



Einheitenzertifikat



Die ABE Zertifizierung GmbH bescheinigt hiermit der

Capstone Turbine Corporation
21211 Nordhoff Street
Chatsworth, CA 91311 USA

für die Erzeugungseinheiten: Verbrennungskraftmaschinen vom Typ

Capstone C200, C600, C800, C1000

(Detaillierte technische Daten siehe Kapitel 5)

dass die geltenden Anforderungen gemäß

- **Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz BDEW 2008**
- **FGW Technische Richtlinie Teil 8 (Revision 6), Teil 3 (Revision 23), Teil 4 (Revision 7)**

mit der Abweichung in der dynamischen Netzstützung im Fehlerfall mit einem k-Faktor gemäß TC2007 /3/ von $k < 1$ und der fehlenden Prüfklemmenleiste zur Überprüfung der Schutzeinrichtung* unter Berücksichtigung der beschriebenen Parametrierung und Komponenten* erfüllt werden können.

*(*siehe Kapitel 4 Auflagen 1 und 2 sowie Anmerkungen 1 und 2)*

Der Hersteller hat die Zertifizierung eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO9001 nachgewiesen.

Gültigkeit ab: 2015-09-01

Gültigkeit bis: 2020-09-02

Das Zertifikat gilt für vor Ablauf dieser Gültigkeit in Betrieb genommene EZA unbegrenzt, sofern keine für die Kraftwerkeigenschaften relevanten Änderungen vorgenommen werden.

Zertifikatsnummer: ABE-E-404-2015

Revision: 0

Bezeichnung des Modells: siehe Kapitel 7.1

Anzahl Seiten: 69

Barsbüttel / 01.09.2015

Ort / Datum



Dipl.-Ing. Sebastian Gerbig

Leiter der Zertifizierungsstelle

I Dokumenteninformation

Dokumenten-Nr.	ABE-E-404-2015 (0)
Verfasser	ABE Zertifizierung GmbH Großer Kamp 5 D-22885 Barsbüttel
Seiten Dokument	69
Status	Freigegeben

II Änderungsverzeichnis

Revision	Datum	Änderung	Bearbeitung	Freigabe
0	01.09.2015	Erstausgabe	Güttler	Gerbig

Das Copyright © liegt ausschließlich bei der ABE Zertifizierung GmbH. Der Nachdruck oder die Vervielfältigung ist nur mit der Zustimmung der ABE Zertifizierung GmbH gestattet.



Inhaltsverzeichnis

I	Dokumenteninformation	2
II	Änderungsverzeichnis	2
1	Einleitung	4
2	Allgemeines	5
2.1	Begriffsdefinitionen	5
2.2	Gültigkeit des Einheitenzertifikates	6
2.3	Angaben zum Qualitätsmanagement des Herstellers	6
3	Bewertungsgrundlage	7
3.1	Gesetze, Verordnungen, Normen und Technische Richtlinien	7
3.2	Herstellerspezifische Dokumente	8
4	Zusammenfassung	9
5	Beschreibung der Erzeugungseinheit	11
5.1	Übersicht der zu zertifizierenden Erzeugungseinheiten	11
5.2	Technische Daten der Erzeugungseinheiten	12
5.2.1	Funktionsaufbau der Erzeugungseinheiten	12
5.2.2	Technische Daten der Komponenten der EZE	14
5.2.3	Technische Daten der vermessenen EZE – Capstone C200	15
6	Nachweisführung	17
6.1	Wirkleistungsabgabe	17
6.1.1	Wirkleistungseinspeisung	17
6.1.2	Wirkleistungsreduktion durch Sollwertvorgabe	18
6.1.3	Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz	21
6.2	Zuschaltbedingungen	24
6.2.1	Grenzwerte für die Wiederschaltung	24
6.2.2	Wirkleistungsgradient	26
6.3	Blindleistungsbereitstellung	29
6.3.1	Maximaler Blindleistungsstellbereich	29
6.3.2	Blindleistungsregelung nach Sollwertangabe	33
6.3.3	Q-Übergangsfunktion	37
6.4	Nachweis der Netzurückwirkungen	40
6.4.1	Schalthandlungen	40
6.4.2	Flicker	41
6.4.3	Oberschwingungen	42
6.5	Verhalten bei Störungen im Netz	44
6.5.1	Low-Voltage-Ride-Through (LVRT)	44
6.5.2	Beitrag der EZE zum Kurzschlussstrom	53
6.6	Entkuppelungsschutzeinrichtungen	55
7	Modellvalidierung	59
7.1	Beschreibung des Simulationsmodells	59
7.2	Validierung der Strom- / Spannungsverläufe	62
7.3	Plausibilitätsprüfung	67
7.4	Gesamtbewertung der Modellvalidierung	68
8	Anhänge	69



1 Einleitung

Das Einheitenzertifikat gilt als Nachweis der elektrischen Eigenschaften von EZE gemäß den Vorgaben der deutschen Netzanschlussrichtlinien (BDEW 2008). Dieses Zertifikat darf lediglich durch eine für diesen Anwendungsbereich nach DIN EN ISO/IEC 17065 akkreditierte Zertifizierungsstelle erstellt werden.

Das Einheitenzertifikat gilt für den auf dem Deckblatt genannten EZE-Typ und ggf. genannten Spezifikationen. Es beinhaltet den Konformitätsnachweis gemäß FGW TR8, die Typprüfungen gemäß FGW TR3 an der EZE, die Validierung des rechnerlauffähigen Einheitenmodells gemäß FGW TR4 und ggf. ein Komponentenzertifikat.



2 Allgemeines

2.1 Begriffsdefinitionen

BDEW2008	Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Ausgabe Juni 2008
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EZA	Erzeugungsanlage: Anlage, in der sich eine oder mehrere am selben NAP angeschlossene EZE befinden, einschließlich aller zum Anschluss und Betrieb erforderlichen elektrischen Einrichtungen
EZE	Erzeugungseinheit: einzelne Einheit zur Erzeugung von elektrischer Energie
NAP	Netzanschlusspunkt gemäß BDEW-Mittelspannungsrichtlinie 2008: Netzpunkt, an dem die EZA an das Netz des Netzbetreibers angeschlossen ist. Der Netzanschlusspunkt hat vor allem Bedeutung im Zusammenhang mit der Netzplanung.
TC2007	Transmission Code, Stand 2007
FGW TR3	Technische Richtlinie Teil 3 der FGW e.V. in der gültigen Revision
FGW TR4	Technische Richtlinie Teil 4 der FGW e.V. in der gültigen Revision
FGW TR8	Technische Richtlinie Teil 8 der FGW e.V. in der gültigen Revision
LVRT	Low Voltage Ride Through: Durchfahren eines störungsbedingten Spannungseinbruchs im Netz

2.2 Gültigkeit des Einheitenzertifikates

Gültig ab:	2015-09-01
Gültig bis:	2020-09-02

Das Einheitenzertifikat ist nach Ausstellung bis zu 5 Jahre gültig. Die Geltungsdauer ist für den Einsatz der EZE in einer vor Ablauf dieser Gültigkeit in Betrieb genommen EZA unbegrenzt, sofern keine für die Kraftwerkeigenschaften relevanten Änderungen vorgenommen werden.

Der Zertifikatsinhaber wird auf dem Deckblatt dieses Einheitenzertifikates genannt. Dieser ist verpflichtet, Konstruktionsänderungen an Komponenten der EZE sowie Modifikationen in den EZE-Steuerungen und alle Änderungen in der eingesetzten Software, die die zertifizierten Eigenschaften beeinflussen, der ABE Zertifizierung GmbH zeitnah schriftlich mitzuteilen. Bei Unterlassung haftet der Auftraggeber für alle Schäden und Ansprüche, die aus dem weiteren Gebrauch des Zertifikats entstehen (siehe auch FGW TR 8 Revision 6). Falls keine die zertifizierten Eigenschaften betreffenden Modifikationen an Hard- und Software oder den EZE-Modellen vorgenommen wurden und keine Abweichungen bezüglich des Verhaltens der EZE bekannt wurden, ist dies der ABE Zertifizierung GmbH alle 18 Monate schriftlich zu bestätigen.

Der Zertifikatsinhaber hat sicherzustellen, dass die zertifizierten Produktanforderungen für die laufende Produktion erfüllt werden. Der Zertifikatsinhaber verpflichtet sich weiterhin, die ihm erteilten Zertifikate nicht missbräuchlich zu benutzen. Missbrauch wird durch Entzug des Zertifikates geahndet.

2.3 Angaben zum Qualitätsmanagement des Herstellers

Der Hersteller hat anhand einer vorgelegten Zertifizierungsurkunde (Nr.: 10000505 QM08 durch UL DQS Inc.) sowie einer Erklärung nachgewiesen, dass das zertifizierte Qualitätsmanagementsystem der Produktionsstätte des Herstellers nach ISO 9001 mindestens über den Zeitraum der Gültigkeit dieses Einheitenzertifikates aufrechterhalten wird. Andernfalls verliert das Einheitenzertifikat die Gültigkeit.



3 Bewertungsgrundlage

Die folgenden Unterkapitel bilden die Bewertungsgrundlage dieses Einheitenzertifikates.

3.1 Gesetze, Verordnungen, Normen und Technische Richtlinien

/1/	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) gültig ab 01.08.2014
/2/	Technische Richtlinie für Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) Ausgabe Juni 2008 inkl. der 4. Ergänzung der BDEW Mittelspannungsrichtlinie gültig ab 01.01.2013
/3/	TransmissionCode 2007 – Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber
/4/	Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und –anlagen Teil 3 Revision 23 der Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW e.V.)
/5/	Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und –anlagen Teil 4 Revision 7 der Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW e.V.)
/6/	Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten und –anlagen Teil 8 Revision 6 der Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW e.V.)

3.2 Herstellerspezifische Dokumente

Die folgenden herstellerspezifischen Dokumente wurden für die Nachweisführung und Bewertung in diesem Einheitenzertifikat herangezogen.

/7/	Typprüfbericht gemäß FGW TR3 des nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüflabors; Prüfbericht-Nr.: 28107204 001 (Rev2) vom 02.06.2015
/8/	Technical Engineering Report for C200 and C1000 Series, ER-3001897-000-01; Stand: 07.07.2015
/9/	Herstellerbescheinigungen zu spezifischen Daten einer Mikroturbine vom Typ Capstone C200 (C600, C800, C1000) gemäß FGW TR3 Anhang A
/10/	Model Description (DlgSILENT Technical Report) „Capstone C200 Turbine Model“; Revision D, 25.06.2015
/11/	Capstone C200 MicroTurbine – Technical Reference; 410066 Rev D, Februar 2015
/12/	Capstone C1000 MicroTurbine Systems – Technical Refence; 410072 Rev B, November 2011
/13/	Technical Reference – CRMS Capstone Remote Monitoring Software, Depot Edition Manual; 410015 Rev P, Januar 2015

4 Zusammenfassung

Für die Nachweisführung und Bewertung wurden die technischen Daten der EZE aus den Herstellerbescheinigungen und die im Kapitel 3.2 aufgeführten Dokumente herangezogen. Die wichtigsten Inhalte der Herstellerbescheinigungen sind im Kapitel 5 zusammengefasst. Die Herstellerbescheinigungen und die im Kapitel 3.2 aufgeführten Dokumente beinhalten Messergebnisse und weitere Eigenschaften der EZE, die diese beschreiben bzw. bestätigen. Die Bewertung der elektrischen Eigenschaften erfolgte auf Grundlage der BDEW2008 /2/ und anhand der FGW TR8 /6/ und FGW TR4 /5/. Infolge der Ergebnisse der Bewertung der Nachweisführung aus Kapitel 6 kommt die Zertifizierungsstelle zu dem Ergebnis der eingeschränkten Konformität. Die Anforderungen werden mit der Abweichung in der dynamischen Netzstützung im Fehlerfall mit einem k-Faktor von $k < 1$ gemäß TC2007 /3/ und der fehlenden Prüfklemmenleiste zur Überprüfung der Schutzeinrichtung unter Berücksichtigung der beschriebenen Parametrierung und Komponenten erfüllt.

Die geprüften Funktionen und Eigenschaften können wie folgt in einer Zusammenfassung bewertet werden:

Funktion / Eigenschaft	Bewertung	Hinweis / Anmerkung / Auflage *)
Wirkleistungsabgabe	Erfolgreich	Hinweis 1: Wirkleistungsreduzierung bis auf 0 % P_N ohne Trennung vom Netz möglich.
Zuschaltbedingungen	Erfolgreich	Hinweis 2: Maximaler Wirkleistungsgradient der EZE nach Wiederschaltung 10,36 % P_N /min. Anmerkung 1: Auf EZA-Ebene ist unter Berücksichtigung der Betriebsführung der EZE die Anforderung für EZA an einen maximalen Wirkleistungsgradienten nach Wiederschaltung von maximal 10 % P_{AV} pro Minute zu überprüfen (gilt nur für EZA > 1 MVA).
Blindleistungsbereitstellung	Erfolgreich	Hinweis 3: Maximales Blindleistungsvermögen entsprechend eines Leistungsfaktors von 0,9 _{untererregt/übererregt} unter Berücksichtigung der Scheinstromgrenzen.



Funktion / Eigenschaft	Bewertung	Hinweis / Anmerkung / Auflage *)
Netzurückwirkungen	Erfolgreich	-
Verhalten bei Störungen im Netz (LVRT)	Abweichung	Hinweis 4: Die Blindstromeinspeisung im Fehlerfall ist fest eingestellt und mit einem k-Faktor von $k = 2$ angegeben; jedoch entspricht der eingespeiste Blindstrom nur einem k-Faktor gemäß TC2007 /3/ von $k < 1$. Auflage 1: Die gemäß TC2007 /3/ abweichende dynamische Netzstützung ist auf EZA-Ebene mit dem Netzbetreiber abzustimmen.
Schutzeinrichtungen	Erfolgreich	Anmerkung 2: Die korrekte Auslegung des Kuppelschalters in Bezug auf auftretende Kurzschlussströme ist projektspezifisch auf EZA-Ebene zu überprüfen. Auflage 2: Eine erforderliche Einrichtung wie z.B. eine Prüfklemmenleiste oder Prüfsteckdose, um die Überprüfung der Schutzeinrichtung ohne Ausklemmen von Drähten zu ermöglichen, ist separat an einer übergeordneten Schutzeinrichtung zu verwirklichen oder an der EZE nachzurüsten.
Simulationsmodell	Erfolgreich	Hinweis 5: DIgSILENT PowerFactory Modell inklusive Template für die Einheit C200.
Modellvalidierung	Erfolgreich	Hinweis 6: Symmetrische und unsymmetrische Versuche sowie Vorfehlerblindstrom validiert.

*) Hinweis: Informativer Ausweis von Eigenschaften der EZE;

Anmerkung: Erläuterung von Sachverhalten, die auf EZA-Ebene beachtet werden sollten;

Auflage: Bedingungen zur Erfüllung der Anforderungen (Verweis auf dem Deckblatt).



5 Beschreibung der Erzeugungseinheit

5.1 Übersicht der zu zertifizierenden Erzeugungseinheiten

Im Folgenden sind die Erzeugungseinheiten aufgeführt, die Gegenstand der Bewertung in diesem Zertifikat sind. Bei den Erzeugungseinheiten handelt es sich um Mikroturbinen mit Umrichtersystem, weshalb diese zur Kategorie der Verbrennungskraftmaschinen vom Typ 2 gemäß BDEW2008 /2/ gehören. Die zu zertifizierenden Erzeugungseinheiten sind in vier EZE-Varianten mit den Leistungen von 200 kW bis 1000 kW vorhanden, die alle auf der Einheit Capstone C200 basieren. Dabei bestehen die Einheiten C600, C800, C1000 aus 3, 4 bzw. 5 verbundenen C200 Einheiten. Die Einheiten C600, C800 und C1000 besitzen eine übergeordnete Steuerung (C1000 Controller), der die EZE-Regler der einzelnen C200 Einheiten anspricht, so dass diese einheitlich die Wirk- und Blindleistung entsprechend der Sollwertvorgabe des C1000 Controllers regeln. Sobald ein Netzfehler auftritt, versetzen sich alle C200 Einheiten in den LVRT-Modus oder schalten die komplette C600, C800 oder C1000 Einheit vom Netz. Der Wiederschaltvorgang erfolgt über die übergeordnete Steuerung. Die in diesem Einheitenzertifikat betrachteten EZE befindet sich im Grid Connect Mode entsprechend der Beschreibung im Datenblatt „Capstone C200 MicroTurbine – Technical Reference“ /11/ und muss über das Capstone Remote Monitoring System (CRMS) auf die Grid Interconnect Selection „BDEW“ entsprechend der Beschreibung im Datenblatt „Technical Reference – CRMS Capstone Remote Monitoring Software“ /13/ eingestellt sein.

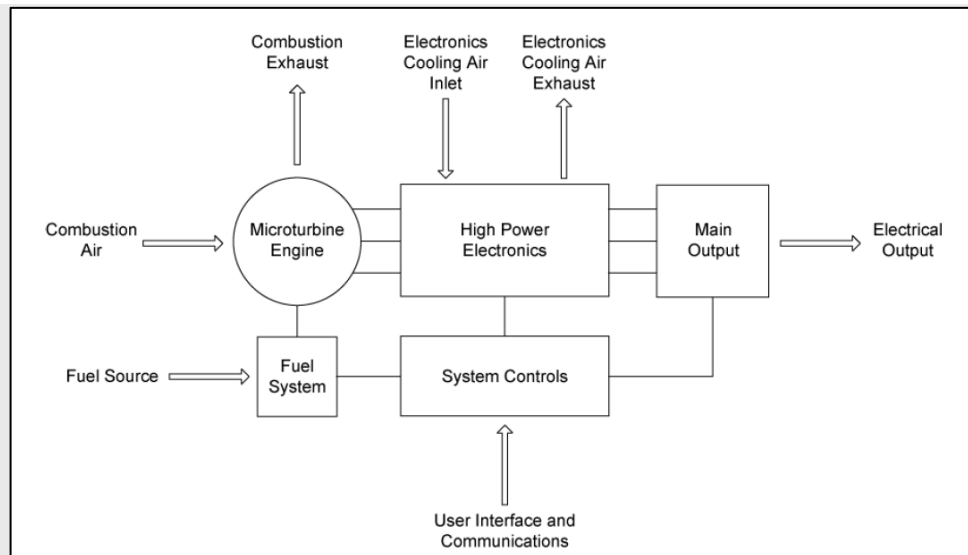
EZE-Variante	Nennleistung in kW	Maximale Blindleistung [cosφ]	Nennspannung in V	Nennstrom in A	Scheinstromgrenze in A
C200	200	± 0,90	400	289	300
C600 (3 x C200)	600	± 0,90	400	866	900
C800 (4 x C200)	800	± 0,90	400	1155	1200
C1000 (5 x C200)	1000	± 0,90	400	1444	1500



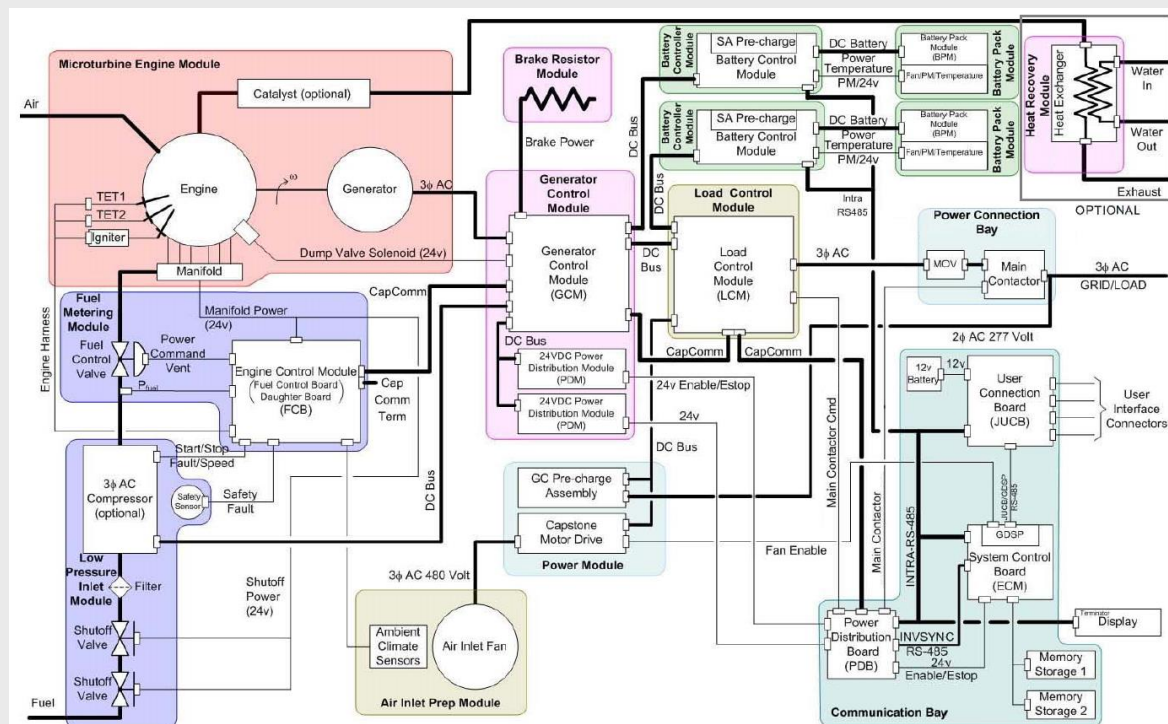
5.2 Technische Daten der Erzeugungseinheiten

5.2.1 Funktionsaufbau der Erzeugungseinheiten

Funktionsaufbau der Mikroturbine C200 inklusive Umrichter



Hauptfunktionselemente des C200

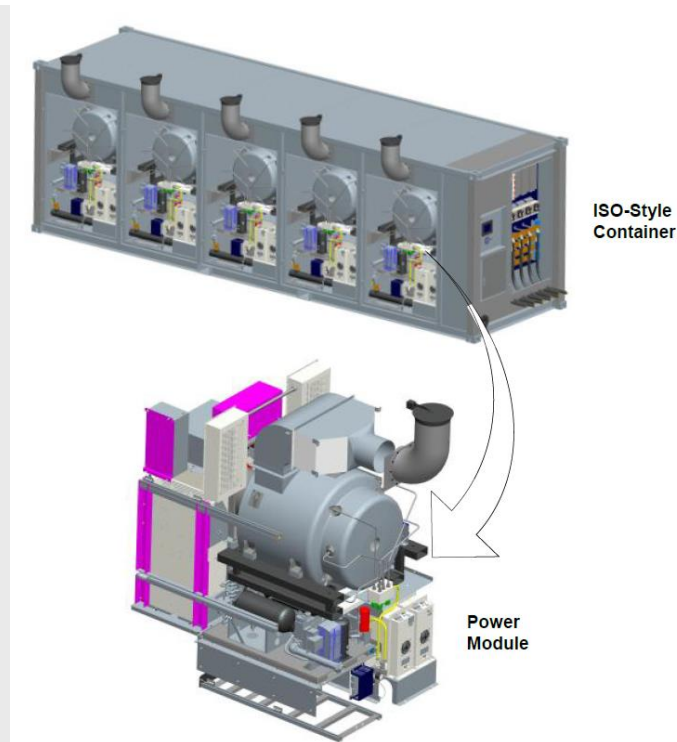


Hauptkomponenten des C200

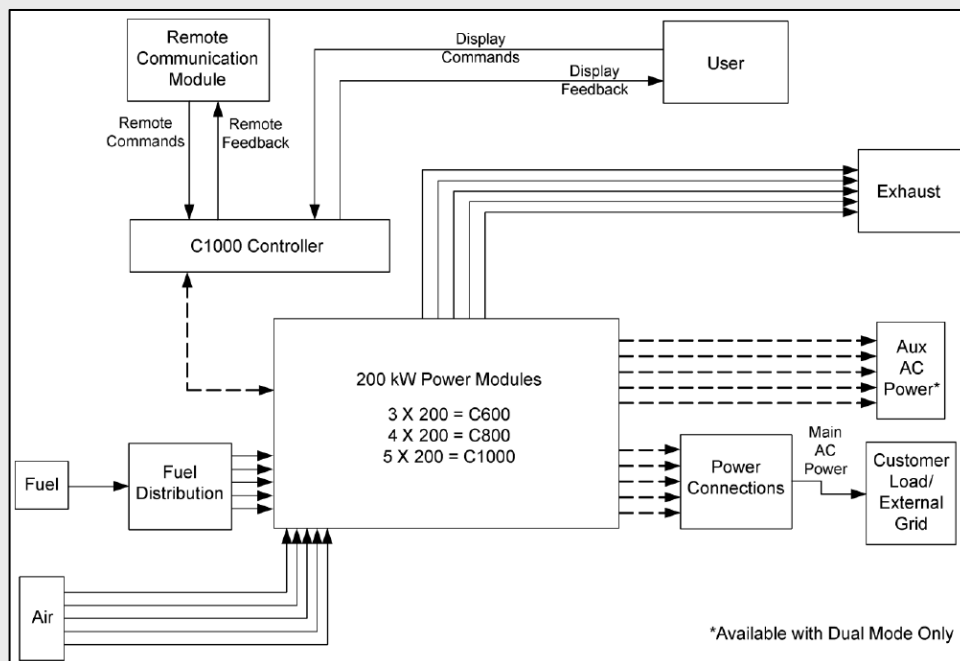
Hinweis: Die Battery Control Modules sowie die Batterien sind nicht im Grid Connect Mode integriert und gehören daher nicht zur EZE, die Gegenstand der Bewertung in diesem Zertifikat ist.

