

Netzeigenschaften 2,5MW...4,1MW Grid Performance 2.5MW...4.1MW

VENSYS Datenblatt VENSYS Data Sheet

Rev. c
Datum / Date: 15.03.2024
Dateiname / File Name: Grid_Performance_2500_4100_Rev_c.odt

Mateusz Sikorski

Erstellt von / Author: Dipl. Ing. Mateusz Sikorski

Christian Leipig

Freigabe / Approval: Dipl. Ing. (FH) Christian Leipig

Inhalt / Content

1	Allgemeine Übersicht / General Layout.....	3
2	Technisches Datenblatt / Technical Datasheet.....	4
2.1	Unterschiede zwischen den Typen / Differences between the types.....	10
3	Wirkleistungsabgabe / Active Power capability.....	11
3.1	Externe Sollwertvorgabe / External power limitation.....	11
3.2	INIT-Datei P-Sollwert / INIT-file active power setpoint.....	12
3.3	Leistungs-Frequenz-Regelung / Power frequency control.....	13
3.4	INIT-Datei P/f / INIT-file P/f.....	14
3.5	Fern/Ort-Umschaltung / Remote/Local limitation control.....	15
4	Blindleistungsabgabe / Reactive power capability.....	16
4.1	Erweiterter Stellbereich / Extended reactive power range.....	16
4.2	Q-Sollwertvorgabe / Reactive power setpoints.....	17
4.3	Dynamisches Verhalten / Dynamical Behavior.....	19
4.4	INIT-Datei Blindleistung / INIT-file reactive power.....	21
4.5	Fern/Ort-Umschaltung / Remote/Local limitation control.....	21
5	Betriebsbereich der Einheit / Possible operation range.....	22
5.1	Umgebungsbedingungen / Ambient conditions.....	22
5.2	Spannung / Voltage.....	22
5.3	Frequenz / Frequency.....	24
5.4	Frequenzänderungsgeschwindigkeit / RoCoF.....	25
6	Netzschutz / Grid protection.....	26
6.1	Netzspannung / Grid voltage.....	26
6.2	Netzfrequenz / Grid frequency.....	27
6.3	Meßgenauigkeit / Measurement accuracy.....	27
6.4	Wirkungskette bei Grenzüberschreitungen / Reactions on limit exceedance.....	27
6.5	Prüfmöglichkeit der Schutzeinrichtung / Testing of the protection.....	28
6.6	INIT-Datei Netzschutz / INIT-file grid protection.....	28
7	FRT-Verhalten / FRT behavior.....	29
7.1	Fehlererkennung / Error detection.....	29
7.2	Stromeinspeisung / Current injection.....	30
7.3	FRT-Grenzkurve / FRT limit curve.....	31
7.4	Eigenschutz der Einheit / Self-protection of the turbine.....	32
7.5	INIT-Datei FRT / INIT-file FRT.....	33
8	Start- und Stoppvorgang / Machine start/stop.....	34
8.1	Startvorgang / Starting.....	34
8.2	Stoppvorgang / Stopping.....	35
9	Wiederzuschaltung / Reconnection.....	36
9.1	INIT-Datei Wiederzuschaltung / INIT-file Reconnection.....	36
10	Parkreglerkommunikation / Wind farm controller.....	37
10.1	Init-Datei Parkregler / Init file farm controller.....	37
11	Eigenbedarf / Stand-by consumption.....	38

1 Allgemeine Übersicht / General Layout

Dieses Dokument beschreibt die Netzeigenschaften der VENSYS 2,5 MW, 3,0 MW, 3,5 MW, 3,8 MW und 4,1 MW. Alle Netzdaten sind auf die Niederspannungsseite des Mittelspannungstransformators bezogen.

This document describes the grid performance of the VENSYS 2,5 MW, 3,0 MW, 3,5 MW, 3,8 MW and 4,1 MW. All Grid data refer to the low-voltage side of the medium-voltage transformer.

