mit WTT auf der Niederspannungsseite des Transformators und b) mit WTT auf der Hochspannungsseite.....	30
Bild 10 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 4A.....	32
Bild 11 – Modulare Struktur des Regelmodells des Generators des Typs 4A.....	33
Bild 12 – Modulare Struktur des WEA-Modells des Typs 4B.....	34
Bild 13 – Modulare Struktur des Regelmodells des Generators des Typs 4B.....	35
Bild 14 – Modulare Struktur des STATCOM-Modells.....	37
Bild 15 – Modulare Struktur des STATCOM-Regelmodells	37
Bild 16 – Generische modulare Struktur von WKW-Modellen	38
Bild 17 – Allgemeine modulare Struktur des Betriebsführungs- und Kommunikationsblocks von	

	Seite
Windkraftanlagen.....	39
Bild 18 – Einliniendiagramm für das WKW-Grundmodell	40
Bild 19 – Einliniendiagramm für ein WKW-Modell mit Blindleistungskompensation	41
Bild 20 – Signalflussplan für das Modell mit konstantem aerodynamischem Drehmoment.....	43
Bild 21 – Signalflussplan für das eindimensionale aerodynamische Modell	43
Bild 22 – Signalflussplan für das zweidimensionale aerodynamische Modell.....	44
Bild 23 – Signalflussplan für das Zwei-Massen-Modell	45
Bild 24 – Signalflussplan für das Modell des Generatorsystems des Typs 3A	47
Bild 25 – Signalflussplan für das Modell des Generatorsystems des Typs 3B	48
Bild 26 – Signalflussplan für das Modell des Generatorsystems des Typs 4.....	49
Bild 27 – Signalflussplan für das Wechselmodell des Referenzrahmens	50
Bild 28 – Signalflussplan für das Modell der Leistungsregelung über den Blatteinstellwinkel	51
Bild 29 – Signalflussplan für das Regelmodell des Blatteinstellwinkels	52
Bild 30 – Signalflussplan für das Regelmodell des Läuferwiderstands	53
Bild 31 – Signalflussplan für das Modell der P-Regelung des Typs 3.....	55
Bild 32 – Signalflussplan für eine PI-Regelung des Drehmoments des Typs 3	56
Bild 33 – Signalflussplan für das Modell der P-Regelung des Typs 4A	57
Bild 34 – Signalflussplan für das Modell der P-Regelung des Typs 4B	57
Bild 35 – Signalflussplan für das Modell der Q-Regelung	60
Bild 36 – Signalflussplan für das Modell der Strombegrenzung	62
Bild 37 – Signalflussplan für das Modell der Konstant-Q-Begrenzung.....	63
Bild 38 – Signalflussplan für das Modell der QP- und QU-Begrenzung	63
Bild 39 – Signalflussplan für das Netzschutzsystem	65
Bild 40 – Signalflussplan für die u-f-Messung	66
Bild 41 – Signalflussplan für das Modell des STATCOM-Umrichters.....	67
Bild 42 – Signalflussplan für das Modell der Q-Regelung	70
Bild 43 – Nichtlinearer Anstieg für das Modell der STATCOM-Q-Regelung	71
Bild 44 – Signalflussplan für den STATCOM-Strombegrenzer	71
Bild 45 – Signalflussplan für das Modell der STATCOM-Konstant-Q-Begrenzung.....	72
Bild 46 – Signalflussplan für das Modell der STATCOM-QU-Begrenzung.....	72
Bild 47 – Signalflussplan für das Modell der Leistungs-/Frequenzregelung des WKW	73
Bild 48 – Signalflussplan für das Modell der Blindleistungs-/Spannungsregelung des WKW.....	75
Bild 49 – Signalflussplan für das Modell der Kommunikationsverzögerung.....	75
Bild 50 – Signalflussplan für das Modell der linearen Kommunikation.....	76
Bild 51 – Mitsystemdiagramm für das Leitungsmodell	76
Bild 52 – Mitsystemdiagramm für das Transformatormodell	77
Bild 53 – Mitsystemdiagramm für das Modell des Parallelkondensators	77
Bild 54 – Mitsystemdiagramm für das Modell der Nebenschlussdrossel	78
Bild A.1 – Beispiel für ein elektrisches Kraftwerksnetz eines WKW	80

Bild B.1 – Aerodynamische Leistung als Funktion des Blatteinstellwinkels θ und der Windgeschwindigkeit v	84
Bild B.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	84