Quelle: Capstone C200 MicroTurbine – Technical Reference; 410066 Rev D, Feb 2015 /11/

Funktionsaufbau der C1000 Serie



C1000 Series Leistungsmodule



Hauptfunktionselemente des C1000

Quelle: Capstone C1000 MicroTurbine Systems – Technical Reference; 410072 Rev B, Nov 2011 /12/

5.2.2 Technische Daten der Komponenten der EZE

EZE	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	Mikroturbine
Typenbezeichnung	200R-HG4-BC00

Die EZE beinhaltet die folgenden Komponenten:

Generator	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	Permanentmagnet Synchrongenerator
Motor	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	200 kW Gas Turbine
Netzseitiger Umrichter	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	Load Control Module (LCM) / DC→AC
Softwareversion	LCM DSP Version 3.01.0
Generatorseitiger Umrichter	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	Generator Control Module (GCM) / AC→DC
EZE-Regelung	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	System Control Module (SCM)
Softwareversion	Main CPU Version 4.00.0
Motorsteuerung	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	Engine Control Module (Fuel Control Board (FCB))
Schutzeinrichtung	
Hersteller	Capstone Turbine Corporation
Typ	Integriert in netzseitigen Umrichter (Load Control Module)

Hinweis: Die Verwendung einer anderen Softwareversion ist nur nach Überprüfung der Änderungen durch die Zertifizierungsstelle zulässig.



5.2.3 Technische Daten der vermessenen EZE – Capstone C200

1. EZE		
1	Hersteller	Capstone Turbine Corporation
2	Anlagenbezeichnung	C200
3	Betriebsweise	Grid Connected
4	Nennleistung	200 kW
5	Nennspannung (U_{L-N})	230 V
2. Verbrennungsmotor		
1	Hersteller	Capstone Turbine Corporation
2	Typenbezeichnung	200 kW Engine
3	Art	Gas Turbine
4	Brennstoff	Gaseous and Liquid
5	Nennleistung	200 kW
6	Nenndrehzahl / Drehzahlbereich	0 - 61000 rpm
3. Generator		
1	Hersteller	Capstone Turbine Corporation
2	Typenbezeichnung	Perm. Magnet Sync. Gen.
3	Art	2-pole mounted surface
4	Nennleistung	218 kW
5	Nennscheinleistung	231 kVA (PF > 0,94)
6	Nenndrehzahl / Drehzahlbereich	0 - 61000 rpm
7	Nennspannung (U_{L-L})	486 V
8	Frequenz	1016,667 Hz
9	Nennschlupf	0 % (synchronous generator)
4. Betriebsführung / Regelung		
1	Art der Leistungsregelung	Current Control
2	Antrieb der Leistungsregelung	Space Vector PWM
3	Hersteller der Regelung	Capstone Turbine Corporation
4	- Typenbezeichnung	IGBT based Power Electronics
5	- Verwendete Steuerungs-kurve	Embedded Software Control



5. Sonstige elektrische Daten der EZE

1	Netzkurzschlussleistung	347 kVA
2	Art der Netzkopplung	Grid Interconnect
3	- Hersteller	Capstone Turbine Corporation
4	- Typenbezeichnung	3-phase; 400 V; 50 Hz
5	Netzschutzhersteller	Capstone Turbine Corporation
6	- Typenbezeichnung	Integrated software / electronics
7	Typenbezeichnung der Abschalt-einheit	3-pole contactor (Eaton XT IEC)
8	Umrichterhersteller	Capstone Turbine Corporation
9	Umrichtertyp	Dual Converter (GCM & LCM)
10	Umrichternennscheinleistung	208 kVA
11	Umrichterart	AC→DC (GCM); DC→AC (LCM)
12	Oberschwingungsfilter	Ja

6. Informativer Teil

1	Standort der vermessenen EZE	Van Nuys, California, USA
2	Koordinaten des Standortes	Lat 34.18667 long -118.44897
3	Seriennummer der EZE	Gamma 1

Quelle: Herstellerbescheinigung zu spezifischen Daten einer Mikroturbine /9/



6 Nachweisführung

In diesem Kapitel werden die Nachweise zu den Anforderungen aus Kapitel 3.1 dieses Einheitenzertifikates dargelegt und bewertet. Die Vermessungen wurden durch das nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditierte Messinstitut TÜV Rheinland Italia S.r.l. gemäß der Vorgabe der FGW TR3 /4/ Kapitel 4 sowie Anhang D entsprechend der Anforderungen für Verbrennungskraftmaschinen des Typs 2 durchgeführt. Die Ergebnisse sind dem Prüfbericht Nr. 28107204 001 (Rev2) /7/ entnommen worden und beziehen sich auf die Niederspannungsebene. Die Vermessungen wurden mit einer Mikroturbine Capstone C200 durchgeführt, dessen elektrischen Größen in Kapitel 5 dargestellt sind. Aufgrund der identischen Hardware (C600, C800, C1000 bestehend aus 3, 4 bzw. 5 verbundenen C200 Einheiten) sowie der identischen Software der Regelungstechnik können die Ergebnisse der Vermessung des C200 auf die Einheiten C600, C800 und C1000 übertragen werden.

6.1 Wirkleistungsabgabe

6.1.1 Wirkleistungseinspeisung

Anforderung

Für Erzeugungseinheiten, bei denen die erzeugte Wirkleistung nicht vom Angebot der Primärenergie abhängt, ist die Angabe der maximalen Wirkleistungseinspeisung ausreichend. Die Anforderung zur Wirkleistungseinspeisung gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.2 wurde entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.2.1 geprüft.

Funktionsweise

Die Einheiten C600, C800 und C1000 bestehen aus 3, 4 bzw. 5 verbundenen C200 Einheiten. Daher sind die zu zertifizierenden EZE C200 (C600, C800, C1000) gemäß Herstellerangaben auf eine feste Wirkleistung von 200 kW (600 kW, 800 kW, 1000 kW) eingestellt. Die Wirkleistungseinspeisung wird mittels Motorsteuerung durchgeführt. Die maximale Scheinleistung der EZE-Varianten ergibt sich aufgrund des Blindleistungsvermögens des Umrichters. Die Software der Regelungstechnik ist bei allen EZE-Varianten identisch.



Nachweis

In Tabelle 1 ist die in der Typprüfung gemessene maximale Wirkleistungseinspeisung des C200 abgebildet.

Power Bin.	$P_{0,2}/W$	P_{60}/W	P_{600}/W
First Measurement 100% Displacement factor= 1	196995,60	197175,57	197067,84
Second Measurement 100% Displacement factor= 1	196307,40	196896,59	197015,09

Tabelle 1: Messergebnisse der maximalen Wirkleistungseinspeisung $P_{0,2}$, P_{60} und P_{600} des C200

Bewertung

Die Messergebnisse sind relativ zu den Bemessungswirkleistungen der zu zertifizierenden EZE-Varianten umzurechnen.

6.1.2 Wirkleistungsreduktion durch Sollwertvorgabe

Anforderung

Die Wirkleistungsregelung nach Sollwertvorgabe zwischen 100 % und 0 % der Nennleistung in Stufen von 10 % ist nachzuweisen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich VKM gemäß FGW TR8 /6/ bei einer Leistung $\geq 50 \% P_N$ nicht vom Netz trennen dürfen. Des Weiteren wird ein Erreichen des größten Sollwertsprunges innerhalb von maximal einer Minute gefordert. Die Anforderungen gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.4.3 wurden entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.2.2 geprüft.

Funktionsweise

Gemäß Herstellerangaben lässt sich die Sollwertvorgabe an die Wirkleistung des C200 von 0 kW bis 200 kW in 1 W Schritten parametrieren. Die maximale Sollwertvorgabe der Wirkleistung wird entsprechend der Anzahl an verbundenen C200 Einheiten angepasst (C600 = 600 kW, C800 = 800 kW, C1000 = 1000 kW).

Die Einstelldynamik der Sollwertvorgabe ist ein fester Gradient von 10 % P_N / min und ist nicht parametrierbar.



Die Sollwertvorgabe der Wirkleistung erfolgt über die PC-basierte graphische Anwendung CRMS (Capstone Remote Monitoring Software). Das CRMS ist mittels RS-232 Kommunikationsprotokoll und einem Echtzeitbetriebssystem mit der EZE C200 verbunden.

Nachweis

Die Sollwertvorgabe für die Wirkleistungsreduktion des C200 erfolgte bei der Vermessung durch Sollwertsignale für die Wirkleistungsstufen 0 % bis 100 % der Bemessungswirkleistung in 10%-Schritten mittels RS-232 Kommunikationsprotokoll als Schnittstelle.

In Abbildung 1 und Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Wirkleistungsregelung nach Sollwertvorgabe dargestellt. Dabei beträgt die maximale Überschreitung vom Sollwert 0,21 % P_N und die maximale Unterschreitung vom Sollwert 1,17 % P_N . Die Vermessung zeigt eine Wirkleistungsreduzierung bis auf den Wert 0 % P_N ohne eine Trennung der EZE vom Netz.

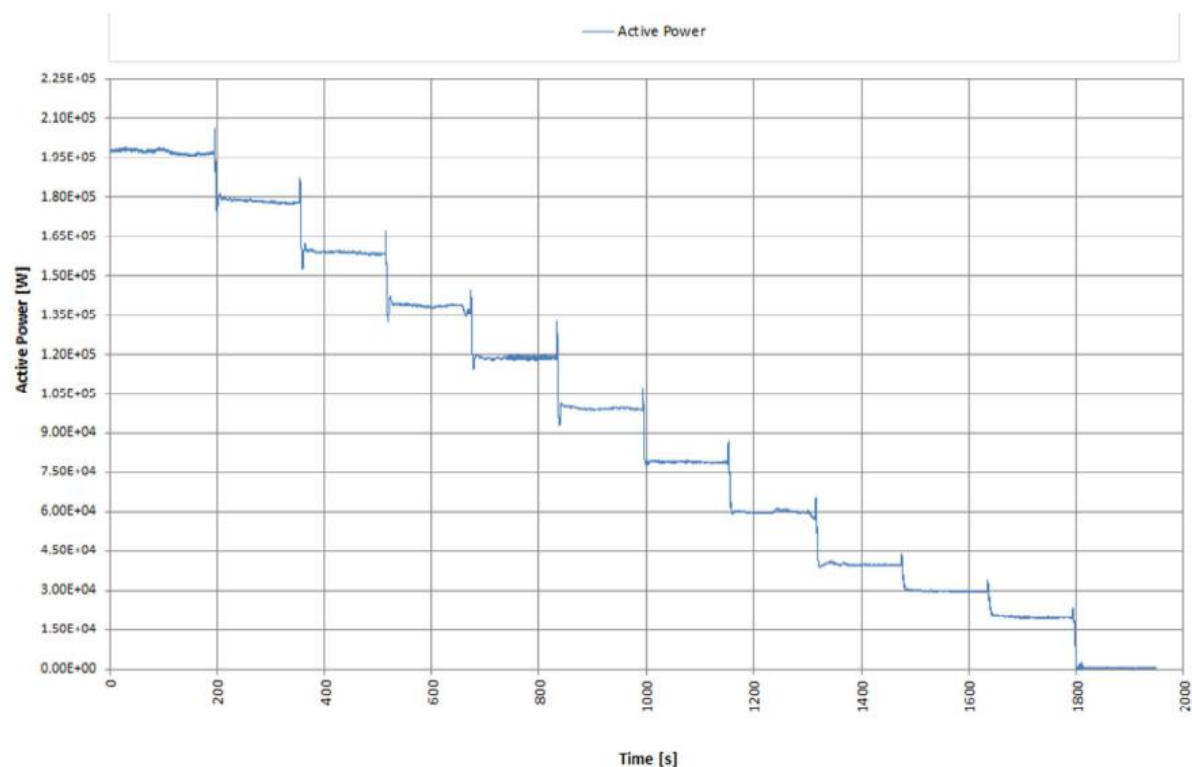
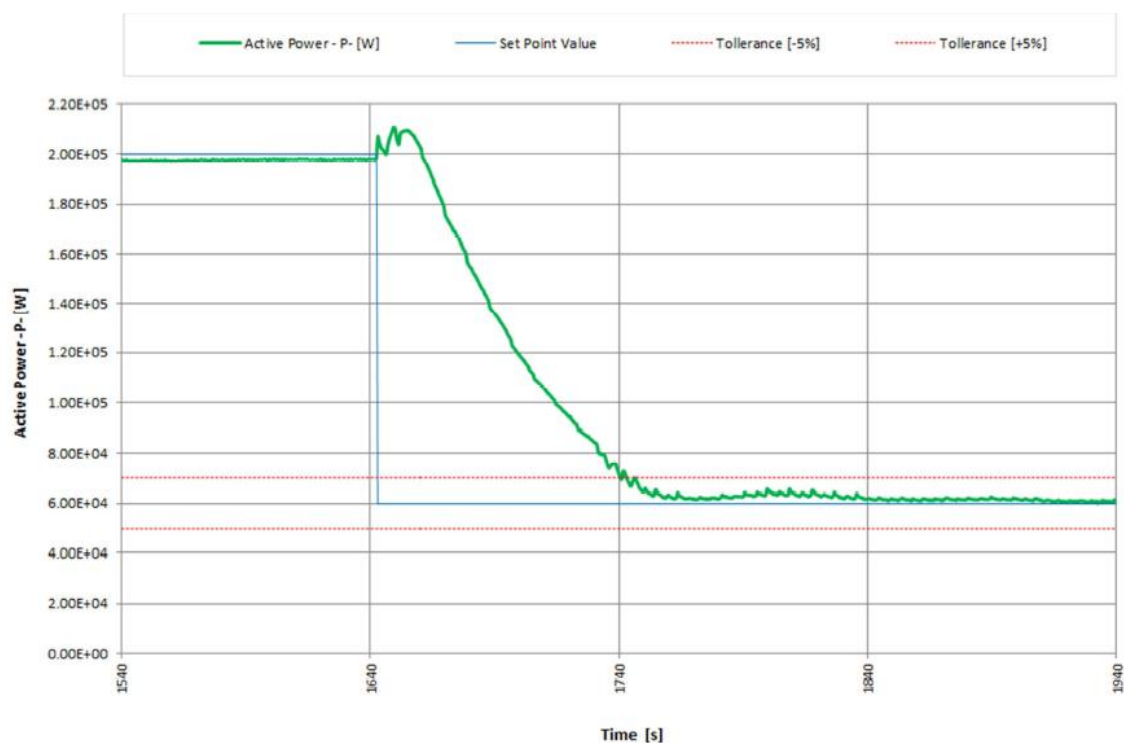


Abbildung 1: Wirkleistungseinspeisung nach Sollwertvorgabe des C200

Nominal active power set-point based on rated active power in %	Nominal active power set-point in W	Measured 1 min average value of active power output in W	Maximal deviation From set-point in W
100% [$\pm 5\%P_N$]	200000	198009.34	-1990.66
90% [$\pm 5\%P_N$]	180000	178500.08	-1499.92
80% [$\pm 5\%P_N$]	160000	158935.10	-1064.90
70% [$\pm 5\%P_N$]	140000	138606.47	-1393.53
60% [$\pm 5\%P_N$]	120000	118865.65	-1134.35
50% [$\pm 5\%P_N$]	100000	99024.69	-975.31
40% [$\pm 5\%P_N$]	80000	79320.30	-679.70
30% [$\pm 5\%P_N$]	60000	59958.40	-41.60
20% [$\pm 5\%P_N$]	40000	39552.04	-447.96
15% [$\pm 5\%P_N$]	30000	29779.92	-220.08
10% [$\pm 5\%P_N$]	20000	19921.24	-78.76
0% [$\pm 5\%P_N$]	0	426.75	426.75
100% [$\pm 5\%P_N$]	200000	197657.63	-2342.37

Tabelle 2: Ergebnisse der Wirkleistungsregelung nach Sollwertvorgabe des C200

Als Nachweis für den größten Sollwertsprung wurde gemäß FGW TR3 /4/ eine Sollwertänderung der Wirkleistung von 100 % auf 30 % P_N durchgeführt. Die Anforderung von maximal einer Minute gilt als erfüllt, wenn der Sollwert innerhalb einer Einschwingzeit von maximal 50 s mit einem Toleranzband von $\pm 5\%$ erreicht wird. Die Abbildung 2 zeigt den Sollwertsprung mit einer Einschwingzeit von 11,0 s.

Abbildung 2: Wirkleistungseinspeisung nach Sollwertsprung von 100 % auf 30 % P_N des C200

Bewertung

Die Anforderungen der BDEW2008 /2/ zur Wirkleistungseinspeisung nach Sollwertvorgabe werden erfüllt. Die gemessene Einstellzeit des Capstone C200 von 11,0 s wird gemäß FGW TR8 /6/ ebenso für alle weiteren zertifizierten EZE-Varianten angesetzt.

6.1.3 Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz

Anforderung

Bei einer Netzfrequenz von $> 50,2$ Hz wird eine Leistungsreduktion mit einem Gradienten von 40 % der Wirkleistung je Hertz gefordert. Die Anforderung an die Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.4.3 wurde entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.2.3 geprüft.

Funktionsweise

Die Umsetzung der Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz ist aktiviert sobald die EZE im BDEW Compliance Mode betrieben wird. Sobald eine Frequenz von $> 50,2$ Hz erreicht wird, wird der Wert der momentanen Leistung eingefroren und die EZE führt eine Leistungsreduktion mit einem Gradient von 40 % der Wirkleistung je Hertz durch. Eine Wirkleistungserhöhung startet wieder bei einer Netzfrequenz von $\leq 50,05$ Hz. In Tabelle 3 sind die Standardwerte für die Wirkleistungs-Frequenz-Regelung der EZE dargestellt. Die Parameter sind feste Einstellwerte und sind über das CRMS (Capstone Remote Monitoring Software) einsehbar, aber nicht parametrierbar.

Parameter- beschreibung	Einheit	Standard- wert
Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz		
Startwert für Wirkleistungs- reduzierung	Hz	50,2
Gradient für Wirkleistungs- reduzierung	% P_N / Hz	40

Tabelle 3: Parameterbereiche für die Wirkleistungs-Frequenz-Regelung



Nachweis

Die Netzfrequenz wurde bei der Vermessung des C200 anhand eines Netzsimulators angepasst. Des Weiteren wurde bei der Vermessung ein Gradient für die Wirkleistungsreduzierung von 40 % P_N / min eingestellt. In den Tabellen 4 bis 7 sind die Ergebnisse der Vermessung bei $> 80 \% P_N$ und 40 – 60 % P_N dargestellt.

Step #	“-“ Tolerance [Hz]	Frequency Setting [Hz]	“+“ Tolerance [Hz]	Expected power reduction
1	49.99	50.00	50.01	No Reduction
2	50.20	50.25	50.30	2 % P _{nom}
3	50.60	50.70	50.80	20 % P _{nom}
4	51.10	51.15	51.20	38 % P _{nom}
5	50.06	50.07	50.08	No additional reduction
6	49.99	50.00	50.01	Increment to the max. available active output power

Tabelle 4: Angefahrene Netzfrequenzen zum Testen der Leistungsreduktion bei Überfrequenz

Sequence A – Set Value: 87% P _{nom} .			
Step #	Set output power [%]	frequency [Hz] [± 10 mHz]	Actual power values [W]
1	> 80P _n .	50,00 ± 0,01 Hz	173229
2	> 80P _n .	50,25 Hz	169372
3	> 80P _n .	50,70 Hz	138224
4	> 80P _n .	51,15 Hz	107508
5	> 80P _n .	50,07 Hz	107097
6	> 80P _n .	50,00 ± 0,01 Hz	171621

Tabelle 5: Ergebnisse der Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz des C200 bei $> 0,8 \times P_N$

Sequence B			
Step #	Set output power [%]	frequency [Hz] [± 10 mHz]	Actual power values [W]
1	40% ÷ 60% P _n	50,00 ± 0,01 Hz	99550
2	40% ÷ 60% P _n .	50,25 Hz	97370
3	40% ÷ 60% P _n	50,70 Hz	79568
4	40% ÷ 60% P _n	51,15 Hz	61657
5	40% ÷ 60% P _n	50,07 Hz	61750
6	40% ÷ 60% P _n	50,00 ± 0,01 Hz	99526

Tabelle 6: Ergebnisse der Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz des C200 bei 0,4 – 0,6 $\times P_N$



Set power gradient:	40%P _n /minute (see Figure 4.2.3a)	
Measured power Gradient *: @87% P_{nom}.	Between step 2 and 3:	39.6%
	Between step 3 and 4:	39.0%

Set power gradient:	40%P _n /minute (see Figure 4.2.3a)	
Measured power Gradient *: @50% P_{nom}.	Between step 2 and 3:	39.6%
	Between step 3 and 4:	39.8%

Tabelle 7: Ergebnisse des Wirkleistungsgradienten des C200 bei $> 0,8xP_N$ und $0,4 - 0,6xP_N$

Bewertung

Die Toleranzen für die sich einstellende Wirkleistung von $\pm 10 \% P_N$ werden bei allen Frequenzstufen eingehalten. Die Anforderung der BDEW2008 /2/ zur Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz wird erfüllt.