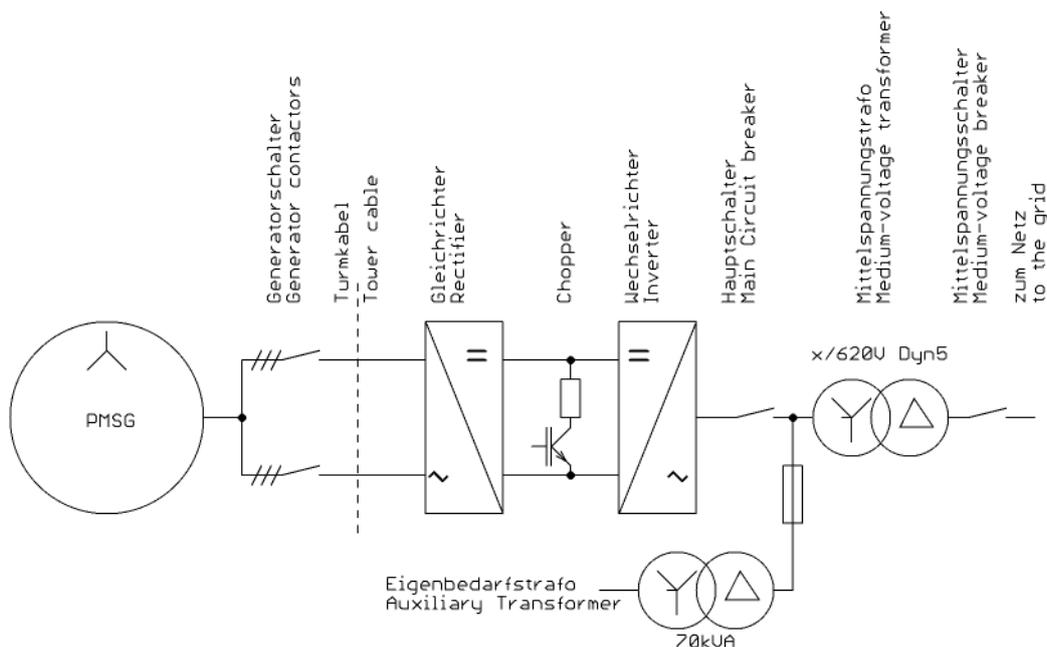


Abbildung 1: Allgemeine Übersicht / General Layout

Die VENSYS 2,5 – 4,1 MW-Anlagen sind getriebelose, pitchgeregelte Anlagen mit permanentmagneterregtem Synchrongenerator und Vollumrichter. Der Vollumrichter besteht aus einem aktiven Gleichrichter und einem Netzwechselrichter. Des Weiteren ist ein Bremswiderstand (Chopper) vorhanden.

The Vensys 2,5 – 4,1MW turbines are gearless, pitch-controlled turbines with permanent-magnet synchronous generator and full-size converter. The converter consists of an active rectifier and a grid-side inverter. Furthermore, a chopper resistor is connected to the DC-link.

2 Technisches Datenblatt / Technical Datasheet

1	Allgemeines	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	General
1	Hersteller	VENSYS Energy AG					Manufacturer
2	Anlagenbezeichnung	VENSYS 112	VENSYS 115 / VENSYS 115 Version 2	VENSYS 120	VENSYS 126 / VENSYS 126 Version 2	VENSYS 136 / VENSYS 136 Version 2	Type name
3	Art (horizontale/vertikale Achse)	Horizontal					Generic type (horizontal/vertical axis)
4	Nennleistung	2500 kW	4100 kW	3000 kW	3800 kW	3500 kW	Rated power
5	Nennspannung	620 V					Rated voltage
6	Nabenhöhe über Grund	93,5 m / 140 m	67,5m / 72,0m / 72,5m / 89,4 m / 92,5m / 119m	90 m / 140 m	86,9m / 96,9 m / 136,9 m	81,7m / 97,2 m / 100m / 131,7m / 161,2 m	Hub height above ground
7	Nabenhöhe über Fundamentflansch	91,5 m / 138,2 m	65,5m / 70,0m / 70,5m / 90,5m / 117m	88 m / 138,2 m	84,9 m / 94,9 m / 135,1 m	79,7 m / 95,2 m / 98m / 129,9 m / 159,1 m	Hub height above top of foundation flange
8	Nennwindgeschwindigkeit	10 m/s	11,8 m/s	90 m HH 10,7 m/s 140 m HH 10,5 m/s	10,8 m/s	10 m/s	Rated wind speed
9	Ein- und Abschaltwindgeschwindigkeit	3,0 / 25,0 m/s	3,0 / 25,0 m/s	3,0 / 22,0 m/s	86,9 & 96,9 m HH 3,0 / 25,0 m/s 136,9 m HH 3,0 / 22,0 m/s	3,0 / 22,0 m/s	Cut-in and cut-out wind speed
10	Nennstrom I_n	2328 A	3818 A	2794 A	3539 A	3559 A	Rated current I_n
11	Dauerkurzschlussstrom	1,19 I_n					Continuous short circuit current
12	Maximaler Anfangskurzschlussstrom I''_{kmax}						Maximum initial short-circuit current I''_{kmax}
	3-phasige Kurzschlüsse	1,11 I_n					3-phase short-circuits
	2-phasige Kurzschlüsse	1,07 I_n					2-phase short circuits
	Maximale Stoßkurzschlussstrom $I_{p,max}$						Maximum aperiodic short- circuit current $I_{p,max}$
	3-phasige Kurzschlüsse	2,56 I_n					3-phase short-circuits
	2-phasige Kurzschlüsse	1,7 I_n					2-phase short circuits
13	Effektivwert des Quellenstroms bei dreipoligen Fehler I_{sk3PF}	2584 A	4238 A	3101 A	3928 A	3618 A	RMS current 3-phase faults
14	Effektivwert des Quellenstroms bei zweipoligen Fehler $I_{(1)sk2PF}$	2491 A	4085 A	2989 A	3786 A	3487 A	RMS current 2-phase faults
15	Effektivwert des Quellenstroms bei einpoligen Fehler $I_{(1)sk1PF}$	2491 A	4085 A	2989 A	3786 A	3487 A	RMS current 1-phase faults