Bild B.3 – Partielle Ableitung der Leistung bezogen auf den Blatteinstellwinkel $d_{p\theta}$ als Funktion des Blatteinstellwinkels θ	84
Bild B.4 – Partielle Ableitung der Leistung bezogen auf eine Änderung der Rotordrehzahl $d_{p\omega}$ als Funktion der Windgeschwindigkeit v für 1 p.u. (Volllinie) und 0,5 p.u. (Strichlinie) der Wirkleistung	84
Bild B.5 – Näherung der aerodynamischen Leistung als Funktion der Windgeschwindigkeit	86
Bild B.6 – Näherung des Blatteinstellwinkels als Funktion der Windgeschwindigkeit	86
Bild C.1 – Signalfussplan für das Gegensystemmodell für Typ 1 und Typ 2	88
Bild C.2 – Signalfussplan für das resultierende Modell des Gegensystems für Typ 3 und Typ 4 mit einer Regelung des Stroms des gegenläufigen Systems	89
Bild C.3 – Gegensystemmodell von Asynchrongeneratoren	89
Bild C.4 – Signalfussplan für das Gegensystemmodell von Asynchrongeneratoren	90
Bild C.5 – Integration in den Signalfussplan des Strombegrenzers	91
Bild C.6 – Modifikation der modularen Struktur des Mitsystemmodells (schwarz) durch Berücksichtigung des Einflusses des Gegensystems (rot)	92
Bild C.7 – Signalfussplan für die Generatorleistung des Gegensystems	93
Bild C.8 – Signalfussplan für die Generatorleistung des Gegensystems	93
Bild D.1 – Simulationsablauf bei Nutzung der ESE-Schnittstelle	99
Bild E.1 – Blocksymbol für die Verzögerung eines einzelnen Integrationszeitschritts	100
Bild E.2 – Blocksymbol für einen unabhängigen Begrenzer der Rampengeschwindigkeit	100
Bild E.3 – Signalfussplan für die Implementierung des unabhängigen Begrenzers der Rampengeschwindigkeit	100
Bild E.4 – Blocksymbol für ein Filter erster Ordnung mit absoluten Grenzen, Geschwindigkeitsgrenzen und Einfrier-Flag	101
Bild E.5 – Signalfussplan für die Implementierung eines Filters erster Ordnung mit absoluten Grenzen, Geschwindigkeitsgrenzen und Einfrier-Flag	101
Bild E.6 – Signalfussplan für die Implementierung des Einfrier-Zustands ohne Filter ($T = 0$)	101
Bild E.7 – Blocksymbol für eine Wertetabelle	102
Bild E.8 – Blocksymbole für Komparatoren	102
Bild E.9 – Blocksymbol für ein Zeitglied	102
Bild E.10 – Funktion des Zeitglieds	103
Bild E.11 – Blocksymbol für einen Anti-Windup-Integrator	103
Bild E.12 – Signalfussplan für die Implementierung eines Anti-Windup-Integrators	104
Bild E.13 – Blocksymbol für einen Integrator mit Rückstellung	104
Bild E.14 – Blocksymbol für ein Filter erster Ordnung mit Grenzwerterkennung	104
Bild E.15 – Signalfussplan für die Implementierung eines Filters erster Ordnung mit Grenzwerterkennung	105
Bild E.16 – Blocksymbol für ein Verzögerungs-Flag	105

	Seite
Bild E.17 – Signalfussplan für die Implementierung eines Verzögerungs-Flags.....	105
Bild E.18 – Blocksymbol für die Erkennung ansteigender Flanken.....	106
Bild E.19 – Signalfussplan für die Erkennung ansteigender Flanken.....	106
Bild E.20 – Blocksymbol für die Totzone	106
Tabellen	
Tabelle 1 – Im Modell des Typs 1A verwendete Teilmodelle	26
Tabelle 2 – Im Modell des Typs 1B verwendete Teilmodelle	27
Tabelle 3 – Im Modell des Typs 2 verwendete Teilmodelle	28
Tabelle 4 – Im Modell des Typs 3 verwendete Teilmodelle	31
Tabelle 5 – Im Modell des Typs 4A verwendete Teilmodelle	33
Tabelle 6 – Im Modell des Typs 4B verwendete Teilmodelle	36
Tabelle 7 – Im STATCOM-Modell verwendete Teilmodelle	38
Tabelle 8 – In Reglern von Windkraftwerken verwendete Teilmodelle	39
Tabelle 9 – Im WKW-Grundmodell verwendete Teilmodelle.....	40
Tabelle 10 – Im WKW-Modell mit Blindleistungskompensation verwendete Teilmodelle	41
Tabelle 11 – Globale Modellparameter	42