6.2 Zuschaltbedingungen

6.2.1 Grenzwerte für die Wiederschaltung

Anforderung

Es wird gefordert, dass die EZE erst bei einer Netzspannung von mindestens 95 % U_N und einer Netzfrequenz zwischen 47,5 Hz und 50,05 Hz wieder zuschaltet. Die Anforderungen der Grenzwerte für die Wiederschaltung gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.5 wurden entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.3.1 geprüft.

Funktionsweise

Die Zuschaltbedingungen des C200 werden über die Software des netzseitigen Umrichters (Load Control Modul) überwacht. In Tabelle 8 sind die Standardwerte für die Wiederschaltung der EZE dargestellt. Die Zuschaltsschwellen sind als feste Einstellwerte parametrisiert und über das CRMS (Capstone Remote Monitoring System) einsehbar, aber nicht veränderbar. Nur wenn alle drei Kriterien erfüllt werden, beginnt die EZE ihre Startphase.

Parameter- beschreibung	Einheit	Standard- wert
Grenzwerte für die Wiederschaltung		
Untere Zuschalt- schwelle Spannung	V	380
Untere Zuschalt- schwelle Frequenz	Hz	47,50
Obere Zuschalt- schwelle Frequenz	Hz	50,05

Tabelle 8: Parameterbereiche für die Wiederschaltkriterien

Nachweis

Für den Nachweis, dass die EZE erst bei einer Netzspannung von mindestens 95 % U_N und einer Netzfrequenz zwischen 47,5 Hz und 50,05 Hz wieder zuschaltet, wurden die Tests gemäß FGW TR3 /4/ mit der VKM des Typs C200 durchgeführt. In Abbildung 3 bis 5 sind die Ergebnisse der Vermessung dargestellt.



Grid voltage [%]	90	91	92	93	94
Grid voltage [V]	207.8	210.1	212.4	214.7	217.0
Connection [Yes/No]	No	No	No	No	No
Connecting at	Grid voltage [V]:		221.7		

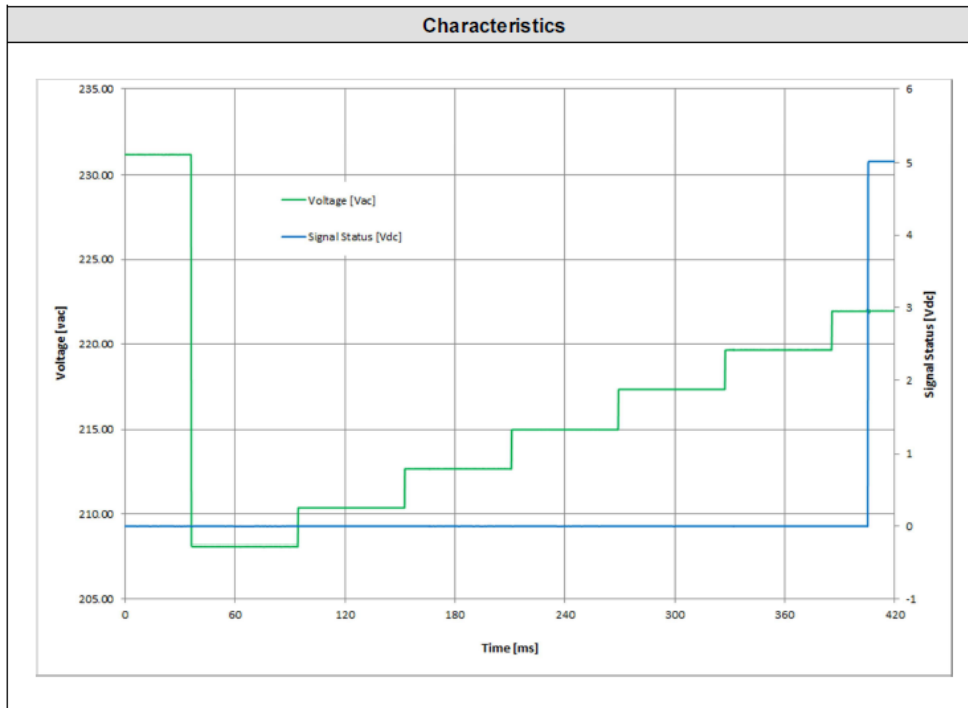


Abbildung 3: Ergebnisse der Unterspannungsprüfungen zur Wiederschaltung des C200

Grid frequency f [Hz]	47.00	47.10	47.20	47.30	47.40
Connection [Yes/No]	No	No	No	No	No
Connecting at	Grid frequency [Hz]:		47.60		

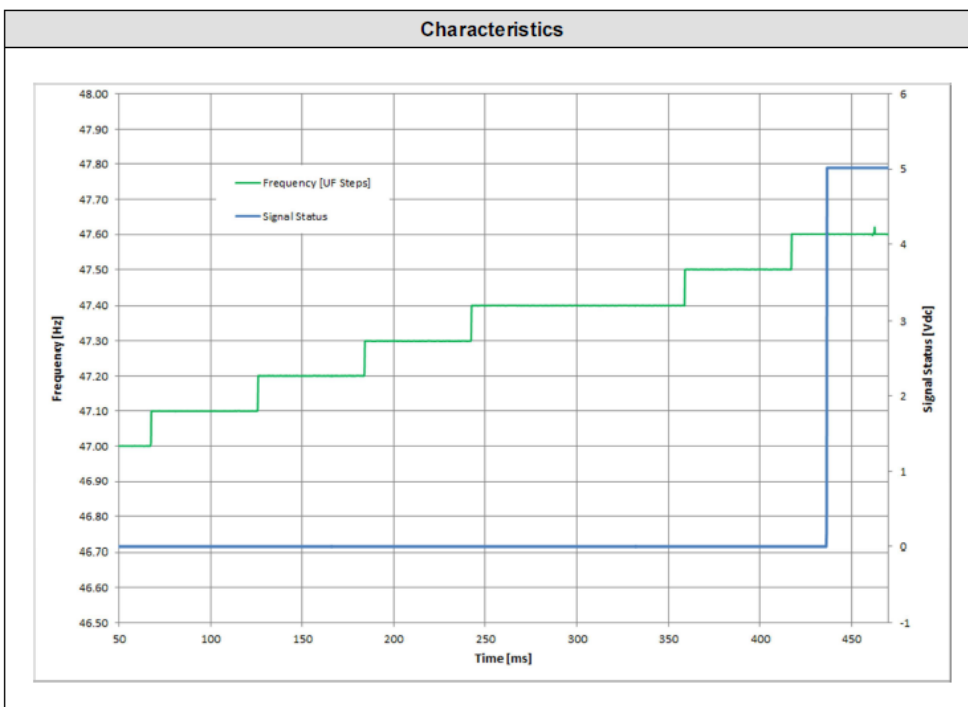


Abbildung 4: Ergebnisse der Unterfrequenzprüfung zur Wiederschaltung des C200

Grid frequency f [Hz]	50.15	50.13	50.11	50.09	50.07
Connection [y/n]	No	No	No	No	No
Connecting at	Grid frequency [Hz]:		50.05		

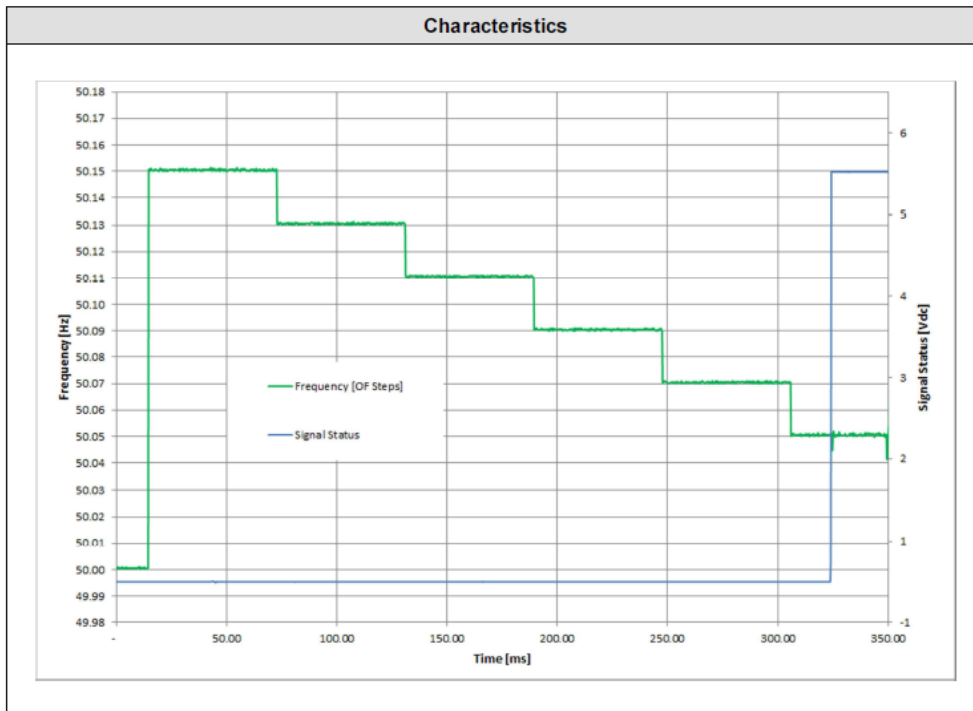


Abbildung 5: Ergebnisse der Überfrequenzprüfung zur Wiederschaltung des C200

Bewertung

Die Einstellwerte der Wiederschaltung entsprechen den Vorgaben der BDEW2008 /2/. Die Anforderungen zur Wiederschaltung werden damit erfüllt.

6.2.2 Wirkleistungsgradient

Anforderung

Für Erzeugungsanlagen > 1 MVA hat nach Wiederschaltung die Wirkleistungssteigerung mit einem Gradienten von maximal 10 % der Nennleistung pro Minute stattzufinden. Die Anforderung gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.5 wurde entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.3.2 geprüft.

Funktionsweise

Gemäß Herstellerangabe ist der Standardwert für den maximalen Wirkleistungsgradient von 10 % P_N / min eingestellt. Dieser ist über das CRMS (Capstone Remote Monitoring System) einsehbar, jedoch nicht veränderbar.

Nachweis

Der Wirkleistungsgradient wurde anhand der Vermessung mit der VKM des Typs C200 verifiziert. Bei der Vermessung wurde ein Wirkleistungsgradient von maximal 10 % P_N / min eingestellt. Anhand der Ergebnisse in Tabelle 9 und Abbildung 6 ist erkennbar, dass die Wirkleistung nach Wiedereinschaltung an der EZE mit einem Gradient von ungefähr 10 % P_N pro Minute steigt. Der maximale Gradient beträgt 10,36 % P_N pro Minute bei Überspannung.

Set Active Power Ramp Rate [Pn/min %]	10%Pn/ minute (see Figure 4.2.4a)	
Measured Active Power Ramp Rate * [1-min-mean-value]	Under Voltage	10.29% Pn/ minute
	Over Voltage	10.36% Pn/ minute
	Under Frequency	9.87% Pn/ minute
	Over Frequency	10.25% Pn/ minute
Maximum Active Power Ramp Rate * [1-min-mean-value]	10.36% Pn/ minute	

Tabelle 9: Ergebnis des maximalen Wirkleistungsgradienten nach Wiedereinschaltung des C200

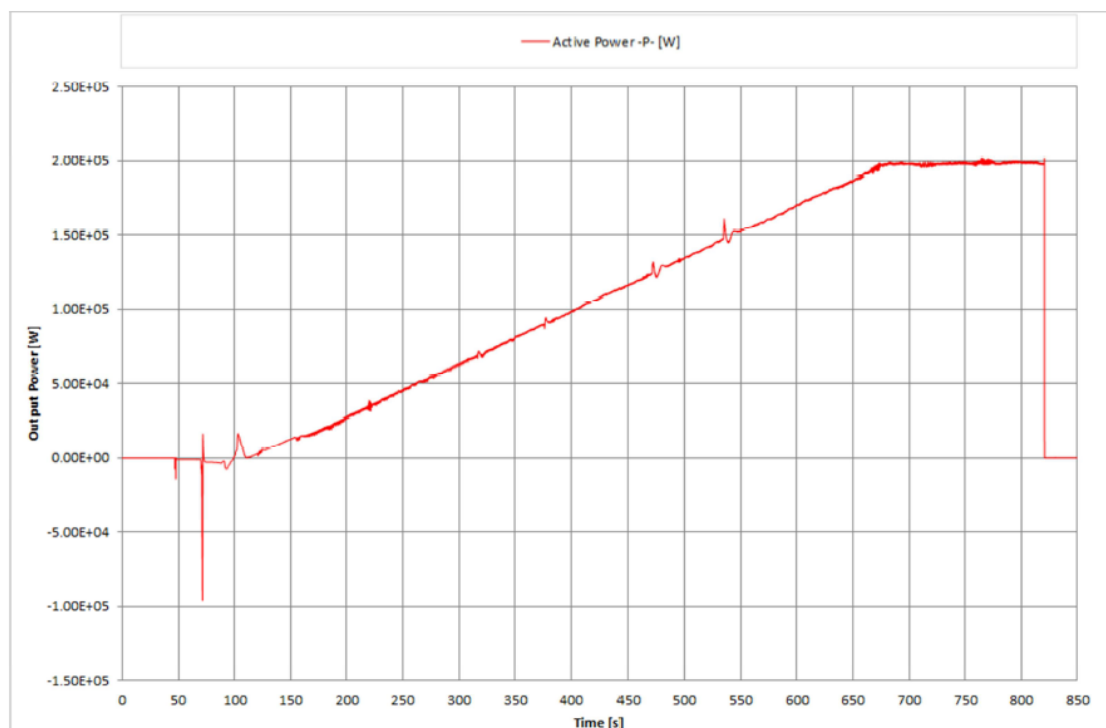


Abbildung 6: Ergebnis des Wirkleistungsgradienten nach Wiedereinschaltung des C200 bei Überspannung

Bewertung

Die Typprüfung zeigt, dass der Wirkleistungsgradient nach Wiederschaltung an der EZE maximal 10,36 % P_N pro Minute ist. Die Anforderung für EZA, dass die Wirkleistung nach Wiederschaltung gemäß BDEW2008 /2/ mit einem Gradient von maximal 10 % P_{AV} pro Minute steigt, ist im Zuge der Anlagenzertifizierung unter Berücksichtigung der Betriebsführung der EZE zu überprüfen.



6.3 Blindleistungsbereitstellung

6.3.1 Maximaler Blindleistungsstellbereich

Anforderung

Für Erzeugungsanlagen, deren Blindleistungswerte abhängig von der erzeugten Wirkleistung sind, wird die Angabe der maximalen Blindleistung für untererregten und übererregten Blindleistungsbezug in Abhängigkeit der Einspeise-Wirkleistung gefordert. Die Anforderung an den maximalen Blindleistungsstellbereich gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.4.4.1 wurde entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.4.1 a) geprüft.

Funktionsweise

Das Blindleistungsvermögen der EZEs basiert auf der Herstellererklärung /8/ sowie den Angaben aus der Herstellerbescheinigung zu spezifischen Daten einer Mikroturbine /9/. Nachstehend ist das PQ-Diagramm des Capstone C200 in Abhängigkeit der Spannung ($0,88U_N - 1,26U_N$) dargestellt.

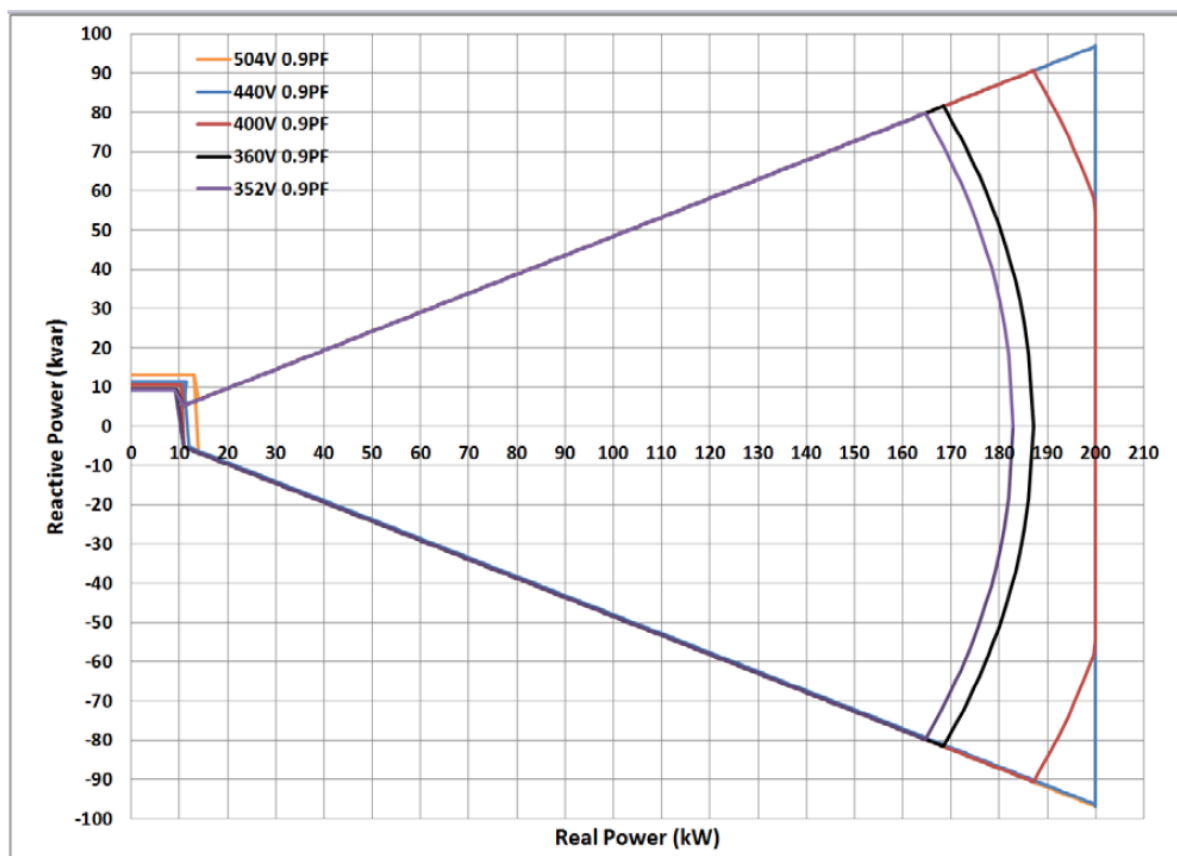


Abbildung 7: Maximales Blindleistungsvermögen des C200

Die Scheinstromgrenze des C200 beträgt 300 A. Aufgrund der gegebenen Scheinstromgrenze des C200 wird das Blindleistungsvermögen entsprechend der Abbildung 7 eingeschränkt. Maximal kann Blindleistung mit einem Leistungsfaktor von $0,9_{\text{untererregt}}$ bis $0,9_{\text{übererregt}}$ unter Berücksichtigung der Stromgrenzen zur Verfügung gestellt werden.

Die EZE-Varianten C600, C800 und C1000 bestehen aus mehreren (3, 4 bzw. 5) verbundenen C200 Einheiten. Daher kann das PQ-Diagramm des C200 unter Berücksichtigung der Anzahl an C200 Einheiten sowie der Leistungs- und Stromgrenzen aus Tabelle 10 angewendet werden.

EZE-Variante	Pmax [kW]	Qmax [cosφ]	I _{max} [A]
C200	200	± 0,90	300
C600	600	± 0,90	900
C800	800	± 0,90	1200
C1000	1000	± 0,90	1500

Tabelle 10: Leistungs- und Stromgrenzen des C200, C600, C800, C1000

Die EZEs können im Modus mit konstantem Leistungsfaktor betrieben werden. Dabei wird die Blindleistungsbereitstellung gegenüber der Wirkleistung priorisiert. Es sind die maximalen Leistungswerte im Zuge der Anlagenzertifizierung zu beachten.

Hinweis: Bei der Anlagenzertifizierung muss möglicherweise eine feste Wirkleistungsreduzierung beachtet werden, um die Anforderungen am NAP einhalten zu können.

Nachweis

Die Vermessung der Blindleistungsbereitstellung wurde an der EZE durchgeführt und basiert auf der Leistungsfaktoreinstellung von $\cos \varphi = 0,9$. In Tabelle 11 - 13 und Abbildung 8 und 9 sind die Ergebnisse der Vermessung des Blindleistungsstellbereiches des Capstone C200 dargestellt.