16	Kurzschlussgegenimpedanz $Z_{(2)PF}$	77 mΩ	47 mΩ	64 mΩ	51 mΩ	55 mΩ	Negative sequence impedance
17	Maximaler Eigenbedarf	60 kW					Maximum Consumption

2	Rotor	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Rotor
1	Durchmesser	112,5 m	115 m	120 m	126 m	136 m	Diameter
2	Bestrichene Fläche	9940 m ²	10378 m ²	11310 m ²	12469 m ²	14527 m ²	Swept area
3	Anzahl der Blätter	3					Number of blades
4	Nabenart (pendelnd/starr)	starr/rigid					Generic type of hub (teetered/rigid)
5	Anordnung zum Turm (luv/lee)	luv					Relative position to tower
6	Nenn Drehzahl / -bereich	93,5m HH 7 – 13,6 rpm 140m HH 6,5 – 13,6 rpm	67, 5m HH 8,8 – 12,3 rpm 72,0m HH 8,0 – 12,3 rpm 72,5m HH 8,0 – 12,3 rpm 89,4m HH 6,5 – 12,3 rpm 92,5m HH 6,5 – 12,3 rpm 119m HH 5,1 – 12,3 rpm	90 m HH 7 – 12,7 rpm 140 m HH 6,5 – 12,7 rpm	86,9 m HH 6,5 – 11,5 rpm 96,9m HH 5,5 – 11,5 rpm 136,9 m HH 6,1 – 11,5 rpm	81,7 & 131,7 m HH 6,5 – 10,7 rpm 97,2 & 100 m HH 6,0 – 10,7 rpm 161,2 m HH 5,5 – 10,7 rpm	Rated speed / speed range
7	Auslegungsschnellaufzahl	9,1	7,5	9,6	8,3	9,4	Design tip speed ratio
8	Rotorblatteinstellwinkel	0°	-1,9°	0°	-2°	-0,1°	Rotor blade pitch setting
9	Konuswinkel	3°					Cone angle
10	Achsneigung	5° / 6° (Version 2)					Tilt angle
11	Größte Nabenhöhe	140 m	119m	140 m	136,9 m	161,2 m	Maximum hub height

3	Rotorblatt	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Rotor blade
1	Hersteller	LZ	Eblades Technology	LM Glasfiber LZ	Eblades Technology	LM / Windnovation	Manufacturer
2	Typenbezeichnung	LZ55-3.0-V3	EBT56	LM58.7P3	EBT61.6	LM 66,9 P/P2	Type name
3	Profile innen/ausen	-/-					Blade section inner/outer
4	Material	GFK / GRP	GFK / GRP	GFK / GRP	GFK / GRP, CFK / CRP	GFK / GRP	Material
5	Länge	55 m	56,0 m	58,7 m	61,6 m	66,9 / 66,7 m	Length
6	Profiltiefe max/min	kA	4310 mm	4000 mm	4310 mm	4116mm	Chord length max/min
7	Zusatzkomponenten (z. B. stall strips, Vortexgeneratoren, Turbulatoren)	Keine / none	Serrations optional	Keine / none	Serrations optional	Vortex, Serrations	Additional components (e. g. stall strips, vortex generators, trip strips)
8	Extenderlänge	0 m					Extender length

