



© VDE FNN

Netzbildendes und Systemstützendes Verhalten von Erzeugungsanlagen

Version 1.0

Dezember 2021

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 . | 30 |
| 4.3 Nachweisführung für Typ-2-EZVA..... | 33 |
| 4.3.1 Ausführliche Modellbildung, Vermessung und Simulation | 33 |
| 4.4 Nachweisführung für kontinuierlich regelbare Verbrauchseinrichtungen..... | 35 |
| 4.5 Ergänzende Ausweise innerhalb des EZA-Zertifizierungsprozesses | 35 |
| Anhang A - Dynamisches Frequenzverhalten mit regelkonformer Turbinenregelung | 36 |

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Anforderung an die Abgabeleistung der Erzeugungsanlagen im dynamischen Kurzzeitbetrieb18

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% Teillast27

Abbildung 8 - Fiktives Inselnetz Niederspannung zum Nachweis der Typ-2-EZE-Eigenschaften28

Abbildung 9 - Fiktives Inselnetz MS und HS zum Nachweis der Typ-2-EZE-Eigenschaften...28

Abbildung 10 - Simulation einer Typ-2-EZA (PV-Anlage nach WECC-Modell [14]); Entlastung von 100% auf 55%31

Abbildung 11 - Simulation einer Typ-2-EZA (PV-Anlage nach WECC-Modell [14]); Entlastung von 55% auf 10%31

Abbildung 12 - Simulation einer sprungförmigen Belastung von 65% auf 75%32

Abbildung 13 - Reduzierung auf Teillast (von 90% auf 55%) sowie Lasterhöhung zurück auf 90%.....32

Abbildung 14 - Modell einer Dampfturbine mit Drehzahlregelung37

Abbildung 15 - Modell einer Dampfturbine mit frequenzgeführter Leistungsregelung (Abweichungen vom stationären Zustand).....37

Abbildung 16 - Simulation der elektrischen Leistung nach sprungförmiger Änderung der Istfrequenz um 125 mHz (Betrieb an einem großen Netz)37

Abbildung 17 - Simulation der Frequenz bei sprungförmiger Laständerung (0,05 p.u.) (Teilnetzbetrieb)38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Dynamische Anforderungen an die Primärregelung für die Typ-1- und Typ-2-EZA/EZVA Stellbereiche17