Available power P/Pn [%]	Active Power [W]	Reactive Power [VAR]	Q/Pn (max. capacitive) [%]	cos ϕ parameter value (max. capacitive)
5	10357.306	5755.817	2.9	0.874
8	16104.587	8202.943	4.1	0.891
10	19943.792	10329.519	5.1	0.888
20	39822.385	19276.923	9.6	0.900
30	59744.175	28707.454	14.3	0.901
40	79805.138	37709.141	18.9	0.904
50	99595.638	46859.068	23.3	0.905
60	119404.907	55774.595	27.8	0.906
70	139240.339	65005.908	32.6	0.906
80	159202.762	73713.497	36.8	0.907
90	179018.760	82510.978	41.1	0.908
93	185934.854	85629.234	42.9	0.908
100	198143.64	53005.14	26.8	0.966

Tabelle 11: Ergebnis der Vermessung der übererregten Blindleistungsbereitstellung des C200

Available power P/Pn [%]	Active Power [W]	Reactive Power [VAR]	Q/Pn (max. inductive) [%]	cos ϕ parameter value (max. inductive)
5	10343.172	4814.058	2.4	0.906
8	16092.540	4944.162	2.5	0.956
10	19944.315	5400.878	2.7	0.965
20	39956.382	-16700.616	-8.3	0.923
30	59639.847	-26102.451	-13.0	0.916
40	79559.308	-35584.203	-17.9	0.913
50	99581.365	-45768.255	-22.8	0.909
60	119393.506	-55642.138	-27.7	0.906
70	139043.205	-65666.344	-32.6	0.904
80	158885.662	-75712.345	-38.0	0.903
90	178942.308	-86117.014	-43.4	0.901
93	185897.545	-89539.849	-44.8	0.901
100	195412.12	-56626.74	-29.0	0.960

Tabelle 12: Ergebnis der Vermessung der untererregten Blindleistungsbereitstellung des C200

Available power P/Pn [%]	Active Power [W]	Reactive Power [VAR]	Q/Pn - Unity [%]	cos ϕ parameter value (Unity)
5	10466.533	3053.138	1.5	0.960
8	16281.034	5316.320	2.6	0.951
10	20124.161	472.725	1.2	0.940
20	39658.924	5224.882	2.6	0.991
30	59467.314	4887.154	2.3	0.997
40	79442.160	4664.056	2.4	0.998
50	99206.844	4631.046	2.3	0.999
60	119287.989	4456.329	2.4	0.999
70	138858.638	4299.583	2.0	1.000
80	158295.022	4186.061	2.2	1.000
90	178321.192	4098.164	2.0	1.000
93	185238.951	4071.770	2.1	1.000
100	196828.167	4055.342	2.2	1.000

Tabelle 13: Ergebnis der Vermessung der Blindleistungsbereitstellung mit cos ϕ =1 des C200

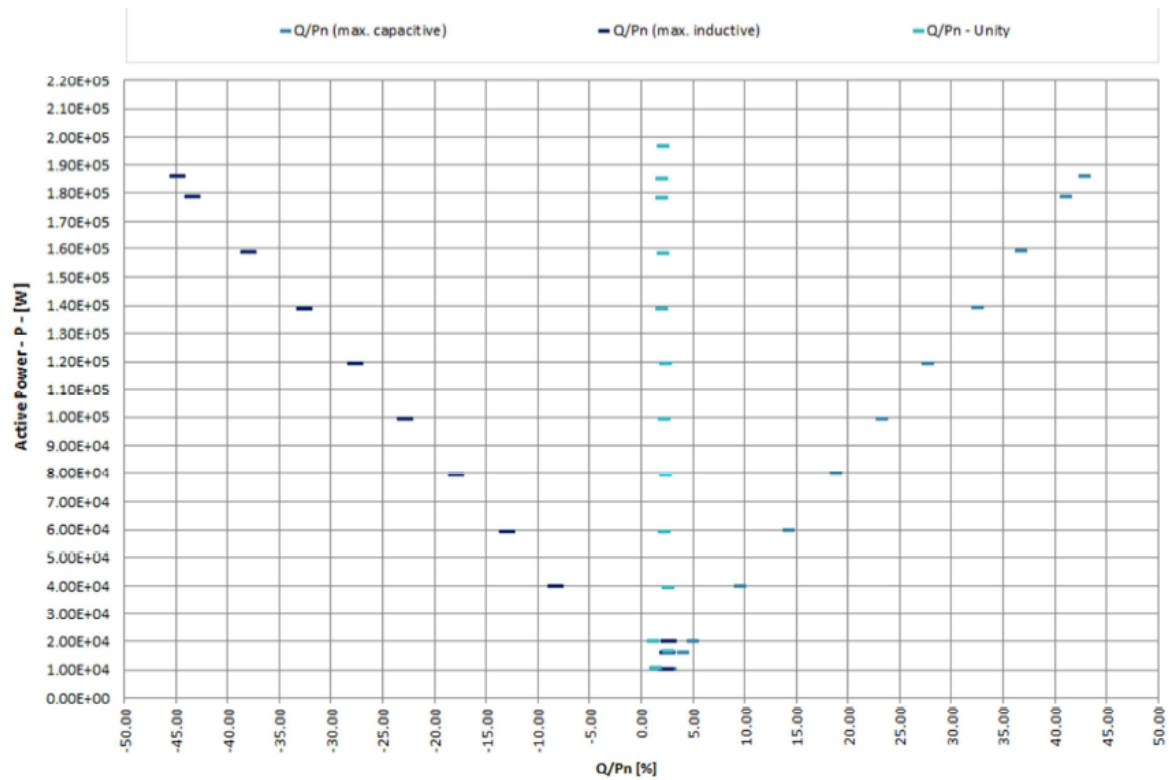


Abbildung 8: Ergebnis der Vermessung der Blindleistungsbereitstellung des C200 (1)

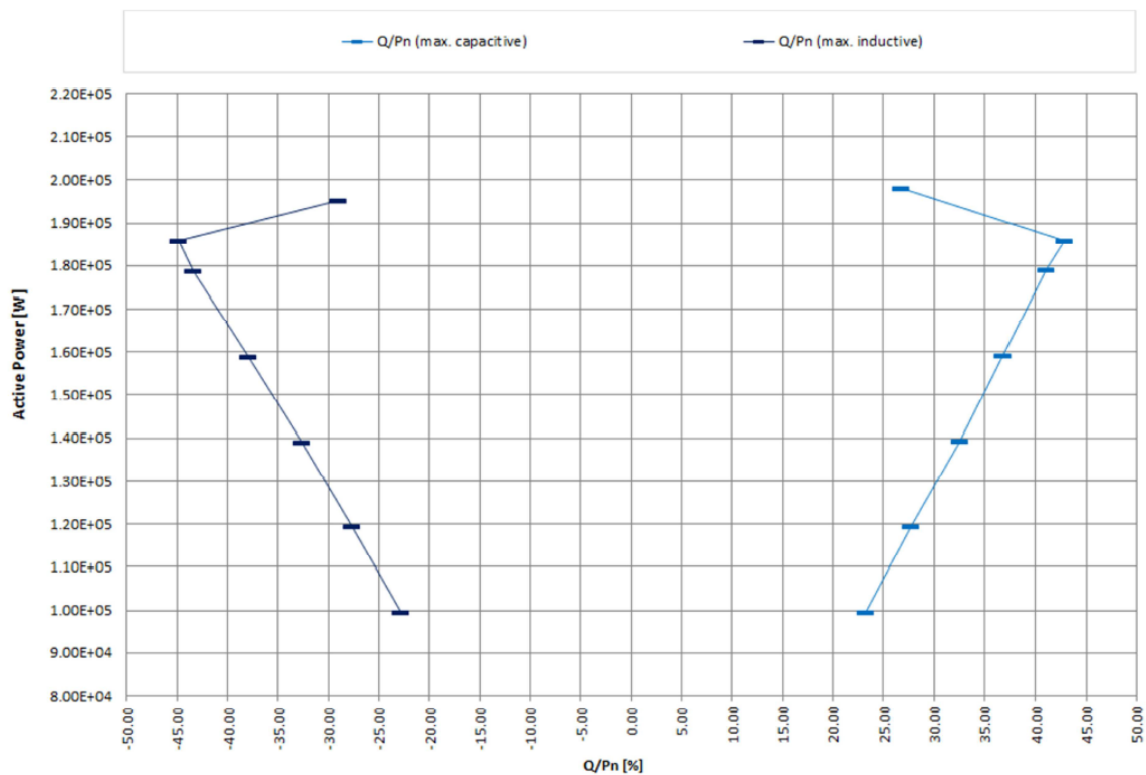


Abbildung 9: Ergebnis der Vermessung der Blindleistungsbereitstellung des C200 (2)

Bewertung

Die Ergebnisse der Vermessung bestätigen für den Capstone C200 ein Blindleistungsvermögen entsprechend eines Leistungsfaktors von 0,9_{untererregt} bis 0,9_{übererregt}. Gemäß Herstellerangaben kann das PQ-Diagramm für den C200 auf die EZE-Varianten C600, C800, C1000 in Abhängigkeit der Anzahl an C200 Einheiten sowie der Leistungsgrenzen angewendet werden.

6.3.2 Blindleistungsregelung nach Sollwertangabe

Anforderung

Nachgewiesen werden muss, dass die Vorgabe eines Verschiebungsfaktors an den Klemmen der EZE eingehalten wird. Dabei beträgt der zulässige Fehler für $\cos\varphi$ 0,005. Die Anforderung gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.4.4.1 wurde entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.4.1 b) geprüft.

Funktionsweise

Die zu zertifizierenden EZE können folgende Blindleistungsmodi realisieren:

- Fester $\cos\varphi$ -Sollwert
- Leistungsfaktor-Wirkleistungs-Kennlinie $\cos\varphi(P)$
- Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie $Q(U)$

Die Sollwertvorgabe der Blindleistung erfolgt über die PC-basierte graphische Anwendung CRMS (Capstone Remote Monitoring Software). Das CRMS ist mittels RS-232 Kommunikationsprotokoll und einem Echtzeitbetriebssystem mit der EZE C200 verbunden. Die Aktivierung der Modi ist in der Technical Reference – CRMS Capstone Remote Monitoring Software /13/ beschrieben. Die Umsetzung der Blindleistungsregelung erfolgt dann über die Software des netzseitigen Umrichters (Load Control Modul). Der feste Leistungsfaktor-Sollwert kann über das CRMS zwischen 0,9_{übererregt} und 0,9_{untererregt} mit einer Schrittweite von 0,01 parametrisiert werden.

Die Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie ($Q(U)$) kann über das CRMS vom Benutzer aktiviert bzw. deaktiviert werden. Die Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie ($Q(U)$) ist dabei vordefiniert und kann nicht verändert werden. Abbildung 10 zeigt die in der EZE hinterlegten Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie ($Q(U)$). Bei einer Spannung von 96 % U_N speist die EZE die maximal übererregte Blindleistung ein. Bei einer

Spannung von 104 % U_N wird die maximal untererregte Blindleistung eingespeist. Zwischen diesen beiden Datenpunkten wird linear geregelt. Dabei wird die maximal untererregte sowie übererregte Blindleistung entsprechend des PQ-Diagramms aus Kapitel 6.3.1 definiert und ist daher abhängig von der Wirkleistung, bei der die EZE betrieben wird.

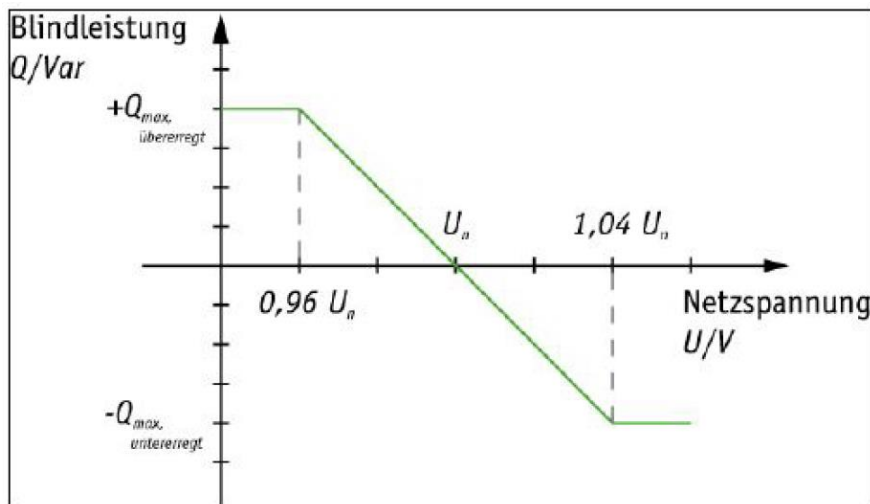


Abbildung 10: Parametrierung der Blindleistungs-Spannungs-Kennlinie

Die Leistungsfaktor-Wirkleistungs-Kennlinie ($\cos\phi(P)$) kann über das CRMS vom Benutzer mittels bis zu 10 Datenpunkten realisiert werden. In Tabelle 14 ist der mögliche Parameterbereich der Kennlinie dargestellt.

Parameter- beschreibung	Einheit	Min.	Max.	Schritt- weite
$\cos\phi(P)$-Kennlinie				
cosphi	-	0,90	1,00	0,01
Auswahl cosphi	-	LEAD oder LAG		
P	% P_N	0	100	1

Tabelle 14: Einstellbereiche Leistungsfaktor-Wirkleistungs-Kennlinie

Die Einstellungen müssen plausibel auf Grundlage des Blindleistungs- sowie Wirkleistungsvermögens gemäß Kapitel 6.3.1 im zulässigen Spannungsbereich vorgenommen werden.

Nachweis

Die Vermessung der Blindleistungsregelung nach Sollwertvorgabe wurde mit der VKM des Typs C200 durchgeführt. In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Vermessung nach Sollwertvorgabe mit einem festen Blindleistungsfaktor dargestellt. Als Sollwert wurde Blindleistung entsprechend der Leistungsfaktoren von $\cos\varphi = 0,9_{\text{untererregt}}$ und $0,9_{\text{übererregt}}$ sowie $\cos\varphi = 1$ eingestellt. Die maximale Abweichung zwischen der gemessenen Blindleistung und der Sollwertvorgabe beträgt 1,96 % P_N .

Set-Point Pn[%]	Reactive power Set-point Q/Pn [%]	Measured Q/Pn [%]	Deviation $\Delta Q/Pn$ [%]
$Q_{\max \text{ind}}$ @ 50%Pn	-24.22 (-48450 VAr)	-22.92 (-45848 VAr)	+1.30 (2602 VAr)
0 (KVar) @ 50%Pn	0	+1.96 (3925 VAr)	+1.96 (3925 VAr)
$Q_{\max \text{cap}}$ @ 50%Pn	24.22 (48450 VAr)	23.48 (46956 VAr)	-0.75 (1494 VAr)

Tabelle 15: Ergebnis der Vermessung der Blindleistungsregelung des C200

Zusätzlich wurde eine Q(U)-Regelung vermessen. Dazu wurde die in der EZE vordefinierte Q(U) Kennlinie parametrisiert. Gemäß Herstellerangabe beträgt bei einer Wirkleistung von 93 % P/P_N und den Spannungen 0,96 U_N sowie 1,04 U_N die maximale Blindleistung $Q_{\max} = \pm 78,956 \text{ kVar}$ und bei 87,5 % P/P_N und den Spannungen 0,96 U_N sowie 1,04 U_N $Q_{\max} = \pm 73,888 \text{ kVar}$.

Die Ergebnisse der Vermessung der Q(U)-Kennlinie bei diesen beiden Betriebspunkten sind in Tabelle 16 und 17 dargestellt. Die maximale Einschwingzeit bei der Vermessung liegt gemäß TR3-Prüfbericht /7/ bei 9,8s beim Spannungssprung von 0,96 U_N auf 1,04 U_N . Die maximale Abweichung zwischen der gemessenen Blindleistung und der Sollwertvorgabe beträgt 3,36 % P_N .



Tabelle 16: Ergebnis der Vermessung der Q(U)-Kennlinie des C200 bei $P_N = 187 \text{ kW}$ Tabelle 17: Ergebnis der Vermessung der Q(U)-Kennlinie des C200 bei $P_N = 175 \text{ kW}$

Bewertung

Die Toleranz bei der Sollwertvorgabe mit einer festen Blindleistung und mit einer Q(U)-Kennlinie gemäß FGW TR8 /6/ von $\pm 0,05 P_N$ wurde eingehalten. Damit wird die Anforderung der BDEW2008 /2/ zur Blindleistungsregelung nach Sollwertvorgabe vollständig erfüllt.



6.3.3 Q-Übergangsfunktion

Anforderung

Die zeitliche Änderung der Blindleistung nach Änderung eines vorgegebenen Sollwertes darf maximal eine Minute betragen. Dabei muss ein Sollwertsprung von maximaler induktiver auf maximale kapazitive Blindleistungseinspeisung und umgekehrt vorgegeben werden. Die Anforderungen zur Blindleistungs-Übergangsfunktion gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.4.4.2 wurden entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.4.2 geprüft.

Funktionsweise

Die Umsetzung der Blindleistungsreglung erfolgt über die Software des netzseitigen Umrichters (Load Control Module) und wird über das CRMS eingestellt. Die Einstelldynamik der Blindleistungsregelung ergibt sich aus dessen Regeltätigkeit.

Nachweis

Die Q-Übergangsfunktion wurde anhand der Vermessung mit der VKM des Typs C200 bei voller Wirkleistungseinspeisung und einer Einspeisung von 50 % der Nennleistung verifiziert. Bei der Vermessung der Übergangsfunktion wurden die Blindleistungssollwerte auf die Maximalwerte für induktiven bzw. kapazitiven Betrieb gesetzt:

- Kapazitiv: $\cos \varphi = 0,9_{\text{übererregt}}$
- Induktiv: $\cos \varphi = 0,9_{\text{untererregt}}$

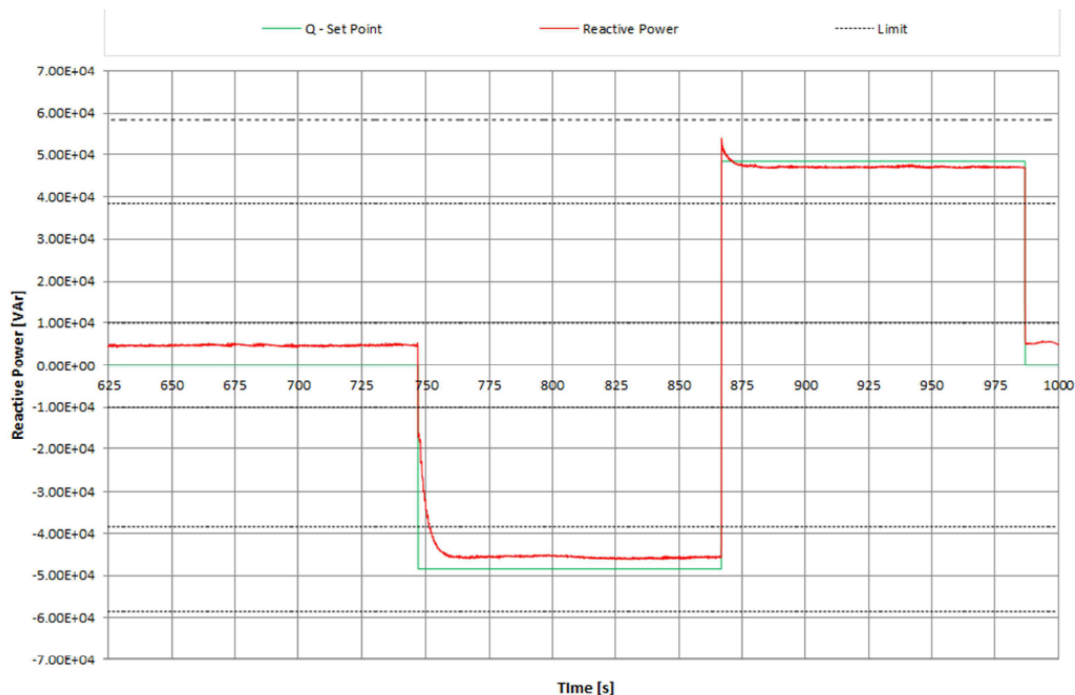
Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse für die Blindleistungsübergangsfunktion:



	P ₆₀ [W]	Q ₆₀ [VAr]	cos φ ₆₀	U ₆₀ [V]
1. test run at P = 50% P _n				
1. Step Q ₀	99205.76	4687.15	0.999	232.19
Settling time [s]	11.0			
3. Step -Q _{max}	99573.99	-45609.72	0.91	231.73
Settling time [s]	5.0			
4. Step +Q _{max}	99621.23	47069.24	0.904	232.60
Settling time [s]	0.7			
5. Step Q ₀	99205.76	4687.15	0.999	232.19
Maximum settling time [s]:			11.0	
2. test run at P = 93.5% P _n (Remark) if Q range deviates at 50%P _n by a maximum of 10% P _n from the maximum range (see figure 2)				
X2 > (X1 + 10%P _n) = 87.2 KVar > (42,5 + 20) – Capstone C200 microturbine model.				
1. Step Q ₀	185660.73	4072.581	1.000	233.15
Settling time [s]	13.0			
3. Step -Q _{max}	186291.631	-89776.519	0.901	232.295
Settling time [s]	6.0			
4. Step +Q _{max}	186053.435	67985.268	0.907	233.805
Settling time [s]	0.7			
5. Step Q ₀	185660.73	4072.581	1.000	233.15
Maximum settling time [s]:			13.0	

Tabelle 18: Ergebnis der Q-Übergangsfunktion bei 50% P_N und 93,5% P_N des C200

Bei 50% Bemessungswirkleistung ergaben sich folgende Ergebnisse:

Abbildung 11: Ergebnis Q-Übergangsfunktion bei 50% P_N des C200

Bei 93,5% Bemessungswirkleistung ergaben sich folgende Ergebnisse:

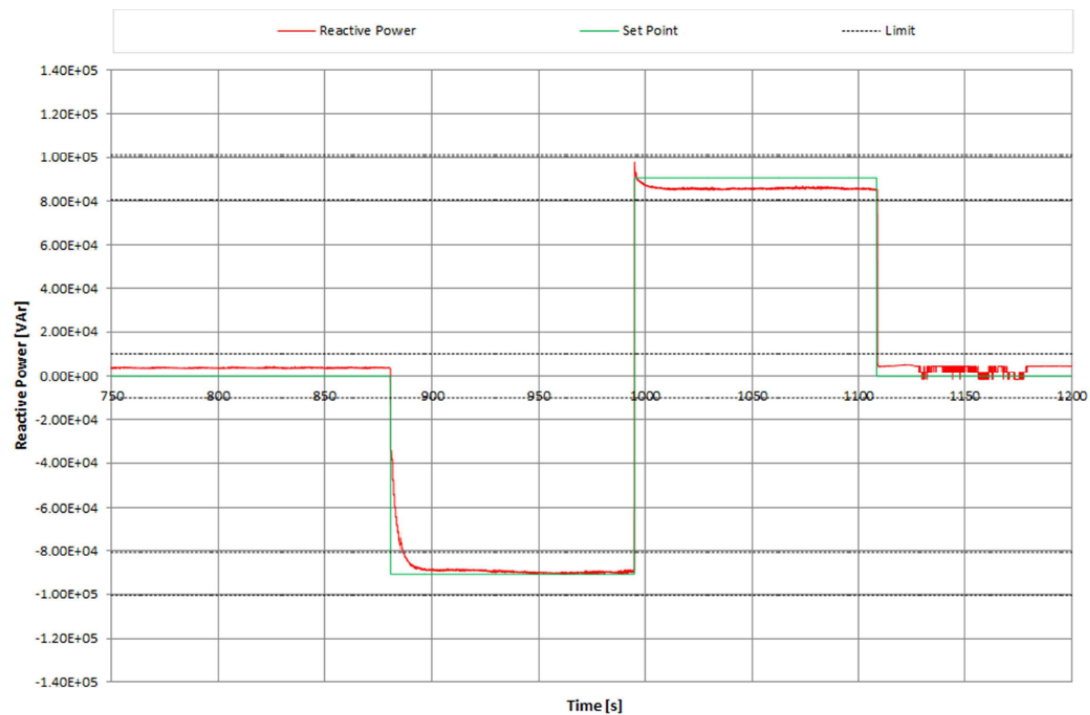


Abbildung 12: Ergebnis Q-Übergangsfunktion bei 93,5% P_N des C200

Bewertung

Die maximale Übergangszeit bei der Vermessung betrug 13 s und erfüllt damit die Anforderung der BDEW2008 /2/ von maximal einer Minute. Die gemessene Einstellzeit des Capstone C200 wird gemäß FGW TR8 /6/ ebenso für die EZE-Varianten C600, C800, C1000 angesetzt. Das Toleranzband der Wirkleistung von $\pm 5\% P_N$ wurde in keinem Versuch unter- bzw. überschritten.

6.4 Nachweis der Netzurückwirkungen

Die Messungen zu den Netzurückwirkungen wurden mit der VKM des Typs C200 durchgeführt. Es wurden die Anforderungen gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.3 entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.5 geprüft. Die Tests wurden entsprechend der FGW TR3 /4/ durchgeführt. Die Ergebnisse sind im TR3-Prüfbericht /7/ enthalten. Im Folgenden sind die Ergebnisse zu den Netzurückwirkungen aus diesem Bericht zusammengefasst.

6.4.1 Schaltheandlungen

In Tabelle 19 bis 22 sind die Ergebnisse der Vermessung der schaltbedingten Spannungsänderung (Flickerformfaktor, Spannungsänderungsfaktor, maximaler Schaltstromfaktor) zusammengefasst.