4	Getriebe	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Gear
Getriebeloses Design / Gearless design							

5	Generator	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Generator
1	Hersteller	VENSYS Energy AG					Manufacturer
2	Typenbezeichnung	VENSYS 2,5 MW	VSG3535 / GW 4.XMW-TFY (Version 2)	VENSYS 3 MW	VSG3535 / GW 4.XMW-TFY (Version 2)	VSG3535 / GW 4.XMW-TFY (Version 2)	Type
3	Anzahl	1					Number
4	Art (horizontale/vertikale Achse)	horizontal					Design
5	Nennleistung(en)	2670 kW	3690 - 4300 kW	3250 kW	3690 - 4300 kW	3690 - 4300 kW	Rated power(s)
6	Nennscheinleistung	Umrichterbetrieb / Operated with frequency converter					Rated apparent power
7	Nennzahl oder Drehzahlbereich	13,6 – 14,5 rpm	10,7 – 12,3 rpm	12,73 – 13,6 rpm	10,7 – 12,3 rpm		Rated speed / speed range
8	Spannung	690 V	720 – 835 V 720 – 780 V (Version 2)	777 - 800 V	720 – 835 V 720 – 780 V (Version 2)		Voltage
9	Frequenz	49,5 – 10,2 Hz	7,5 – 8,6 Hz 7,1 – 8,2 Hz (Version 2)	8,9 – 9,5 Hz	7,5 – 8,6 Hz 7,1 – 8,2 Hz (Version 2)		Frequency
10	Polpaarzahl	42; Version 2: 40					Pole pair number

6	Turm	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Tower
1	Hersteller	Ambau / KGW / SIAG / Reuther STC / Max Bögl					Manufacturer
2	Typenbezeichnung	-					Type
3	Ausführung (Gitter/Rohr, zyl./kon.)	Rohr, zyl.&kon. Tube, cyl.&con.	Rohr, zyl.&kon. Tube, cyl.&con.	Rohr, zyl.&kon. Tube, cyl.&con.	Rohr, zyl.&kon. Tube, cyl.&con.	Rohr, zyl.&kon. Tube, cyl.&con.	Design (lattice/tubular, cylindrical/conical)
4	Material	Stahl / Beton & Stahl Steel / Concrete & Steel	Stahl	Stahl / Beton & Stahl Steel / Concrete & Steel	Stahl	Stahl / Beton & Stahl Steel / Concrete & Steel	Material
5	Länge	89,650 m / 136,340 m	68,498 m / 88,498 m Version 2: 63,858 m / 68,808 m / 68,858 m / 88,858 m / 115,410 m	85,900 m / 136,290 m	82,901 m / 92,901 m / 133,091 m Version 2: 83,241 m / 93,261 m / 132,651 m	77,743 m / 93,243 m / 96,043 m / 127,933 m / 157,088 m Version 2: 78,103 m / 93,603 m / 95,603 m / 127,493 m / 156,660 m	Length

7	Windrichtungsnachführung	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Yaw control
1	Ausführung (aktiv/passiv)	aktiv/active					Design (active/passive)
2	Antriebsart (el./mech./hydr.)	elektrisch/electrical					Drive (electr./mech./hydr.)

8	Betriebsführung / Regelung	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Control system / control
1	Software version Nr.						Software version no.
2	- Umrichter	0.48 (oder höher)					- Converter
3	- Steuerung	VEN25_V2410 (oder höher)					- Control system
4	- Netzschutz	Integriert im Umrichter / integrated in the converter control					- Grid protection
5	- Andere relevante	-					- Others
6	Art der Leistungsregelung	pitch					Generic type of power control
7	Antrieb der Leistungsregelung	elektrisch/electrical					Actuation of power control
8	Hersteller der Betriebsführung/ Regelung	Hardware: Beckhoff / Software: Vensys					Manufacturer of control system
9	- Typenbezeichnung	CX1020-0011					- Type
10	- Verwendete Steuerungskurve	-					- Applied control characteristic
11	Unterbrechungsfreie Stromversorgung	2x Phoenix Contact DC-UPS 40A					UPS Type
12	Nennleistung	2x 960 W					Rated Power