Tabelle 12 – In den Signalfussplänen der Modelle verwendete Initialisierungsvariablen	42
Tabelle 13 – Parameterliste für das eindimensionale aerodynamische Modell	43
Tabelle 14 – Parameterliste für das zweidimensionale aerodynamische Modell.....	44
Tabelle 15 – Parameterliste für das Zwei-Massen-Modell	45
Tabelle 16 – Parameterliste für das Asynchrongeneratormodell	46
Tabelle 17 – Parameterliste für das Modell des Generatorsystems des Typs 3A	46
Tabelle 18 – Parameterliste für das Modell des Generatorsystems des Typs 3B	47
Tabelle 19 – Parameterliste für das Modell des Generatorsystems des Typs 4.....	49
Tabelle 20 – Parameterliste für das Wechselmodell des Referenzrahmens	50
Tabelle 21 – Parameterliste für das Modell der Leistungsregelung über den Blatteinstellwinkel	50
Tabelle 22 – Parameterliste für das Regelmodell des Blatteinstellwinkels	51
Tabelle 23 – Parameterliste für das Regelmodell des Läuferwiderstands	52
Tabelle 24 – Parameterliste für Modell der P-Regelung des Typs 3.....	54
Tabelle 25 – Parameterliste für das Modell der P-Regelung des Typs 4A.....	56
Tabelle 26 – Parameterliste für das Modell der P-Regelung des Typs 4B.....	57
Tabelle 27 – Allgemeine Q-Regelbetriebsarten M_{qG} der WEA	58
Tabelle 28 – UVRT-Q-Regelbetriebsarten M_{qUVRT}	58
Tabelle 29 – Parameterliste für das Modell der Q-Regelung	59
Tabelle 30 – Beschreibung der F_{UVRT} -Flag-Werte.....	61
Tabelle 31 – Parameterliste für das Modell der Strombegrenzung	61
Tabelle 32 – Parameterliste für das Modell der Konstant-Q-Begrenzung.....	62
Tabelle 33 – Parameterliste für das Modell der QP- und QU-Begrenzung	63
Tabelle 34 – Parameterliste für das Modell des Netzschutzes	64

	Seite
Tabelle 35 – Parameterliste für das Modell der Netzmessung	66
Tabelle 36 – Parameterliste für das Modell des STATCOM-Umrichters	67
Tabelle 37 – Allgemeine STATCOM-Q-Regelbetriebsarten M_{uq}	67
Tabelle 38 – UVRT-Q-Regelbetriebsarten M_{qUVRT}	68
Tabelle 39 – Parameterliste für das Modell der STATCOM-Q-Regelung	69
Tabelle 40 – Beschreibung der F_{UVRT} -Flag-Werte	70
Tabelle 41 – Parameterliste für das Modell der STATCOM-Strombegrenzung	71
Tabelle 42 – Parameterliste für das Modell der STATCOM-Konstant-Q-Begrenzung	71
Tabelle 43 – Parameterliste für das Modell der STATCOM-QU-Begrenzung	72
Tabelle 44 – Parameterliste für das Leistungs-/Frequenzmodell	73
Tabelle 45 – Parameterliste für das Blindleistungs-/Spannungsmodell	74
Tabelle 46 – Parameterliste für das Modell der Kommunikationsverzögerung	75
Tabelle 47 – Parameterliste für das Modell der linearen Kommunikation	76
Tabelle 48 – Parameterliste für das Leitungsmodell	76
Tabelle 49 – Parameterliste für das Transformatormodell	77
Tabelle 50 – Parameterliste für das Modell des Parallelkondensators	77
Tabelle 51 – Parameterliste für das Modell der Nebenschlussdrossel	78
Tabelle A.1 – Leitungsparameter und Berechnung der Zusammenfassung; die Daten werden als auf Z_{WPbase} bezogene Werte angegeben	81
Tabelle A.2 – Transformatorparameter	81
Tabelle A.3 – Ermittelte Parameter für das einsträngige Modell des elektrischen Kraftwerksnetzes in 6.4.3	82
Tabelle B.1 – Punkte, die die Beziehung zwischen der Windgeschwindigkeit v und der partiellen Ableitung dp_{ω} kennzeichnen	85
Tabelle B.2 – Parameterliste für das aerodynamische Verhalten eines spezifischen WEA-Typs	86
Tabelle C.1 – Symbole und Einheiten	88
Tabelle C.2 – Symbole und Einheiten	89
Tabelle C.3 – Parameterliste	89
Tabelle C.4 – Symbole und Einheiten	90
Tabelle C.5 – Parameterliste	90
Tabelle C.6 – Symbole und Einheiten für das Gegensystemmodell	92
Tabelle C.7 – Parameterliste	94