Netzimpedanzwinkel Ψ_k	30°	50°	70°	85°
Flickerformfaktor $k_f(\Psi_k)$	0,900	0,904	0,705	0,491
Spannungsänderungsfaktor $k_u(\Psi_k)$	0,941	0,691	0,531	0,498

Tabelle 19: Flickerformfaktor und Spannungsänderungsfaktor beim Einschaltvorgang bei 10 % Bemessungswirkleistung des C200 in Abhängigkeit des Netzimpedanzwinkels

Netzimpedanzwinkel Ψ_k	30°	50°	70°	85°
Flickerformfaktor $k_f(\Psi_k)$	0,386	0,345	0,275	0,223
Spannungsänderungsfaktor $k_u(\Psi_k)$	0,463	0,269	0,245	0,252

Tabelle 20: Flickerformfaktor und Spannungsänderungsfaktor beim Einschaltvorgang bei Bemessungswirkleistung des C200 in Abhängigkeit des Netzimpedanzwinkels

Netzimpedanzwinkel Ψ_k	30°	50°	70°	85°
Flickerformfaktor $k_f(\Psi_k)$	1,063	0,997	0,711	0,445
Spannungsänderungsfaktor $k_u(\Psi_k)$	1,056	0,790	0,543	0,342

Tabelle 21: Flickerformfaktor und Spannungsänderungsfaktor beim Ausschaltvorgang bei Bemessungswirkleistung des C200 in Abhängigkeit des Netzimpedanzwinkels



Netzimpedanzwinkel ψ_k	30°	50°	70°	85°
	$k_{i,max}$			
Einschalten bei 10 % der Nennwirkleistung	0,598	0,491	0,528	0,553
Einschalten bei 100 % der Nennwirkleistung	0,963	0,960	0,967	0,976
Ausschalten bei 100 % der Nennwirkleistung	0,965	0,967	0,982	0,988
Serviceabschaltung bei 100 % der Nenn- wirkleistung	0,948	0,957	0,953	0,967

Tabelle 22: Maximale Schaltstromfaktoren des C200 bei unterschiedlichen Einschalt- bzw. Ausschaltszenarien sowie in Abhängigkeit des Netzimpedanzwinkels

Die maximale Anzahl an Schalthandlungen beträgt nach Herstellerangaben:

- $N_{10} = 1$
- $N_{120} = 7$

Da die Software der Regelungstechnik bei allen EZE-Varianten identisch ist, sind die ausgewiesenen Flickerformfaktoren, Spannungsänderungsfaktoren, Schaltstromfaktoren sowie die Anzahl an Schalthandlungen des Capstone C200, bei Bezug zu der jeweiligen Nennleistung, auf die zu zertifizierenden EZE-Varianten C600, C800, C1000 übertragbar.

6.4.2 Flicker

In Tabelle 23 sind die vermessenen Flickerkoeffizienten des Capstone C200 in Abhängigkeit des Netzimpedanzwinkels dargestellt. Da die Software der Regelungstechnik bei allen EZE-Varianten identisch ist, sind die ausgewiesenen Flickerkoeffizienten des C200, bei Bezug zu der jeweiligen Nennleistung, auf die zu zertifizierenden EZE-Varianten C600, C800, C1000 übertragbar.



Netzimpedanzwinkel Ψ_k	30°	50°	70°	85°
Flickerkoeffizient $c(\Psi_k)$	33,422	24,891	28,345	43,923

Tabelle 23: Flickerkoeffizient des Capstone C200 in Abhängigkeit des Netzimpedanzwinkels bei Nennleistung

6.4.3 Oberschwingungen

Nachstehend sind die maximalen Oberschwingungsströme, Zwischenharmonischen und höheren Frequenzen des vermessenen Typs C200 aufgelistet. Die vollständigen Ergebnisse der Oberschwingungsvermessung des Capstone C200 können dem Auszug zum TR3-Prüfbericht im Anhang A1 entnommen werden. Als Referenzstrom wurde entsprechend des TR3-Prüfberichtes /7/ 300 A angenommen. Die Wirkleistung wurde im Bereich 0 % bis 100 % der Nennwirkleistung vermessen. Die vermessenen Oberschwingungen können auf Grundlage der Nennströme auf die zu zertifizierenden EZE-Varianten C600, C800, C100 übertragen werden.

6.4.3.1 Oberschwingungsströme

Capstone C200 ($I_N = 300$ A)

OS	max. I_h/I_n [%]	OS	max. I_h/I_n [%]	OS	max. I_h/I_n [%]
2	0,39	19	0,14	35	0,11
3	0,17	20	0,14	36	0,04
4	0,40	21	0,11	37	0,09
5	1,00	22	0,09	38	0,12
6	0,07	23	0,17	39	0,06
7	0,61	24	0,04	40	0,08
8	0,20	25	0,09	41	0,11
9	0,07	26	0,11	42	0,05
10	0,16	27	0,13	43	0,08
11	0,41	28	0,09	44	0,16
12	0,03	29	0,13	45	0,05
13	0,29	30	0,05	46	0,11
14	0,14	31	0,09	47	0,14
15	0,07	32	0,10	48	0,06
16	0,14	33	0,11	49	0,10
17	0,26	34	0,06	50	0,22
18	0,03				

Tabelle 24: Maximale Oberschwingungsströme bis zur 50. Ordnung des Capstone C200

6.4.3.2 Zwischenharmonische

Capstone C200 ($I_N = 300\text{ A}$)

f [Hz]	max. Ih/In [%]	f [Hz]	max. Ih/In [%]	f [Hz]	max. Ih/In [%]
75	0,09	725	0,05	1375	0,02
125	0,19	775	0,02	1425	0,02
175	0,09	825	0,03	1475	0,03
225	0,07	875	0,03	1525	0,03
275	0,08	925	0,02	1575	0,02
325	0,08	975	0,02	1625	0,03
375	0,05	1025	0,02	1675	0,03
425	0,11	1075	0,02	1725	0,02
475	0,05	1125	0,03	1775	0,05
525	0,04	1175	0,02	1825	0,03
575	0,04	1225	0,02	1875	0,02
625	0,05	1275	0,02	1925	0,03
675	0,04	1325	0,02	1975	0,02

Tabelle 25: Maximale Zwischenharmonische Oberschwingungen des Capstone C200

6.4.3.3 Höhere Frequenzen

Capstone C200 ($I_N = 300\text{ A}$)

f [kHz]	max. Ih/In [%]	f [kHz]	max. Ih/In [%]	f [kHz]	max. Ih/In [%]
2,1	0,05	4,5	0,02	6,9	0,00
2,3	0,11	4,7	0,03	7,1	0,02
2,5	0,19	4,9	0,03	7,3	0,04
2,7	0,11	5,1	0,01	7,5	0,03
2,9	0,19	5,3	0,03	7,7	0,07
3,1	0,15	5,5	0,03	7,9	0,05
3,3	0,05	5,7	0,01	8,1	0,02
3,5	0,10	5,9	0,03	8,3	0,05
3,7	0,07	6,1	0,02	8,5	0,06
3,9	0,03	6,3	0,01	8,7	0,02
4,1	0,05	6,5	0,02	8,9	0,04
4,3	0,05	6,7	0,02		

Tabelle 26: Maximale Oberschwingungsströme der höheren Frequenzen bis 8,9 kHz des Capstone C200

6.5 Verhalten bei Störungen im Netz

6.5.1 Low-Voltage-Ride-Through (LVRT)

Anforderung

Für EZE, die beispielsweise aufgrund eines Umrichters nicht direkt mit dem Netz gekoppelt sind, muss das Verhalten der EZE bei Störungen im Netz entsprechend der Differenzierung nach Typ 2 geprüft werden. Die EZE muss in der Lage sein sich bei Fehlern im Netz nicht vom Netz zu trennen, während eines Netzfehlers die Netzspannung durch Einspeisung eines Blindstromes zu stützen und nach Fehlerklärung dem Netz nicht mehr induktive Blindleistung zu entnehmen als vor dem Fehler. Die EZE muss drei- und zweipolige Spannungseinbrüche oberhalb der Grenzlinie 2 aus Abbildung 13 ohne Einschränkungen durchfahren können. Zusätzlich muss während der Dauer des symmetrischen Fehlers ein Strom gemäß TC2007 /3/ von $k \geq 2$ in das Netz eingespeist werden. Abweichend zur Abbildung 13 dürfen sich VKM gemäß 4. Ergänzung der BDEW2008 /2/ bei Spannungseinbrüchen unterhalb von 30 % U_c vom Netz trennen und während des Fehlers den maximal möglichen Kurzschlussstrom als Blindstrom einspeisen ohne einstellbaren k-Faktor.

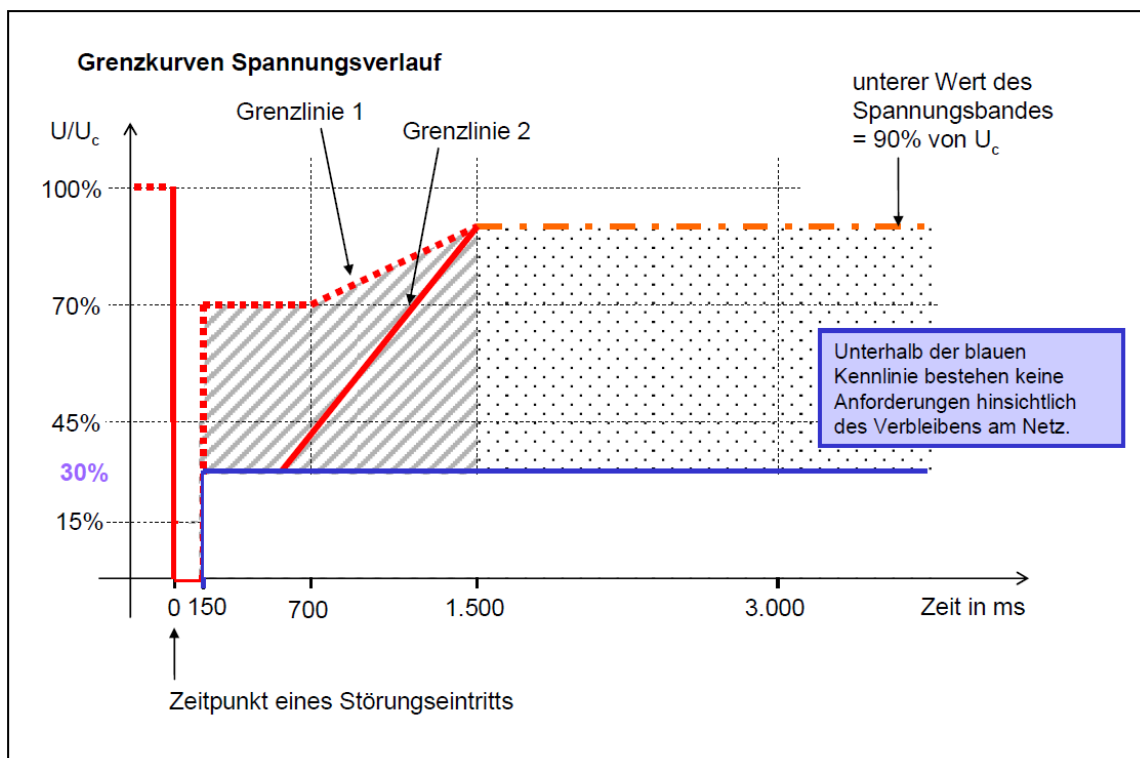


Abbildung 13: Grenzlinie für den Spannungsverlauf für Erzeugungsanlagen vom Typ 2;

Quelle Bild 2.5.1.2-2 BDEW2008 /2/

Die Anforderungen gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.4.1 wurden entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.6 geprüft.

Funktionsweise

Die EZE erkennt symmetrische und unsymmetrische Spannungseinbrüche. Die Erfassung eines Spannungseinbruches erfolgt dabei über die Messung der drei Leiter-Neutralleiter-Spannungen. Die EZE kann Spannungseinbrüche bis 30 % U_N für 1500 ms durchfahren (Bereich 4, Abbildung 14). Sobald der Spannungseinbruch diesen Bereich überschreitet, trennt sich die EZE vom Netz.

Innerhalb dieses Bereiches unterscheidet die EZE zwischen 3 Betriebsfällen. Bis zu einer Spannung von 90 % U_N befindet sich die EZE im Normalbetrieb (Bereich 1, Abbildung 14). Im Bereich zwischen 90 % U_N mit 1500 ms und 30 % U_N mit 675 ms arbeitet die EZE im LVRT-Betrieb (Bereich 2, Abbildung 14). Die Fehlerschwelle sowie die Rückfallschwelle betragen dabei 0,9 U_N . Bei Erkennung eines LVRT's schaltet der netzseitige Umrichter (Load Control Module) in den LVRT-Betrieb um, speist Blindstrom ins Netz ein und reduziert den Wirkstrom. Während dieser Zeit laufen der Motor sowie der Generator der Mikroturbine weiter und produzieren Energie. Der generatorseitige Umrichter (Generator Control Module) erhält dadurch den DC-Zwischenkreis weiter aufrecht. Die überschüssige Energie wird über einen Shunt abgeführt. Im Bereich 3, Abbildung 14 findet eine kurzzeitige Unterbrechung der Einspeisung der EZE ins Netz statt. Dabei speist der netzseitige Umrichter (Load Control Module) weder Blindleistung noch Wirkleistung ins Netz. Jedoch bleibt während dieser Zeit die Software und die Elektronik der EZE mit dem Netz synchronisiert, so dass, sobald die Spannung innerhalb der Zeitbereiche wieder in Bereich 2 oder Bereich 1 ansteigt, erneut Blindstrom und Wirkstrom zur Verfügung gestellt werden können. Anhand von Abbildung 14 ist erkennbar, dass eine Trennung vom Netz erst außerhalb der Anforderung der BDEW2008 /2/ erfolgt.



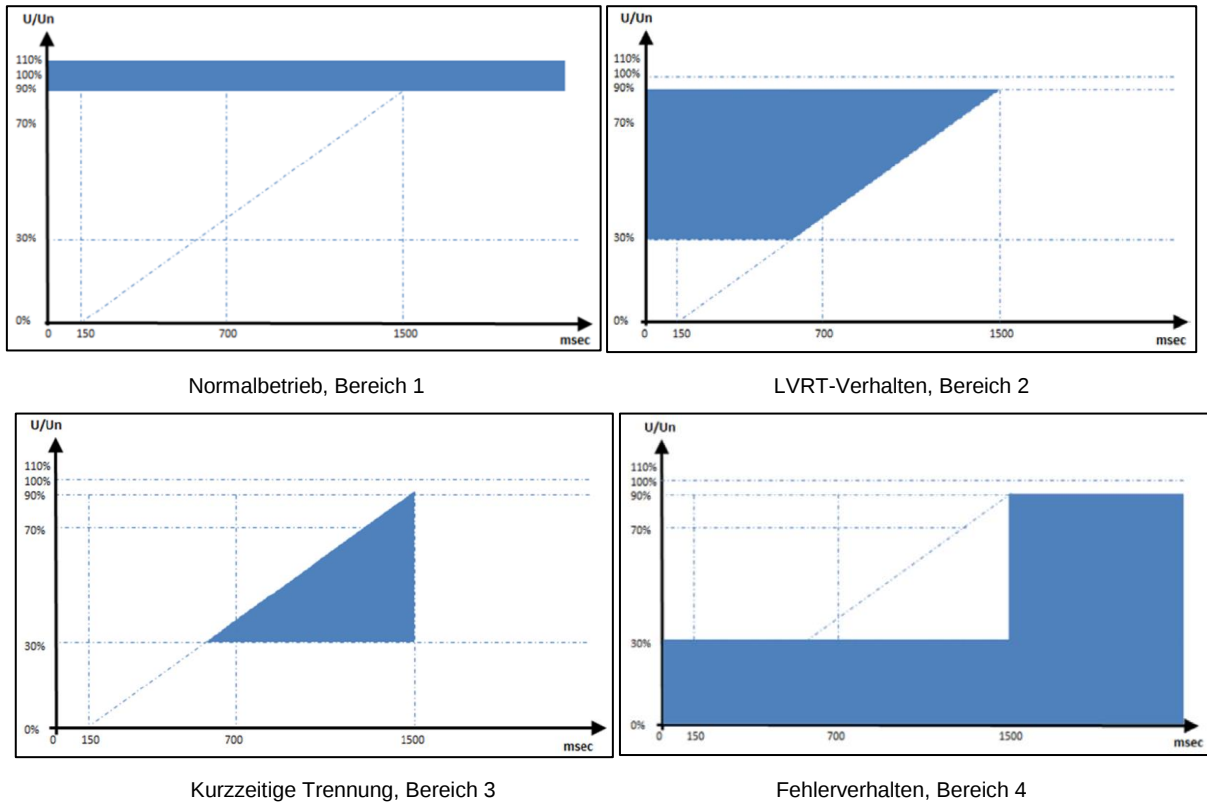


Abbildung 14: Einstellung LVRT-Kennlinie zur Erfüllung der BDEW2008

Die EZE arbeitet nach dem Verhalten im Fehlerfall entsprechend des TC2007 /3/ und liefert im Fehlerfall einen Blindstrom zur Spannungsstützung entsprechend eines k-Faktors. Der Blindstrom ist in der EZE mit $k = 2$ eingestellt und ist nicht veränderbar. Dabei wird gemäß TC2007 /3/ ein Spannungstotband von $0,9 U_N$ bis $1,1 U_N$ berücksichtigt. Entsprechend der Spannungseinbruchstiefe wird der Blindstrom von 0 A bei 100 % U_N auf 120 A bei 50 % U_N linear gesteigert. Dieses Verhalten gilt sowohl bei symmetrischen als auch unsymmetrischen Spannungseinbrüchen. Der daraus resultierende eingespeiste Blindstrom entspricht einem k-Faktor von $k < 1$ gemäß TC2007 /3/.

Hinweis: Ein Verhalten nach LVRT-Modus „keine Blindstromeinspeisung, keine Wirkleistungseinspeisung im Fehlerfall“ auf Grundlage der FGW TR8 /6/ Anhang B Teil B kann durch den Wechselrichter nicht realisiert werden. Dies ist im Zuge der Anlagenzertifizierung zu beachten.

Nachweis

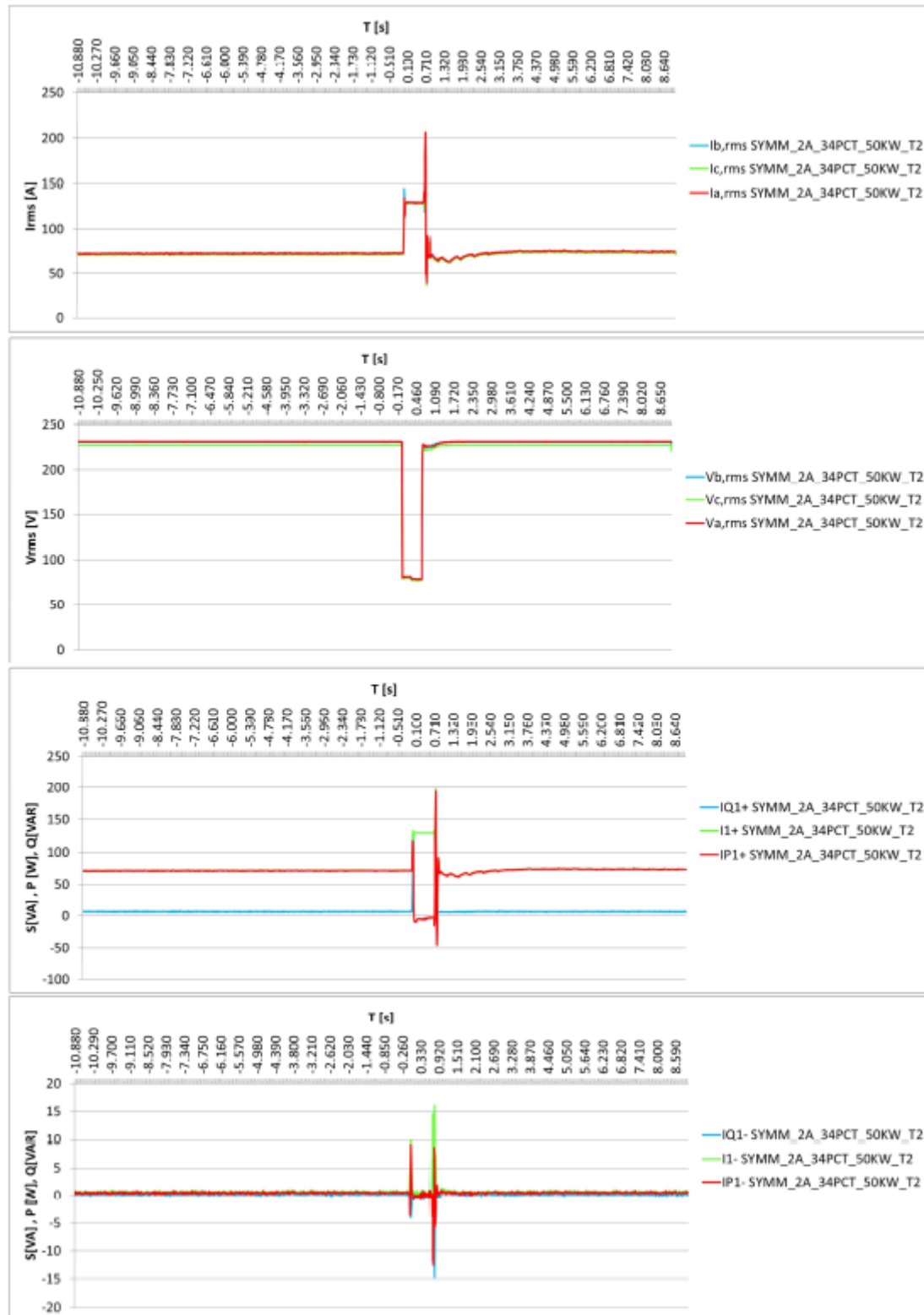
Der Nachweis des Verhaltens der Erzeugungseinheit bei Störungen im Netz wurde im Prüfbericht /7/ nach FGW TR3 /4/ Anhang D bzw. Kapitel 4 erbracht. Die Vermessung wurde mit der VKM des Typs C200 durchgeführt. Die Vermessung erfolgte bei symmetrischen sowie unsymmetrischen Spannungseinbrüchen, die mit Hilfe eines Netzsimulators erzeugt wurden. Zusätzlich wurde das Verhalten bei symmetrischen Spannungseinbrüchen mit Vorfehlerblindstrom durchgeführt.

