

Inhalt

Vorwort	4
1 Einleitung	6
1.1 Stabilitätseigenschaften von Erzeugungseinheiten	6
1.2 Derzeitige Anforderungen an die Frequenz- und Wirkleistungsregelung	7
1.2.1 Inselbetrieb sowie Teilnetzbetriebsfähigkeit gemäß Kapitel 10.2.1.4 der VDE-AR-N 4130	7
1.2.2 Wirkleistungsabgabe gemäß Kapitel 10.2.4	7
1.2.3 Primärregelleistung gemäß Kapitel 10.5.3	8
1.3 Bewertung und Weiterentwicklung der Anforderungen	8
2 Abkürzungen und Definitionen	9
2.1 Abkürzungen	9
2.2 Definitionen	9
3 Anforderungen an Erzeugungsanlagen und kontinuierlich regelbare Speichersysteme und Verbrauchseinrichtungen	14
3.1 Verhalten bei kritischer Netzfrequenz	14
3.2 Verhalten bei steilen Frequenzgradienten (RoCoF) und bei Winkelsprüngen	14
3.3 Anforderungen an Typ-1- und Typ-2-Erzeugungsanlagen	14
3.3.1 Teilnahme an der netzsicherheitsbasierten Primärregelung	14
3.3.2 Eingeschränkte, bzw. erweiterte Anforderungen aufgrund technologiespezifischer Restriktionen	17
3.3.3 Weitere Anforderungen bei Frequenzabweichungen	18
3.4 Anforderungen an kontinuierlich regelbare Speichersysteme	18
3.4.1 Teilnahme an der netzsicherheitsbasierten Primärregelung	18
3.5 Anforderungen an kontinuierlich regelbare Verbrauchseinrichtungen	20
3.6 Ende des kritischen Netzzustandes und Rückkehr in den Normalbetrieb	20
4 Grundsätzlicher Ansatz zum Nachweis der netzsicherheitsbasierten Primärregelung	21
4.1 Nachweisführung für Typ-1-EZA	21
4.1.1 Beispiel zum Nachweis der Anforderungen an Typ-1-EZE im fiktiven Inselnetz	22
4.1.2 Umfang der simulativen Nachweise der netzsicherheitsbezogenen Primärregelung	24
4.1.3 Beschreibung und Kennwerte des Modells für eine Dampfturbine-Erzeugungseinheit	24
4.1.4 Kleinsignalverhalten	25
4.1.5 Großsignalverhalten	25
4.2 Nachweisführung für Typ-2-EZA	27
4.2.1 Ausführliche Modellbildung, Vermessung und Simulation	28
4.2.2 Beispiel zum Nachweis der Anforderungen an Typ-2-EZE im fiktiven Inselnetz	29
4.3 Nachweisführung für Typ-2-EZVA	32
4.3.1 Ausführliche Modellbildung, Vermessung und Simulation	32
4.4 Nachweisführung für kontinuierlich regelbare Verbrauchseinrichtungen	34
4.5 Ergänzende Ausweise innerhalb des EZA-Zertifizierungsprozesses	34
Anhang A - Dynamisches Frequenzverhalten mit regelkonformer Turbinenregelung	35
Literaturverzeichnis	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Anforderung an die Abgabeleistung der Erzeugungsanlagen im dynamischen Kurzzeitbetrieb	18
Abbildung 2 - Fiktives Inselnetz zum Nachweis der Typ-1-EZE-Eigenschaften	23
Abbildung 3 - Sprungantwort der Typ-1-EZE bei einer Lastzuschaltung von 10% (Standard- und klassisches Modell)	23
Abbildung 4 - Prinzipielles Blockschaltbild des frequenzgeführten Leistungsreglers in Summenschaltung.....	24
Abbildung 5 - Überprüfung der Kleinsignalstabilität im Betriebsbereich von 75 - 100%.....	25
Abbildung 6 - Teilentlastung der EZA ausgehend von Volllast auf 55% Teillast.....	26
Abbildung 7 - Lasterhöhung der EZA auf 70% ausgehend von 55% Teillast	26
Abbildung 8 - Fiktives Inselnetz Niederspannung zum Nachweis der Typ-2-EZE-Eigenschaften	27
Abbildung 9 - Fiktives Inselnetz MS und HS zum Nachweis der Typ-2-EZE-Eigenschaften ..	27
Abbildung 10 - Simulation einer Typ-2-EZA (PV-Anlage nach WECC-Modell [14]); Entlastung von 100% auf 55%	30
Abbildung 11 - Simulation einer Typ-2-EZA (PV-Anlage nach WECC-Modell [14]); Entlastung von 55% auf 10%	30
Abbildung 12 - Simulation einer sprungförmigen Belastung von 65% auf 75%	31
Abbildung 13 - Reduzierung auf Teillast (von 90% auf 55%) sowie Lasterhöhung zurück auf 90%.....	31
Abbildung 14 - Modell einer Dampfturbine mit Drehzahlregelung	36
Abbildung 15 - Modell einer Dampfturbine mit frequenzgeführter Leistungsregelung (Abweichungen vom stationären Zustand).....	36
Abbildung 16 - Simulation der elektrischen Leistung nach sprungförmiger Änderung der Istfrequenz um 125 mHz (Betrieb an einem großen Netz)	36
Abbildung 17 - Simulation der Frequenz bei sprungförmiger Laständerung (0,05 p.u.) (Teilnetzbetrieb)	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Dynamische Anforderungen an die Primärregelung für die Typ-1- und Typ-2-EZA/EZVA Stellbereiche	17
--	----