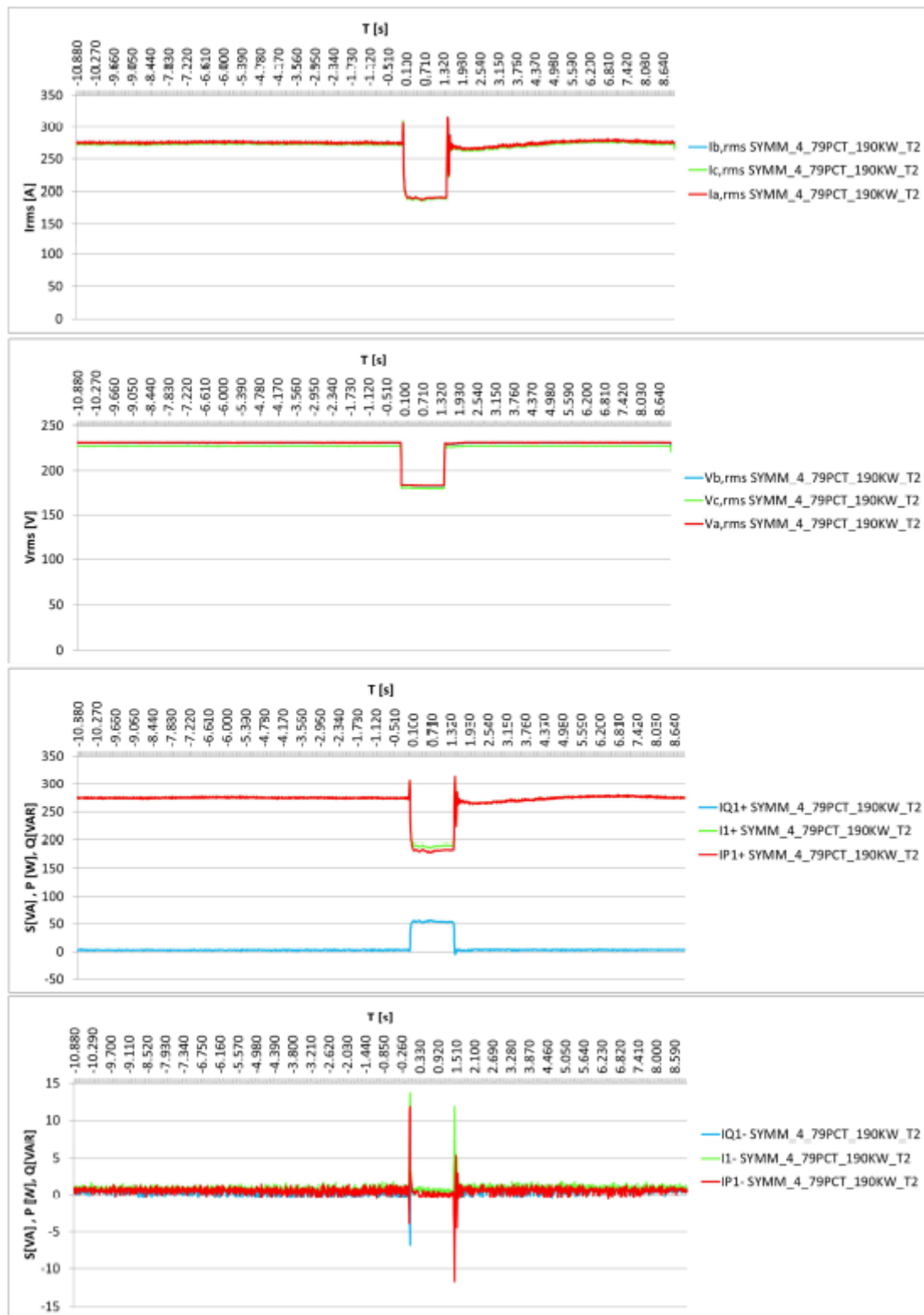
Die EZE liefert im Fehlerfall einen Blindstrom zur Spannungsstützung, der mit $k = 2$ eingestellt ist und nicht verändert werden kann. Der sich einstellende Blindstrom liegt nicht innerhalb des nach FGW TR8 /6/ zulässigen Toleranzbandes von $[-10\% I_N, 20\% I_N]$ um den Sollwert $I_{B,Soll}$ entsprechend eines k-Faktors von $k \geq 2$ gemäß TC2007 /3/. Der ermittelte k-Faktor im Versuch 3 bei Nennleistung liegt bei $k = 0,86$ gemäß TC2007 /3/.

Die Anforderung des TC2007 /3/ an die Wirkleistung nach Fehlerklärung bezüglich einer Leistungssteigerung von mindestens 20 % der Nennleistung pro Sekunde bis zum Erreichen der Leistung vor dem Fehler, wird in allen Tests erfüllt.

Für das Verhalten im Fehlerfall sind nachstehend beispielhaft die Spannungs- und Leistungsverläufe aus dem Prüfbericht /7/ für vier Versuche mit symmetrischen und unsymmetrischen Spannungseinbrüchen und unterschiedlichen Spannungseinbruchstiefen, Fehlerdauern und Vorfehlerblindstrom dargestellt.




 Abbildung 15: Spannungs- und Stromverläufe für Versuch 2a, symmetrisch, Teillast, $0,3 - 0,35 \times U_N$, 675 ms


 Abbildung 16: Spannungs- und Stromverläufe für Versuch 4, symmetrisch, Vollast, $0,7 - 0,8 \times U_N$, 1400 ms

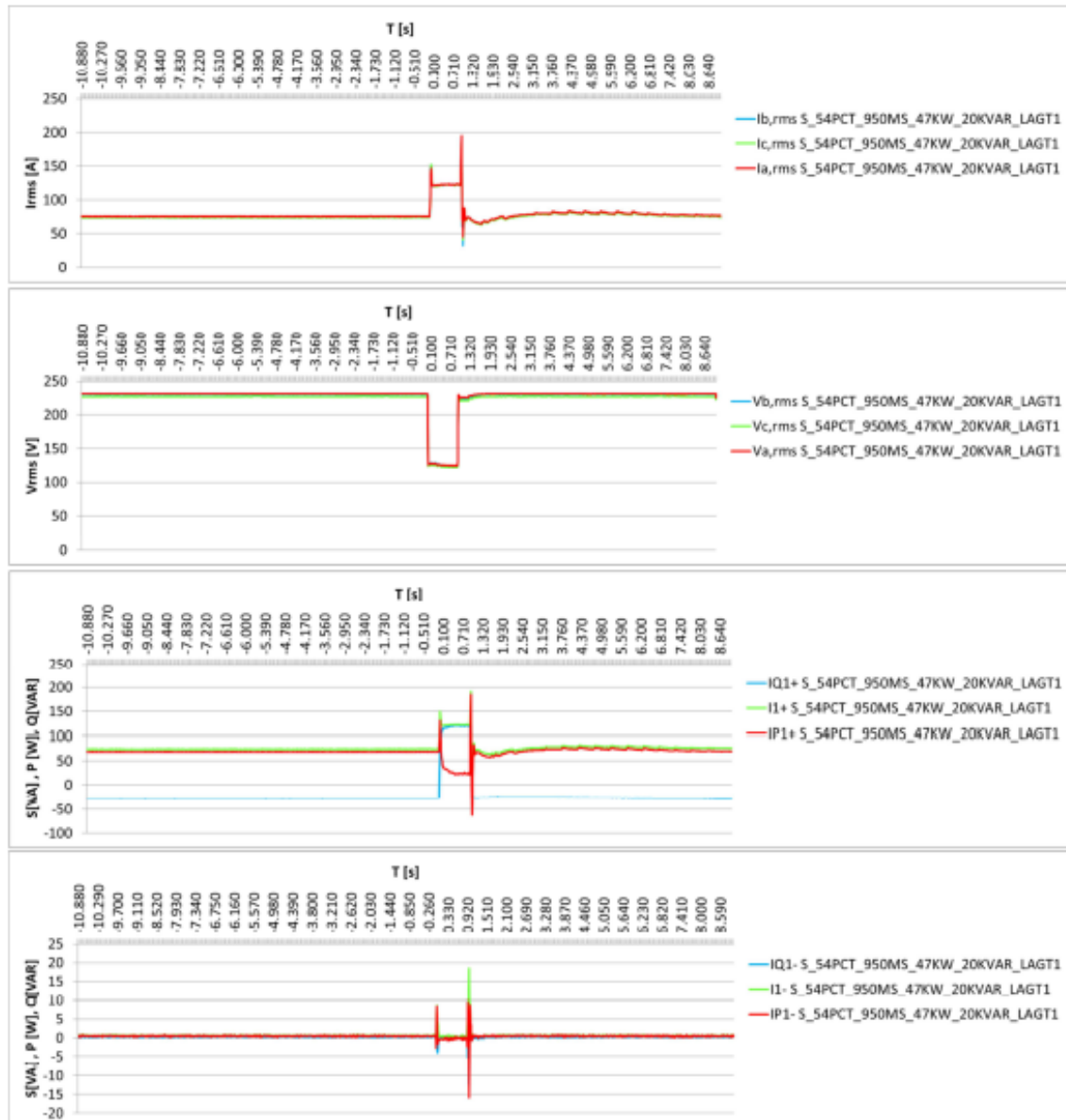
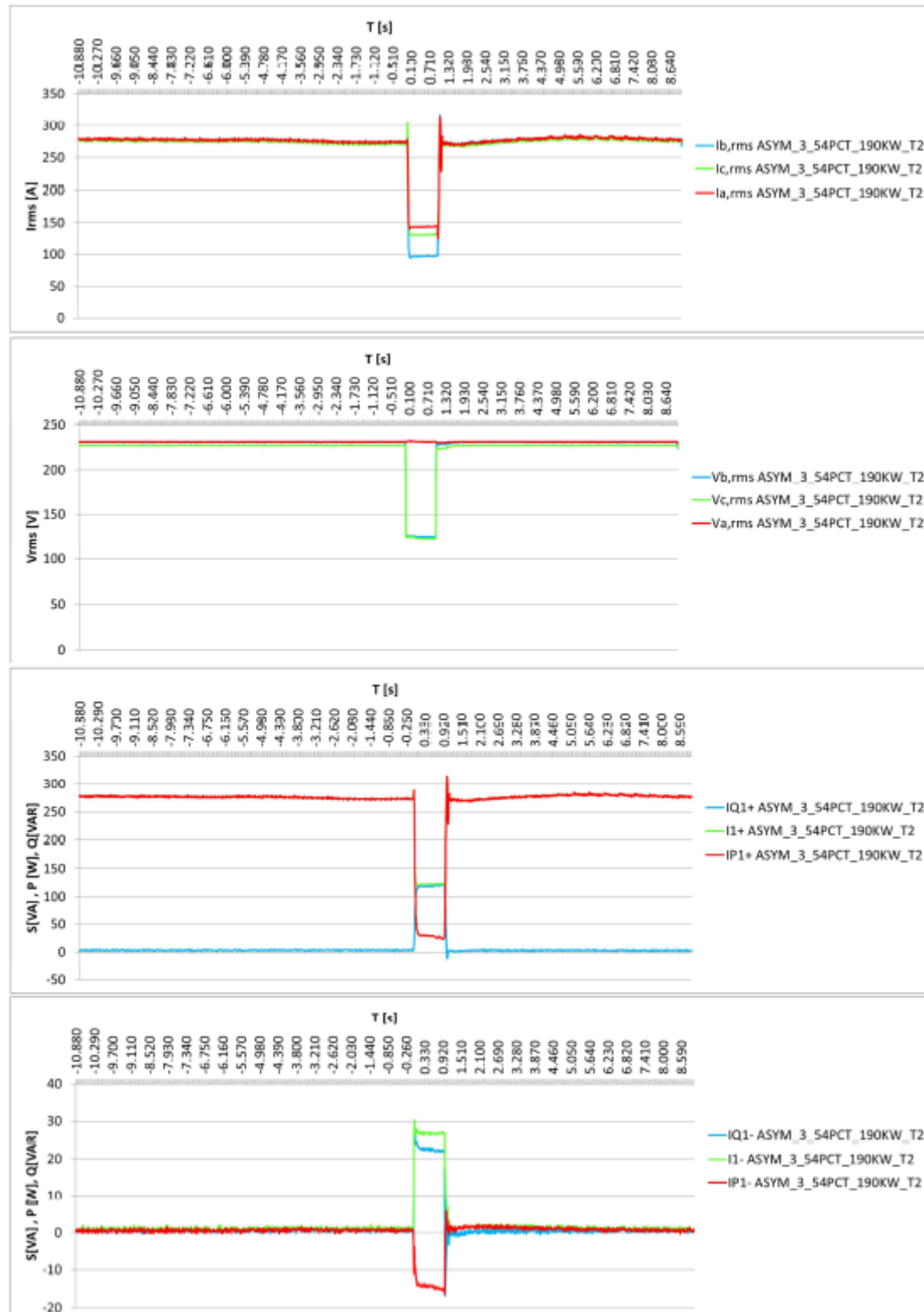


Abbildung 17: Spannungs- und Stromverläufe für Versuch 3, symmetrisch, Teillast, $0,45 - 0,55 \times U_N$, 950 ms, untererregt


 Abbildung 18: Spannungs- und Stromverläufe für Versuch 3, unsymmetrisch, Vollast, $0,45 - 0,55 \times U_N$, 950 ms

Bewertung

Die Vermessungsergebnisse für symmetrische und unsymmetrische Spannungseinbrüche zeigen, dass die EZE während der Spannungseinbrüche oberhalb der Grenzzinie 2 gemäß BDEW2008 /2/ Bild 2.5.1.2-2, am Netz bleibt. Dabei wird berücksichtigt, dass sich für VKM-EZE die Grenzzinie im Zeitraum 0 bis 150 ms von 0 % U/U_C auf 30 % U/U_C verschiebt.

Während des Netzfehlers wird die Netzspannung durch Einspeisung eines Blindstromes gestützt. Dieser Blindstrom ist mit $k = 2$ eingestellt, jedoch entspricht der eingespeiste Blindstrom nur einem k-Faktor von $k < 1$ gemäß TC2007 /3/ und erfüllt damit nicht die Anforderung von $k \geq 2$ des TC2007 /3/.

Nach Fehlerklärung fällt der Blindstrom unmittelbar zurück auf den Wert vor dem Fehler. Die FGW TR8 /6/ hat für die Anforderung der BDEW2008 /2/ zur Blindleistung nach Fehlerklärung keine Nachweisführung anhand von z.B. Toleranzen festgelegt. Daher wird das Verhalten nach Fehlerklärung nicht weiter bewertet.

Die Anforderungen gemäß BDEW2008 /2/ für EZE Typ 2 zum LVRT werden mit der Abweichung in der dynamischen Netzstützung im Fehlerfall mit einem k-Faktor von $k < 1$ gemäß TC2007 /3/ erfüllt. Die gemäß TC2007 /3/ abweichende dynamische Netzstützung ist auf EZA-Ebene mit dem Netzbetreiber abzustimmen.



6.5.2 Beitrag der EZE zum Kurzschlussstrom

Anforderung

Aus den Zeitverläufen der Halbschwingungs-Effektivwerte der Ströme bei Netzfehlern ist die Höhe des Kurzschlussstrombeitrages auszuweisen. Die Anforderung gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.4.2 wurde entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.6.5 geprüft.

Nachweis

Die Vermessung der Kurzschlussströme wurde mit der EZE des Typs C200 durchgeführt. Da die Software der Regelungstechnik bei allen EZE-Varianten identisch ist, ist dieses Verhalten auf alle zu zertifizierenden EZE-Varianten entsprechend der Nennströme gemäß Kapitel 5 übertragbar. In Tabelle 27 bis 36 sind die Ergebnisse der Kurzschlussströme zusammengefasst.

$I''_{k/A}$	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
$t = 0s$	115,92	106,23	86,75
$t = 150ms$	128,87	120,63	105,49
$t = t_{end}$	128,78	122,25	107,03

Tabelle 27: Maximale EZE-Kurzschlusswerte bei symmetrischen Fehlern, Teillast

$I''_{k/A}$	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
$t = 0s$	304,83	310,78	306,77
$t = 150ms$	128,73	120,97	191,63
$t = t_{end}$	128,62	122,30	190,61

Tabelle 28: Maximale EZE-Kurzschlusswerte bei symmetrischen Fehlern, Vollast

$I''_{k/A}$	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
$t = 0s$	140,87	120,98	91,50
$t = 150ms$	130,54	121,31	100,00
$t = t_{end}$	130,48	122,46	101,65

Tabelle 29: Maximale EZE-Kurzschlusswerte bei unsymmetrischen Fehlern, Teillast



$I''_{k/A}$	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
$t = 0s$	313,14	331,49	298,88
$t = 150ms$	130,14	121,85	191,66
$t = t_{end}$	130,62	123,08	189,85

Tabelle 30: Maximale EZE-Kurzschlusswerte bei unsymmetrischen Fehlern, Volllast

$I''_{k/A}$	$U = 45 - 55 \% U_N$, untererregt	$U = 70 - 80 \% U_N$, übererregt
$t = 0s$	102,24	78,39
$t = 150ms$	120,30	93,10
$t = t_{end}$	121,35	95,14

Tabelle 31: Maximale EZE-Kurzschlusswerte bei symmetrischen Fehlern, Teillast und Vorfederblindstrom

	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
I_p/A	349,33	278,67	180,67

Tabelle 32: Maximale Stoßkurzschlussströme bei symmetrischen Fehlern, Teillast

	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
I_p/A	603,33	549,33	468,67

Tabelle 33: Maximale Stoßkurzschlussströme bei symmetrischen Fehlern, Volllast

	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
I_p/A	320,33	250,00	162,00

Tabelle 34: Maximale Stoßkurzschlussströme bei unsymmetrischen Fehlern, Teillast

	$U = 30 - 35 \% U_N$	$U = 45 - 50 \% U_N$	$U = 70 - 80 \% U_N$
I_p/A	584,67	514,67	462,67

Tabelle 35: Maximale Stoßkurzschlussströme bei unsymmetrischen Fehlern, Volllast

	$U = 45 - 55 \% U_N$, untererregt	$U = 70 - 80 \% U_N$, übererregt
I_p/A	241,33	173,00

Tabelle 36: Maximale Stoßkurzschlussströme bei symmetrischen Fehlern, Teillast und Vorfederblindstrom

6.6 Entkupplungsschutzeinrichtungen

Anforderung

Es wurden die Anforderungen zu den Schutzeinrichtungen gemäß BDEW2008 /2/ Kapitel 6.6 sowie dessen 4. Ergänzung entsprechend der FGW TR8 /6/ Kapitel 5.1.7 geprüft.

Funktionsweise

Die Schutzeinrichtung ist im netzseitigen Umrichter (Load Control Module) integriert. Dabei ist die Entkupplungsschutzeinrichtung aufgrund einer getrennten Software unabhängig von den Steuerungs- und Regelungsfunktionen der EZE. Entsprechend der Herstellererklärung /8/ wird die Schutzeinrichtung über die interne Niederspannungsversorgung des Load Control Modules versorgt und ist daher unabhängig von der Netzspannung. Die Schutzfunktionen stehen dadurch gemäß Herstellerangabe bei einem Netzfehler für mindestens 3 s zur Verfügung. Der Ausfall der internen Hilfsenergie führt zum unverzügerten Auslösen des Hauptschalters und damit zur Trennung der EZE vom Netz. Zur Prüfung der Schutzeinrichtung sind keine Prüfklemmen im Strom- bzw. Spannungseingang vorhanden.

Für die Entkupplungsschutzeinrichtung der EZE gelten die folgenden Einstellbereiche und Default-Werte, die durch die Herstellererklärung /8/ zur Verfügung gestellt wurde. Dabei werden die Leiter-Neutralleiter-Spannungen überwacht. Die gemessenen Spannungswerte wirken dabei logisch ODER-verknüpft auf das Auslösesignal. Die Einstellwerte können über die graphische Anwendung CRMS (Capstone Remote Monitoring Software) als Leiter-Leiter-Werte parametrierbar werden und sind direkt über das Gerätedisplay ablesbar.



Parameter- beschreibung	Einheit	Standard- wert	Min.	Max.	Schritt- weite
Schutzeinrichtungen					
Überspannungsschutz $U_{>>}$	V	N/A	400	635	1
Überspannungsschutz $t_{U>>}$	s	N/A	0,001	30	0,001
Überspannungsschutz $U_{>}$	V	480	400	528	1
Überspannungsschutz $t_{U>}$	s	0,1	0,001	30	0,001
Unterspannungsschutz $U_{<}$	V	320	40	400	1
Unterspannungsschutz $t_{U<}$	s	1,5	0,001	30	0,001
Unterspannungsschutz $U_{<<}$	V	180	0	400	1
Unterspannungsschutz $t_{U<<}$	s	0,3	0,001	30	0,001
Überfrequenzschutz $f_{>}$	Hz	51,5	50,0	52,0	0,1
Überfrequenzschutz $t_{f>}$	s	0,1	0,001	30	0,001
Unterfrequenzschutz $f_{<}$	Hz	47,5	47,5	50,0	0,1
Unterfrequenzschutz $t_{f<}$	s	0,1	0,001	30	0,001

Tabelle 37: Parameterbereiche für Entkupplungsschutzeinrichtung

Durch die Herstellererklärung /8/ wurde zusätzlich der Eigenschutz der EZE bekannt gegeben. Die EZE kann in einem Spannungsbereich von 320 V ($0,8 U_N$) bis 480 V ($1,2 U_N$) dauerhaft am Netz bleiben, ohne Schaden zu nehmen.

Nachweis

Die Vermessung der Entkupplungsschutzwerte wurde mit der EZE des Typs C200 durchgeführt. In Tabelle 38 - 40 sind die vermessenen Schutzwerte dargestellt.



Funktion		Eingestellter Ansprechwert an der EZE (U_{LL})	Ermittelter Ansprechwert U_{LN} [V]	Ermittelter Ansprechwert [p.u.]
Unterspannungsschutz $U <$	L1 – N	320 V	184,603	0,79
	L2 – N		184,650	0,80
	L3 – N		185,237	0,80
Überspannungsschutz $U >$	L1 – N	480 V	274,470	1,19
	L2 – N		274,462	1,19
	L3 – N		274,989	1,19

Tabelle 38: Ergebnis der Ansprechwerte der Entkupplungsschutzprüfung des C200 (1)

Funktion		Eingestellter Ansprechwert an der EZE	Ermittelter Ansprechwert [Hz]
Unterfrequenzschutz $f <$	L1 – N	47,5 Hz	47,48
	L2 – N		47,50
	L3 – N		47,50
Überfrequenzschutz $f >$	L1 – N	51,5 Hz	51,49
	L2 – N		51,47
	L3 – N		51,47

Tabelle 39: Ergebnis der Ansprechwerte der Entkupplungsschutzprüfung des C200 (2)

Funktion	Eingestellter Ansprechwert an der EZE	Ermittelter Ansprechwert [s]
Unterspannungsschutz $t_U <$	1,50 s	1,74
Überspannungsschutz $t_U >$	0,10 s	0,0888
Unterfrequenzschutz $t_f <$	0,10 s	0,1010
Überfrequenzschutz $t_f >$	0,10 s	0,0900

Tabelle 40: Ergebnis der Auslösezeiten der Entkupplungsschutzprüfung des C200

Zusätzlich wurde das Rückfallverhältnis gemäß FGW TR3 /4/ überprüft und die Ergebnisse sind im TR3-Prüfbericht /7/ dargestellt. Das Rückfallverhältnis der Spannungssteigerungsschutzeinrichtungen hat den Wert 0,98 nicht unterschritten und das Rückfallverhältnis des Spannungsrückgangsschutzes hat den Wert 1,02 nicht überschritten.

Bewertung

Die durch die BDEW2008 /2/ empfohlenen Einstellwerte für den Entkuppungsschutz an der EZE können umgesetzt werden. Die Ergebnisse der Vermessung der Auslösewerte des Entkuppungsschutzes erfüllen die Genauigkeit von $\pm 1 \% U_N$ und $\pm 0,1 \text{ Hz}$ zu den Einstellwerten der Schutzeinrichtung gemäß der Vorgabe der FGW TR8 /6/. Die Anforderungen gemäß BDEW2008 /2/ an das Rückfallverhältnis werden entsprechend der Typprüfung erfüllt. Der vom Hersteller angegebene Eigenschutz unterläuft die gemäß BDEW2008 /2/ empfohlenen Einstellwerte des Entkuppungsschutzes der EZE nicht. Zusätzlich werden alle weiteren Anforderungen der 4. Ergänzung BDEW2008 /2/ entsprechend den beschriebenen Herstellerangaben mit Ausnahme einer geforderten Prüfklemmenleiste zur Überprüfung der Schutzeinrichtung erfüllt. Eine erforderliche Einrichtung wie z.B. eine Prüfklemmenleiste oder Prüfsteckdose, um die Überprüfung der Schutzeinrichtung ohne Ausklemmen von Drähten zu ermöglichen, ist separat an einer übergeordneten Schutzeinrichtung zu verwirklichen oder an der EZE nachzurüsten. Zudem muss projektspezifisch die korrekte Auslegung des Kuppelschalters in Bezug auf auftretende Kurzschlussströme auf EZA-Ebene überprüft werden.



7 Modellvalidierung

7.1 Beschreibung des Simulationsmodells

Das Simulationsmodell wurde durch den Hersteller als rechnerlauffähiges Modell der Softwareumgebung DlgSILENT PowerFactory übergeben. Die Bezeichnung des Simulationsmodells ist die folgende:

Capstone_C200_v1_3.pfd

Zusätzlich zu dem Simulationsmodell wurde eine Modellbeschreibung /10/ für die Handhabung des DlgSILENT PowerFactory Modells zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden sind die Daten sowie die MD5-Prüfsumme des Simulationsmodells zusammengefasst.

Angaben zum Simulationsmodell der EZE	
Bezeichnung des Modells	Capstone_C200_v1_3.pfd
Simulationsumgebung Modellerstellung	DlgSILENT PowerFactory 15.1
Simulationsumgebung Validierung	DlgSILENT PowerFactory 15.1
MD5-Prüfsumme des Modells	9489115bf4d3eae7e8a878b46313ec86
Modellart	RMS-Simulation
Simulationsschrittweite	1 ms

Das Simulationsmodell beinhaltet in der Bibliothek ein Template für die EZE Capstone C200, das in jedes neue Projekt eingepflegt werden kann. Die EZE wird dabei durch das DlgSILENT PowerFactory Element eines statischen Generators abgebildet und dessen Spannungsmessung erfolgt über die im Template inkludierte Prüfklemmleiste. Über das zur EZE gehörige DSL Modell „VQ_Control“ erfolgt die Regelung der EZE. Die Wirk- und die Blindleistung müssen im statischen Generator entsprechend parametrisiert werden. Zusätzlich können weitere Parameter z.B. des DSL Modells „VQ_Control“ über das Composite Model eingestellt werden. Eine vollständige Beschreibung des Modells, der Parameter sowie dessen Verwendung befindet sich in der Modellbeschreibung /10/. Für die Verwendung des Simulationsmo-

dells für die Einheiten Capstone C600, C800 und C1000 muss das Modell des Capstone C200 in entsprechender Anzahl parallel geschaltet werden.

Das Simulationsmodell der EZE Capstone C200 beruht auf einer RMS-Simulation und benötigt eine Schrittweite von 1 ms. Zur Berechnung der Anfangsbedingungen des Modells muss eine unsymmetrische RMS Initialisierung durchgeführt werden.

Die EZE arbeitet nach dem Verhalten im Fehlerfall entsprechend des TC2007 /3/ und liefert im Fehlerfall einen Blindstrom zur Spannungsstützung entsprechend eines k-Faktors. Der Blindstrom ist im Modell sowie in der EZE mit $k = 2$ eingestellt und ist in der EZE nicht veränderbar. Ein Verhalten nach LVRT Modus „keine Blindstromeinspeisung, keine Wirkleistungseinspeisung im Fehlerfall“ auf Grundlage der FGW TR8 /6/ Anhang B Teil B wird nicht unterstützt. Des Weiteren ist das Simulationsmodell sowohl für das Durchfahren von symmetrischen als auch unsymmetrischen Spannungseinbrüchen sowie einer Parametrierung der Vorfehlerblindleistung geeignet.

In den nachfolgenden Abbildungen sind das DlgSILENT Template des Capstone C200 und die Einstellungen des statischen Generators des Capstone C200 sowie eine Übersicht über die Regelstruktur des Simulationsmodells dargestellt.

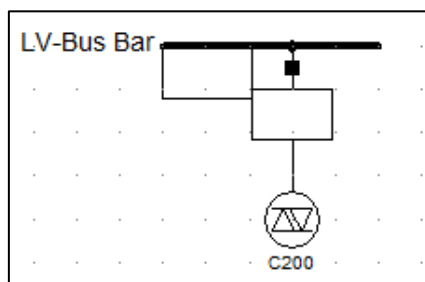


Abbildung 19: DlgSILENT Template „Capstone_C200“

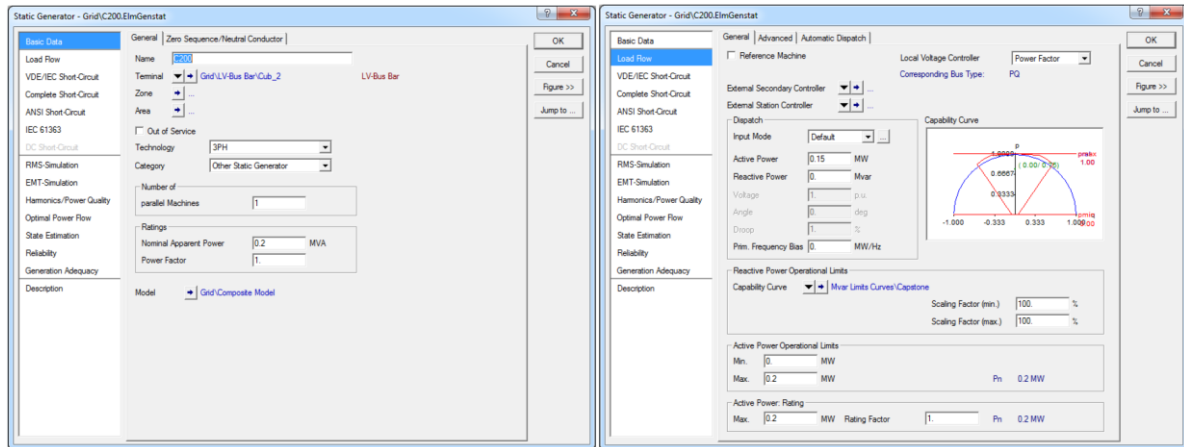


Abbildung 20: Einstellungen des statischen Generators des Capstone C200 im Simulationsmodell

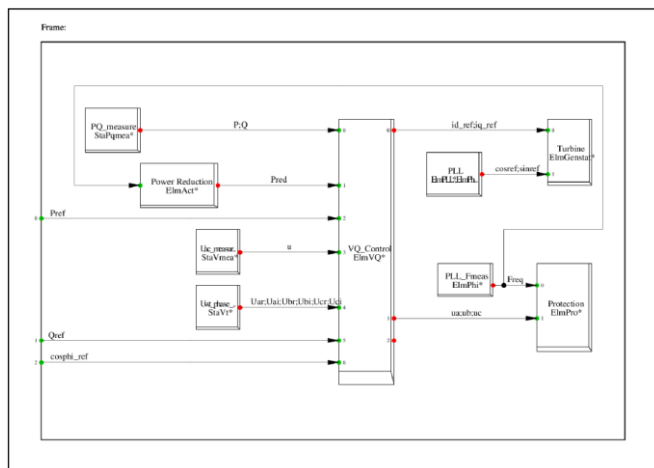


Abbildung 21: Regelstruktur des Simulationsmodells des Capstone C200

7.2 Validierung der Strom- / Spannungsverläufe

Methode

Die Modellvalidierung erfolgte auf Grundlage der FGW TR4 /5/ sowie FGW TR8 /6/. Für die Validierung der Strom- / Spannungsverläufe wurden die symmetrischen und unsymmetrischen Fehlerfälle sowie die Einstellung des Vorfederblindstromes entsprechend der Vermessung des Verhaltens im Fehlerfall aus dem Prüfbericht gemäß FGW TR3 /4/ berücksichtigt. Da es sich bei der typgeprüften EZE um eine EZE Typ 2 handelt, wurden zur Bewertung der Modellgüte der Strom-/Spannungsverläufe die Toleranzen des Kapitels 5.6 der FGW TR4 /5/ angewendet.

Für die Modellvalidierung wurde das in Kapitel 7.1 beschriebene Simulationsmodell zugrunde gelegt. Dabei wurde die EZE Capstone C200 eingepflegt und parametrisiert.

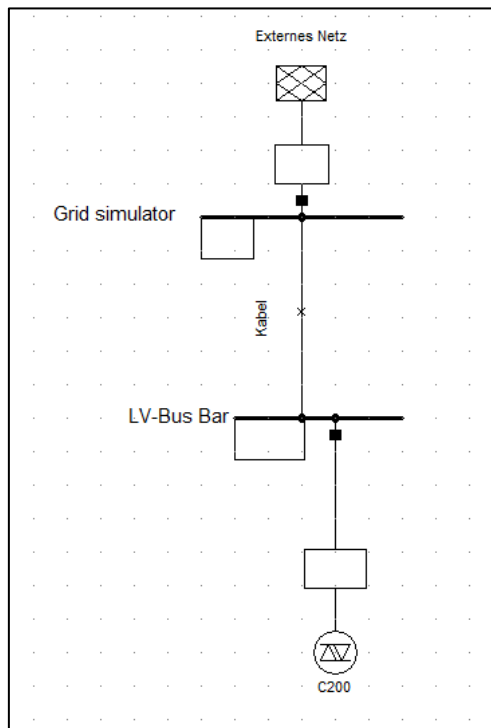


Abbildung 22: Oberfläche des in DigSILENT PowerFactory integrierten Simulationsmodells

Ergebnisse

Die Strom- / Spannungsverläufe des Simulationsmodells zeigen eine grundsätzliche qualitative Übereinstimmung mit dem gemessenen Verhalten der typgeprüften EZE. Die folgenden Übersichtstabellen gemäß FGW TR4 /5/ Anhang A.2 zeigen eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Validierung der Strom- / Spannungsverläufe.

Symmetrische Fehlerfälle bei Nennleistung ($P > 0,9xP_N$)

Wirkleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
1 30 - 35 %	0,75%	0,12%	4,64%	1,54%
2 45 - 55 %	0,54%	0,26%	2,87%	1,07%
3 70 - 80 %	0,53%	4,84%	4,72%	4,37%

Tabelle 1: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	1,39%	1,41%	8,05%
45 - 55 %	1,35%	0,88%	7,70%
70 - 80 %	1,25%	6,42%	9,86%

Tabelle 2: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,19%	0,79%	0,22%	0,56%
45 - 55 %	0,03%	0,01%	0,18%	0,06%
70 - 80 %	0,17%	0,47%	0,19%	0,36%

Tabelle 3: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	1,04%	0,88%	4,96%
45 - 55 %	0,58%	0,49%	3,44%
70 - 80 %	0,70%	0,89%	0,74%

Tabelle 4: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindstrom Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,20%	0,60%	0,25%	0,46%
45 - 55 %	0,03%	0,34%	0,15%	0,25%
70 - 80 %	0,18%	0,61%	0,21%	0,45%

Tabelle 5: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	1,05%	0,13%	5,01%
45 - 55 %	0,58%	1,28%	3,47%
70 - 80 %	0,71%	1,15%	0,75%

Tabelle 6: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Tabelle 41: Ergebnis der Modellvalidierung, symmetrische Fehlerfälle, $P > 0,9xP_N$

Symmetrische Fehlerfälle bei Teilleistung ($P = 0,1 - 0,3xP_N$)

Wirkleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
4 30 - 35 %	0,37%	0,08%	1,41%	0,51%
5 45 - 55 %	0,31%	2,47%	0,29%	1,60%
6 70 - 80 %	0,11%	4,84%	0,37%	3,03%

Tabelle 7: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,54%	1,26%	5,47%
45 - 55 %	0,61%	4,28%	5,05%
70 - 80 %	0,41%	5,26%	0,99%

Tabelle 8: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,03%	0,43%	0,01%	0,26%
45 - 55 %	0,07%	0,27%	0,04%	0,18%
70 - 80 %	0,02%	0,08%	0,02%	0,06%

Tabelle 9: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,21%	1,02%	0,59%
45 - 55 %	0,19%	0,69%	0,54%
70 - 80 %	0,15%	0,89%	0,40%

Tabelle 10: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindstrom Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,04%	0,69%	0,06%	0,44%
45 - 55 %	0,08%	1,46%	0,09%	0,91%
70 - 80 %	0,03%	0,16%	0,01%	0,10%

Tabelle 11: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,23%	0,22%	0,53%
45 - 55 %	0,20%	2,60%	0,48%
70 - 80 %	0,16%	1,13%	0,37%

Tabelle 12: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Tabelle 42: Ergebnis der Modellvalidierung, symmetrische Fehlerfälle, $P = 0,1 - 0,3xP_N$

Symmetrische Fehlerfälle mit Vorfehlerblindstrom, Teilleistung ($P = 0,1 - 0,3xP_N$)

Wirkleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
45 - 55 %				
7 untererregt	0,12%	0,73%	0,25%	0,53%
8 70 - 80 %				
übererregt	0,13%	4,06%	0,51%	2,60%

Tabelle 13: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
45 - 55 %			
untererregt	0,35%	2,73%	5,55%
70 - 80 %			
übererregt	0,35%	4,37%	0,96%

Tabelle 14: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
45 - 55 %				
untererregt	0,01%	2,91%	0,47%	1,89%
70 - 80 %				
übererregt	0,32%	0,09%	0,60%	0,27%

Tabelle 15: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
45 - 55 %			
untererregt	0,15%	3,78%	1,37%
70 - 80 %			
übererregt	0,45%	0,54%	1,06%

Tabelle 16: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindstrom Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
45 - 55 %				
untererregt	0,04%	5,64%	0,41%	3,51%
70 - 80 %				
übererregt	0,37%	0,24%	0,68%	0,39%

Tabelle 17: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
45 - 55 %			
untererregt	0,15%	7,35%	1,05%
70 - 80 %			
übererregt	0,50%	0,82%	1,19%

Tabelle 18: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Tabelle 43: Ergebnis der Modellvalidierung, symmetrische Fehlerfälle mit Vorfehlerblindstrom, $P = 0,1 - 0,3xP_N$

Unsymmetrische Fehlerfälle bei Nennleistung ($P > 0,9xP_N$), Mitsystem

Wirkleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
1 30 - 35 %	1,00%	0,10%	3,38%	1,17%
2 45 - 55 %	1,05%	6,93%	3,28%	5,25%
3 70 - 80 %	1,42%	8,12%	3,42%	6,04%

Tabelle 1: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	1,68%	1,19%	6,99%
45 - 55 %	1,91%	8,37%	8,22%
70 - 80 %	3,03%	9,17%	6,47%

Tabelle 2: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,22%	1,32%	0,16%	0,86%
45 - 55 %	0,29%	0,76%	0,02%	0,49%
70 - 80 %	0,08%	1,83%	0,03%	1,12%

Tabelle 3: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,77%	1,95%	5,21%
45 - 55 %	0,81%	1,41%	3,71%
70 - 80 %	0,66%	2,20%	1,03%

Tabelle 4: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindstrom Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,21%	0,11%	0,15%	0,13%
45 - 55 %	0,29%	3,37%	0,03%	2,06%
70 - 80 %	0,08%	2,06%	0,01%	1,25%

Tabelle 5: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,76%	0,77%	5,25%
45 - 55 %	0,82%	4,35%	3,75%
70 - 80 %	0,66%	2,50%	1,02%

Tabelle 6: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Tabelle 44: Ergebnis der Modellvalidierung, unsymmetrische Fehlerfälle, $P > 0,9xP_N$, Mitsystem

Unsymmetrische Fehlerfälle bei Teilleistung ($P = 0,1 - 0,3 \times P_N$), Mitsystem

Wirkleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
4 30 - 35 %	0,11%	0,21%	0,90%	0,41%
5 45 - 55 %	0,32%	7,52%	0,99%	4,84%
6 70 - 80 %	0,12%	2,49%	0,35%	1,61%

Tabelle 7: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,37%	1,19%	4,44%
45 - 55 %	0,53%	11,43%	5,83%
70 - 80 %	0,34%	2,91%	0,71%

Tabelle 8: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindleistung Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,01%	0,29%	0,02%	0,18%
45 - 55 %	0,02%	3,28%	0,03%	1,98%
70 - 80 %	0,02%	2,73%	0,03%	1,65%

Tabelle 9: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,18%	0,37%	0,49%
45 - 55 %	0,23%	4,27%	0,51%
70 - 80 %	0,17%	3,40%	0,40%

Tabelle 10: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindstrom Mitsystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,00%	0,03%	0,03%	0,03%
45 - 55 %	0,03%	4,06%	0,02%	2,45%
70 - 80 %	0,03%	2,40%	0,01%	1,45%

Tabelle 11: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,19%	0,81%	0,43%
45 - 55 %	0,24%	5,88%	0,45%
70 - 80 %	0,18%	3,28%	0,38%

Tabelle 12: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Tabelle 45: Ergebnis der Modellvalidierung, unsymmetrische Fehlerfälle, $P = 0,1 - 0,3 \times P_N$, Mitsystem

Unsymmetrische Fehlerfälle bei Nennleistung ($P > 0,9 \times P_N$), Gegensystem

Wirkleistung Gegensystem				
	A	B	C	gewichtet
1 30 - 35 %	0,00%	1,51%	0,00%	0,91%
2 45 - 55 %	0,00%	0,75%	0,00%	0,45%
3 70 - 80 %	0,00%	0,16%	0,00%	0,00%

Tabelle 1: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,00%	1,75%	0,00%
45 - 55 %	0,00%	0,84%	0,00%
70 - 80 %	0,00%	0,19%	0,00%

Tabelle 2: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindleistung Gegensystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,00%	2,50%	0,01%	1,50%
45 - 55 %	0,00%	1,18%	0,00%	0,71%
70 - 80 %	0,00%	0,24%	0,00%	0,14%

Tabelle 3: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,00%	2,75%	0,02%
45 - 55 %	0,00%	1,33%	0,02%
70 - 80 %	0,00%	0,27%	0,01%

Tabelle 4: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindstrom Gegensystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,19%	11,33%	0,19%	6,87%
45 - 55 %	0,26%	7,64%	0,20%	4,67%
70 - 80 %	0,23%	3,41%	0,21%	2,13%

Tabelle 5: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,48%	12,42%	2,33%
45 - 55 %	0,67%	8,60%	2,56%
70 - 80 %	0,58%	3,85%	1,33%

Tabelle 6: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Tabelle 46: Ergebnis der Modellvalidierung, unsymmetrische Fehlerfälle, $P > 0,9 \times P_N$, Gegensystem

Unsymmetrische Fehlerfälle bei Teilleistung ($P = 0,1 - 0,3 \times P_N$), Gegensystem

Wirkleistung Gegensystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,00%	1,49%	0,00%	0,89%
45 - 55 %	0,00%	0,75%	0,00%	0,45%
70 - 80 %	0,00%	0,16%	0,00%	0,10%

Tabelle 7: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,00%	1,82%	0,00%
45 - 55 %	0,00%	0,83%	0,00%
70 - 80 %	0,00%	0,18%	0,00%

Tabelle 8: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindleistung Gegensystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,00%	2,47%	0,01%	1,49%
45 - 55 %	0,00%	1,19%	0,00%	0,71%
70 - 80 %	0,00%	0,24%	0,00%	0,14%

Tabelle 9: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,00%	2,77%	0,03%
45 - 55 %	0,00%	1,32%	0,01%
70 - 80 %	0,00%	0,26%	0,00%

Tabelle 10: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Blindstrom Gegensystem				
	A	B	C	gewichtet
30 - 35 %	0,07%	11,18%	0,02%	6,72%
45 - 55 %	0,12%	7,69%	0,05%	4,64%
70 - 80 %	0,10%	3,40%	0,07%	2,07%

Tabelle 11: Mittlere Abweichung über die gesamte Dauer

	A	B	C
30 - 35 %	0,19%	12,45%	2,88%
45 - 55 %	0,28%	8,53%	1,52%
70 - 80 %	0,27%	3,73%	0,22%

Tabelle 12: Maximale Abweichung im stationären Betrieb

Tabelle 47: Ergebnis der Modellvalidierung, unsymmetrische Fehlerfälle, $P = 0,1 - 0,3 \times P_N$, Gegensystem

Die vollständigen Ergebnisse mit allen Abweichungen in stationären und transienten Bereichen nach FGW TR4 /5/ der durchgeführten Tests sind dem Validierungsbericht ABE-V214204E(1) zu entnehmen. Die Validierungsergebnisse weisen insgesamt keine Überschreitungen der in der FGW TR4 /5/ geforderten Grenzwerte auf und erfüllen damit die Kriterien der FGW TR4 /5/ für EZE Typ 2.

7.3 Plausibilitätsprüfung

Methode

Es wurden Plausibilitätstests auf Grundlage der FGW TR8 /6/ Kapitel 4.1.5.3 mit dem Simulationsmodell für die typgeprüfte EZE Capstone C200 sowie symmetrische und unsymmetrische Spannungseinbrüche durchgeführt. Dabei wurde die Plausibilität bezüglich einmaligen Spannungseinbrüchen zwischen 30 % und 100 % U_N , einer erfolglosen AWE (Automatische Wiedereinschaltung) mit zwei Spannungseinbrüchen und eines Schutzversager durch Spannungseinbrüche auf 30 % und 50 % U_N überprüft. Zusätzlich wurde die Tauglichkeit für die Anwendung im Rahmen der Anlagenzertifizierung anhand einer Parkkonstellation aus 9 Capstone C200 (1x C200, 1x C600 und 1x C1000) mit unterschiedlichen Kabellängen überprüft.

Ergebnisse

Die Plausibilitätstests zeigen, dass sich das Simulationsmodell in Bezug auf einmalige Spannungseinbrüche, eine erfolglose AWE und eines Schutzversagens entsprechend der Validierungsergebnisse plausibel verhält. Zusätzlich wurde die Anwendung des Simulationsmodells des Capstone C200 im Rahmen von Erzeugungsanlagen nachgewiesen und zeigt plausible Verläufe am Netzanschlusspunkt.



7.4 Gesamtbewertung der Modellvalidierung

Die vollständigen Ergebnisse der durchgeführten Tests sind in dem Validierungsbericht ABE-V214204E(1) beschrieben. Bei der Validierung des Simulationsmodells werden für die Strom- und Spannungsverläufe alle geforderten Grenzwerte unter Berücksichtigung des Kapitels 5.6 der FGW TR4 /5/ für EZE Typ 2 eingehalten. Die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfungen ergeben ein plausibles Verhalten des Simulationsmodells. Für die Verwendung des Simulationsmodells für die Einheiten Capstone C600, C800 und C1000 muss das Modell des Capstone C200 in entsprechender Anzahl parallel geschaltet werden.



8 Anhänge

Die nachfolgend aufgeführten Nachweise sind Bestandteil der Bewertungen zur Erstellung des Einheitenzertifikates und sind für die Verwendung im Zuge einer Anlagenzertifizierung diesem Einheitenzertifikat beigelegt.

Anhang A1	Auszug Nr. 1 aus dem Typprüfbericht /7/ gemäß FGW TR3 /4/ Anhang B Teil 1 „Netzverträglichkeit / Power Quality“
Anhang A2	Auszug Nr. 1 aus dem Typprüfbericht /7/ gemäß FGW TR3 /4/ Anhang B Teil 2 „Regelfähigkeit am Netz / grid control capability“
Anhang A3	Auszug Nr. 1 aus dem Typprüfbericht /7/ gemäß FGW TR3 /4/ Anhang B Teil 3 „Schutzsystem / protection system“



Anhang A1

TR3 Auszug Teil 1 – Netzverträglichkeit / Power Quality





TÜVRheinland®



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 1 von 9

Page 1 of 9

Part 1: Power QualityDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 01**

Technical Guideline Part 23, FGW

Type of System:	MicroTurbine power generating system (CHP)
Manufacturer data:	Capstone Turbine Corporation 21211 Nordhoff Street Chatsworth, CA, U.S.A. 91311
Reference test report:	28107204 001
Measuring period:	From 10.11.2014 to 26.11.2014
Active Power [$P_{E_{max}}$]: (nominal power at reference conditions)	200 KW

Rated Data:

Rated Apparent Power S_n	200 KVA	Rated Current I_n	300 A
Rated Frequency f_n	50 Hz	Nominal Voltage V_n	400 Vac

Flicker:

	50%P _n	60%P _n	70%P _n	80%P _n	90%P _n	100%P _n
	100KW	120KW	140KW	160KW	180KW	200KW
C Ψ_k	24.307	24.408	25.927	27.143	31.396	33.422
Angle of network impedance Ψ_k	30 ° ±2°					

	50%P _n	60%P _n	70%P _n	80%P _n	90%P _n	100%P _n
	100KW	120KW	140KW	160KW	180KW	200KW
C Ψ_k	14.443	15.595	18.514	20.204	23.815	24.891
Angle of network impedance Ψ_k	50 ° ±2°					

	50%P _n	60%P _n	70%P _n	80%P _n	90%P _n	100%P _n
	100KW	120KW	140KW	160KW	180KW	200KW
C Ψ_k	13.656	15.353	19.192	22.366	25.318	28.345
Angle of network impedance Ψ_k	70 ° ±2°					

	50%P _n	60%P _n	70%P _n	80%P _n	90%P _n	100%P _n
	100KW	120KW	140KW	160KW	180KW	200KW
C Ψ_k	25.113	26.842	31.010	36.094	39.449	43.923
Angle of network impedance Ψ_k	85 ° ±2°					

Part 1_ Power Quality



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 2 von 9
Page 2 of 9**Part 1: Power Quality**Determination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 01**

Technical Guideline Part 23, FGW

Switching Operations

Network impedance phase angle, k (°)	30					
Test No.	1		2		3	
	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i
Start-up	179.25	0.598	169.46	0.565	174.36	0.581
Start-up 100% (Pn)	288.15	0.960	288.96	0.963	284.0	0.947
Switch-off	289.45	0.965	285.42	0.951	287.55	0.959
Switch-off (Service disconnection)	283.90	0.946	284.25	0.948	284.20	0.948
k_{lmax}	0.965					

Network impedance phase angle, k (°)	50					
Test No.	1		2		3	
	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i
Start-up	146.97	0.490	146.62	0.489	147.25	0.491
Start-up 100% (Pn)	282.60	0.942	288.15	0.960	285.32	0.951
Switch-off	288.50	0.962	290.16	0.967	289.14	0.964
Switch-off (Service disconnection)	284.15	0.947	287.15	0.957	286.27	0.954
k_{lmax}	0.967					

Network impedance phase angle, k (°)	70					
Test No.	1		2		3	
	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i
Start-up	158.29	0.528	145.20	0.484	144.36	0.481
Start-up 100% (Pn)	288.39	0.961	288.85	0.963	289.95	0.967
Switch-off	293.10	0.977	292.39	0.975	294.51	0.982
Switch-off (Service disconnection)	285.78	0.953	285.15	0.951	285.34	0.951
k_{lmax}	0.982					

Network impedance phase angle, k (°)	85					
Test No.	1		2		3	
	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i	I_{max} [A]	k_i
Start-up	158.85	0.530	165.92	0.553	156.25	0.521
Start-up 100% (Pn)	292.74	0.976	291.68	0.972	291.50	0.972
Switch-off	296.38	0.988	296.38	0.988	296.15	0.987
Switch-off (Service disconnection)	290.16	0.967	290.05	0.967	289.15	0.964
k_{lmax}	0.988					

Part 1_ Power Quality



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 3 von 9

Page 3 of 9

Part 1: Power QualityDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 01**

Technical Guideline Part 23, FGW

	Case of switching operations Start up			
Max. no. of switchin operations N_{10}	1			
Max. no. of switchin operations N_{120}	7			
Grid impedance anlg (Ψ_k)	30°	50°	70°	85°
Voltage-change-factor $k_u(\Psi_k)$	0.941	0.691	0.531	0.498
Flicker-form-factor $k_f(\Psi_k)$	0.900	0.904	0.705	0.491

	Case of switching operations Start-up 100% (Pn)			
Max. no. of switchin operations N_{10}	1			
Max. no. of switchin operations N_{120}	7			
Grid impedance anlg (Ψ_k)	30°	50°	70°	85°
Voltage-change-factor $k_u(\Psi_k)$	0.463	0.269	0.245	0.252
Flicker-form-factor $k_f(\Psi_k)$	0.386	0.345	0.275	0.223

	Case of switching operations Switch-off			
Max. no. of switchin operations N_{10}	1			
Max. no. of switchin operations N_{120}	7			
Grid impedance anlg (Ψ_k)	30°	50°	70°	85°
Voltage-change-factor $k_u(\Psi_k)$	1.056	0.790	0.543	0.342
Flicker-form-factor $k_f(\Psi_k)$	1.063	0.997	0.711	0.445



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 4 von 9

Page 4 of 9

Part 1: Power QualityDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 01**

Technical Guideline Part 23, FGW

Performance:

$P_{600}=P_{10min}[KW]$	197.07	$P_{60}=P_{1min}[KW]$	197.18	$P_{0.2}=P_{momentan}[KW]$	196.99
$P_{600}=P_{600}/P_{nG}$	98.5%	$P_{60}=P_{60}/P_{nG}$	98.6%	$P_{0.2}=P_{0.2}/P_{nG}$	98.5%

Harmonics:

$I_n=300A$	0 % P/P _n	10 % P/P _n	20 % P/P _n	30 % P/P _n	40 % P/P _n	50 % P/P _n	60 % P/P _n	70 % P/P _n	80 % P/P _n	90 % P/P _n	100 % P/P _n
	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]	I_1 [% I_n]
Harmoni c #											
2	0.33	0.39	0.24	0.34	0.24	0.36	0.30	0.34	0.35	0.35	0.22
3	0.05	0.05	0.09	0.12	0.08	0.13	0.09	0.17	0.15	0.12	0.15
4	0.06	0.21	0.30	0.39	0.29	0.40	0.33	0.37	0.37	0.37	0.24
5	0.07	1.00	0.49	0.13	0.07	0.17	0.24	0.28	0.30	0.32	0.36
6	0.05	0.03	0.06	0.02	0.07	0.05	0.06	0.02	0.05	0.07	0.05
7	0.08	0.55	0.61	0.32	0.07	0.04	0.19	0.19	0.25	0.26	0.29
8	0.07	0.20	0.02	0.08	0.03	0.08	0.04	0.04	0.06	0.08	0.02
9	0.01	0.02	0.04	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	0.07
10	0.10	0.08	0.07	0.14	0.14	0.15	0.12	0.16	0.14	0.12	0.15
11	0.03	0.11	0.39	0.41	0.30	0.16	0.10	0.04	0.06	0.10	0.15
12	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02
13	0.05	0.05	0.11	0.29	0.23	0.14	0.08	0.04	0.07	0.10	0.15
14	0.03	0.12	0.14	0.09	0.06	0.03	0.00	0.05	0.02	0.05	0.02
15	0.01	0.00	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05
16	0.04	0.10	0.04	0.04	0.08	0.12	0.13	0.11	0.11	0.09	0.14
17	0.01	0.12	0.07	0.16	0.26	0.24	0.20	0.15	0.12	0.09	0.08
18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02
19	0.03	0.12	0.10	0.03	0.12	0.13	0.14	0.09	0.06	0.06	0.03
20	0.01	0.06	0.07	0.14	0.10	0.08	0.04	0.06	0.03	0.04	0.07
21	0.00	0.02	0.03	0.06	0.06	0.08	0.06	0.08	0.09	0.11	0.07
22	0.02	0.04	0.09	0.02	0.03	0.06	0.07	0.07	0.09	0.08	0.09
23	0.01	0.09	0.09	0.07	0.09	0.14	0.17	0.16	0.14		



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 5 von 9

Page 5 of 9

Part 1: Power QualityDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 01**

Technical Guideline Part 23, FGW

$I_n=300A$	0 % P/P _n	10 % P/P _n	20 % P/P _n	30 % P/P _n	40 % P/P _n	50 % P/P _n	60 % P/P _n	70 % P/P _n	80 % P/P _n	90 % P/P _n	100 % P/P _n
	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n
Harmoni c #											
27	0.00	0.00	0.04	0.07	0.10	0.10	0.09	0.12	0.12	0.13	0.13
28	0.02	0.07	0.05	0.07	0.03	0.03	0.05	0.07	0.08	0.06	0.09
29	0.01	0.07	0.13	0.05	0.07	0.06	0.08	0.11	0.12	0.10	0.10
30	0.00	0.01	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02
31	0.02	0.02	0.03	0.04	0.09	0.07	0.04	0.03	0.06	0.05	0.06
32	0.05	0.07	0.10	0.04	0.09	0.08	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05
33	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.08	0.09	0.11	0.10	0.11	0.10
34	0.04	0.06	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.06
35	0.01	0.07	0.02	0.11	0.05	0.11	0.07	0.05	0.07	0.05	0.09
36	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01
37	0.03	0.01	0.03	0.06	0.02	0.07	0.09	0.01	0.04	0.04	0.08
38	0.07	0.08	0.10	0.04	0.12	0.11	0.07	0.07	0.05	0.06	0.10
39	0.01	0.01	0.02	0.00	0.03	0.03	0.05	0.06	0.04	0.04	0.06
40	0.06	0.06	0.08	0.06	0.04	0.06	0.07	0.06	0.03	0.01	0.05
41	0.02	0.05	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.08	0.07	0.04	0.03
42	0.02	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03
43	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.08	0.04	0.03	0.03	0.07
44	0.10	0.12	0.11	0.05	0.12	0.16	0.08	0.07	0.06	0.07	0.10
45	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03
46	0.08	0.10	0.11	0.06	0.11	0.08	0.08	0.06	0.04	0.04	0.09
47	0.02	0.06	0.07	0.02	0.09	0.08	0.09	0.13	0.14	0.10	0.04
48	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.06	0.02	0.03	0.05	0.01
49	0.04	0.04	0.04	0.02	0.07	0.03	0.04	0.04	0.07	0.06	0.10
50	0.11	0.14	0.19	0.13	0.14	0.22	0.12	0.11	0.05	0.05	0.14

Part 1_ Power Quality



TÜVRheinland®



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 6 von 9

Page 6 of 9

Part 1: Power Quality

Determination of the electrical properties of the 200R-HD4-BC00

Extract No: 01

Technical Guideline Part 23, FGW

$I_n=300$ A	0 % P/P _n I [% I _n]	10 % P/P _n I [% I _n]	20 % P/P _n I [% I _n]	30 % P/P _n I [% I _n]	40 % P/P _n I [% I _n]	50 % P/P _n I [% I _n]	60 % P/P _n I [% I _n]	70 % P/P _n I [% I _n]	80 % P/P _n I [% I _n]	90 % P/P _n I [% I _n]	100 % P/P _n I [% I _n]
Frequen- cy, Hz	Interharmonics										
75	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.01	0.02	0.03	0.09	0.09
125	0.04	0.01	0.03	0.03	0.09	0.04	0.03	0.13	0.12	0.14	0.19
175	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.02	0.04	0.09
225	0.02	0.01	0.01	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.05	0.07
275	0.00	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.01	0.08	0.02	0.04
325	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.02	0.03	0.07	0.08	0.05
375	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02
425	0.01	0.00	0.02	0.04	0.08	0.05	0.01	0.07	0.11	0.09	0.10
475	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.02
525	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01
575	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.01
625	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04	0.03	0.01
675	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02
725	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03
775	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
825	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02
875	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03
925	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
975	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01
1025	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
1075	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
1125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00
1175	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
1225	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
1275	0.00	0.00	0.00	0.01							



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 7 von 9

Page 7 of 9

Part 1: Power QualityDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 01**

Technical Guideline Part 23, FGW

$I_n=300$ A	0 % P/P _n	10 % P/P _n	20 % P/P _n	30 % P/P _n	40 % P/P _n	50 % P/P _n	60 % P/P _n	70 % P/P _n	80 % P/P _n	90 % P/P _n	100 % P/P _n
	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n	I_1 % I_n
Frequen cy, Hz	Interharmonics										
1775	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.05	0.03
1825	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
1875	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01
1925	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01
1975	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01



TÜVRheinland®



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 8 von 9

Page 8 of 9

Part 1: Power Quality

Determination of the electrical properties of the 200R-HD4-BC00

Extract No: 01

Technical Guideline Part 23, FGW

$I_n = 300A$	0 % P/P _n	10 % P/P _n	20 % P/P _n	30 % P/P _n	40 % P/P _n	50 % P/P _n	60 % P/P _n	70 % P/P _n	80 % P/P _n	90 % P/P _n	100 % P/P _n
	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n	I_L % I_n
Frequen- cy, Hz	Higher Frequency Harmonics										
2100	0.02	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03
2300	0.08	0.10	0.11	0.06	0.11	0.08	0.08	0.06	0.04	0.04	0.09
2500	0.11	0.14	0.19	0.13	0.14	0.22	0.12	0.11	0.05	0.05	0.14
2700	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.06	0.07	0.07	0.11	0.02
2900	0.07	0.14	0.15	0.05	0.14	0.19	0.11	0.08	0.04	0.02	0.14
3100	0.07	0.13	0.12	0.04	0.12	0.15	0.07	0.07	0.03	0.06	0.10
3300	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.03	0.03	0.05	0.02
3500	0.04	0.06	0.06	0.01	0.08	0.07	0.03	0.04	0.02	0.02	0.10
3700	0.03	0.06	0.07	0.01	0.07	0.07	0.03	0.04	0.02	0.02	0.07
3900	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	0.00
4100	0.02	0.04	0.04	0.01	0.04	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.05
4300	0.02	0.04	0.04	0.01	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.00	0.05
4500	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00
4700	0.02	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
4900	0.02	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03
5100	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
5300	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
5500	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
5700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
5900	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
6100	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
6300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
6500	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6700	0.02	0.02	0.								



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 9 von 9
Page 9 of 9

Part 1: Power Quality

Determination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00**

Extract No: 01

Technical Guideline Part 23, FGW

This extract of test report summarizes the results of the test report No: 28107204 001

Measured by: Marco Piva

Date: 2/06/2015

Marco Piva / Signature

This test report comprises 9 pages total. Copyright of the publisher.

No part of this form may be reproduced in any form or by any means without permission of the copyright.



Anhang A2

TR3 Auszug Teil 2 – Regelfähigkeit am Netz / grid control capability





Extract from Test report: 28107204 001

Seite 1 von 3

Page 1 of 3

Part 2: Grid Control CapabilityDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 02**

Technical Guideline Part 23, FGW

Type of System:	MicroTurbine power generating system (CHP)
Manufacturer data:	Capstone Turbine Corporation 21211 Nordhoff Street Chatsworth, CA, U.S.A. 91311
Reference test report:	28107204 001
Measuring period:	From 10.11.2014 to 26.11.2014
Active Power [P_{Emax}]: (nominal power at reference conditions)	200 KW

Rated Data:

Rated Apparent Power S_n	200 KVA	Rated Current I_n	300 A
Rated Frequency f_n	50 Hz	Nominal Voltage V_n	400 Vac

Performance:

$P_{500}=P_{10min}[KW]$	197.07	$P_{50}=P_{1min}[KW]$	197.18	$P_{0.2}=P_{momentan}[KW]$	196.99
$P_{500}=P_{500}/P_{nG}$	98.5%	$P_{50}=P_{50}/P_{nG}$	98.6%	$P_{0.2}=P_{0.2}/P_{nG}$	98.5%

Power set-point control

Mean power gradient at over-frequency	Mean gradient = 39.80% of P_n / Hz
---------------------------------------	--------------------------------------

The unit is able to be run at reduced power :	☒ Yes	☐ No
Set-point provision :	Exceeding	Undercut
Maximal deviation of power setting :	0.21% at setpoint 0%	-1.17% at setpoint 100%
Response time of the power output after a setting :	☐ 100% to 30% ☒ 100% to 15% ☐ 100% to 50%	17.0 s
Reconnection time :	>300 s	
Maximum power gradient after disconnection :	10.36% P_n / minute	

Part 2: Grid Control Capability



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 2 von 3

Page 2 of 3

Part 2: Grid Control CapabilityDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 02**

Technical Guideline Part 23, FGW

Provision of Reactive Power

	Available power P/Pn [%]	Qind [VAr]	Q0 (cap) [VAr]	Qcap [VAr]
Control of reactive power in normal operation mode (PQ-Diagram)	5	4814.058	3053.138	5755.817
	8	4944.162	5316.32	8202.943
	10	5400.878	472.725	10329.519
	20	-16700.616	5224.882	19276.923
	30	-26102.451	4887.154	28707.454
	40	-35584.203	4664.056	37709.141
	50	-45768.255	4631.046	46859.068
	60	-55642.138	4456.329	55774.595
	70	-65666.344	4299.583	65005.908
	80	-75712.345	4186.061	73713.497
	90	-86117.014	4098.164	82510.978
	93	-89539.849	4071.77	85629.234
	100	-	4055.342	-

Control of reactive power through set-point signal	☒ Reactive power	☐ cos ϕ
	Set point	Measure value
	-24.22 % (-48450 VAr) (inductive)	-22.92 % (-45848 VAr) (inductive)
	0	+1.96 (3925 VAr)
	24.22 % (48450 VAr) (Capacitive)	23.48 % (46956 VAr) (Capacitive)

Positioning accuracy of power factor or reactive power	Set-Point of reactive power [VAr]	1-min average of reactive power [VAr]	Deviation between set-point and reference value [VAr]
	0	4687.15	+ 4687.15
	-48450	-45609.72	- 2840.28
	48450	47069.24	+ 1380.76
	0	4687.15	+ 4687.15
Longest response time :		13 s	
Note :		/	



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 3 von 3
Page 3 of 3

Part 2: Grid Control Capability

Determination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00**

Extract No: 02

Technical Guideline Part 23, FGW

This extract of test report summarizes the results of the test report No: 28107204 001

Measured by: Marco Piva

Date: 27/04/2015

Marco Piva / Signature

This test report comprises 3 pages total. Copyright of the publisher.

No part of this form may be reproduced in any form or by any means without permission of the copyright.



Anhang A3

TR3 Auszug Teil 3 – Schutzsystem / protection system





Extract from Test report 28107204 001

Seite 1 von 3

Page 1 of 3

Part 3: Protection systemDetermination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 03**

Technical Guideline Part 23, FGW

Type of System:	MicroTurbine power generating system (CHP)
Manufacturer data:	Capstone Turbine Corporation 21211 Nordhoff Street Chatsworth, CA, U.S.A. 91311
Reference test report:	28107204 001
Measuring period:	From 10.11.2014 to 26.11.2014
Active Power [$P_{E_{max}}$]: (nominal power at reference conditions)	200 KW

Rated Data:

Rated Apparent Power S_n	200 KVA	Rated Current I_n	300 A
Rated Frequency f_n	50 Hz	Nominal Voltage V_n	400 Vac

Table: Cut-off from grid						
☒ The test of the whole trip led to successful shut down.						
Protection function		Setting value	Release Value [pu] oder	Release Time [s]		Tripping time NS protection
				Set point	Measured	
Overvoltage protection:	$U >$	120% U_n	119% U_n	0.10	88.8 m	☒ ≥ 0.98 ☐ < 0.98
Under-voltage protection:	$U <$	80% U_n	80% U_n	1.50	1.74	☒ ≤ 1.02 ☐ > 1.02
Over-frequency protection:	$f >$	51.5 Hz	51.49 Hz	0.10	90 m	---
Under-frequency protection:	$f <$	47.5 Hz	47.50 Hz	0.10	0.10	---
Operating time of circuit breaker		☐ by measurement			☒ by test certificate	

Part 3: Protection system



TÜVRheinland®



Extract from Test report: 28107204 001

Seite 2 von 3
Page 2 of 3**Part 3: Protection system**Determination of the electrical properties of the **200R-HD4-BC00****Extract No: 03**

Technical Guideline Part 23, FGW

Type of System:	MicroTurbine power generating system (CHP)
Manufacturer data:	Capstone Turbine Corporation 21211 Nordhoff Street Chatsworth, CA, U.S.A. 91311
Reference test report:	28107204 001
Measuring period:	From 10.11.2014 to 26.11.2014
Active Power [P_{Emax}]: (nominal power at reference conditions)	200 kW

Part 3: Protection system





TÜVRheinland®



Extract from Test report 28107204 001

Seite 3 von 3
Page 3 of 3**Part 3: Protection system**

Determination of the electrical properties of the 200R-HD4-BC00

Extract No: 03

Technical Guideline Part 23, FGW

Type of System:	MicroTurbine power generating system (CHP)
Manufacturer data:	Capstone Turbine Corporation 21211 Nordhoff Street Chatsworth, CA, U.S.A. 91311
Reference test report:	28107204 001
Measuring period:	From 10.11.2014 to 26.11.2014
Active Power [$P_{E_{max}}$]: (nominal power at reference conditions)	200 KW

Table: Cut-in conditions		
	Setting Value [pu] order /or [Hz]	Cut in measured value [pu] order /or [Hz]
Undervoltage	0.95 Un	0.96 Un
Overfrequency	50.05	50.05
Underfrequency	47.50	47.60

This extract of test report summarizes the results of the test report No: 28107204 001

Measured by: Marco Piva

Date: 2/06/2015



Marco Piva / Signature

This test report comprises 3 pages total. Copyright of the publisher.

No part of this form may be reproduced in any form or by any means without permission of the copyright.

Part 3: Protection system