9	Umrichter	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Converter
1	Hersteller	VENSYS Elektrotechnik GmbH					Manufacturer
2	Typenbezeichnung	VE 2500	VE 4100	VE 3000	VE 3800	VE 3500	Type
3	Umrichtersteuerung	Umrichterboard 2,5MW					Converter Controller
4	Spannungsebene	620 V					Voltage level
5	Nennscheinleistung	2500 kVA	4100 kVA	3000 kVA	3800 kVA	3500 kVA	Apparent rated power
6	Maximale Scheinleistung	2778 kVA	4556 kVA	3333 kVA	4222 kVA	3889 kVA	Maximum apparent power
7	Maximaler Dauerstrom	2587 A	4242 A	3104 A	3932 A	3632 A	Maximum permanent current
8	Pulsfrequenz netzseitig	2,4 kHz / 2,5 kHz	2,5 kHz	2,5 kHz	2,5 kHz	2,5 kHz	Switching frequency grid side
9	Hauptschalter	ABB EMAX E3S 32 W MP 3P PR121-LSI, Ic=75kA	Siemens 3WL1350-4EB66, Ic=85kA oder 3WA1350-5AE32-4BL1, Ic=85kA	ABB EMAX E4S 40 W MP 3P PR121-LSI, Ic=75kA			Main contactor

10	Transformator	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Transformer
1	Hersteller	SGB / Schneider Electric					Manufacturer
2	Typenbezeichnung	diverse					Type
3	Schaltgruppe	Dyn 5					Connection
4	Nennscheinleistung	2800 kVA	4600 kVA	3400 kVA	4300 kVA	3900 kVA	Apparent rated power
5	Spannungsebenen	x / 0,62 kV					Voltage level
6	Kurzschlussspannung	6 – 7 %					Short circuit voltage

11	Bremssystem	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Brake system
1	Bremssystem (primär/sekundär)	pitch / 3-fach redundant / pitch / triple redundant					Brake system (primary/secondary)
2	- Aktivierung	Betriebsführung / Control system					- Activation
3	- Anordnung zum Turm (Iuv/lee)	Iuv					- Location (Iuv/lee)
4	- Bremsenart	aerodynam.					- Type
5	- Betätigung	elektrisch/electric					- Actuation
6	Pitchmotoren - Hersteller	Schwarz Elektromotoren					Pitch motors - Hersteller
7	- Typ	AKOF 112.7.2.100014	AKOF 160	AKOF 132	AKOF 160	AKOF 160	- Type
8	- Scheinleistung	7 kVA	15,2 kVA	9,55 kVA	15,2 kVA	15,2 kVA	- Rated apparent power

9	- Nenndrehmoment	38 Nm	65 Nm	54 Nm	65 Nm	65 Nm	- Rated Torque
10	- Max. Drehmoment	120 Nm, 30s	225 Nm	150 Nm, 30s	225 Nm	225 Nm	- Maximum Torque
11	- Nennbremsmoment	100 Nm	180 Nm	150 Nm	180 Nm	180 Nm	- Rated brake torque
12	Pitchsystem - Hersteller	VENSYS Elektrotechnik					Pitch system - Manufacturer
13	- Typ	Pitchbox 2,5MW / Pitchbox E300	Pitchbox E450	Pitchbox E390	Pitchbox E450	Pitchbox E450	- Type
14	- Software Version	V5 (oder höher / or higher)	V6 (oder höher / or higher)	V6 (oder höher / or higher)	V6 (oder höher / or higher)	V6 (oder höher / or higher)	- Software version

12	Typenprüfung	VENSYS 112	VENSYS 115	VENSYS 120	VENSYS 126	VENSYS 136	Type test
1	Prüfbehörde	TÜV Nord					Testing authority
2	Aktenzeichen	T-7007/16 (93,5 m HH ST) T-7047/14 (140 m HH Bögl Y01)	T-7007/19 Rev. 1 (72,5 m HH) T-7009/19 Rev. 2 (92,5m HH)	T-7018/13 Rev. 3 (90 m HH ST) T-7013/19 (140 m HH Bögl Y21)	T-7008/19 Rev. 2 (86,9 m HH ST) T-7007/21 (96,9 m HH ST) T-7005/21 (136,9 m HH Bögl Y23)	T-7019/18 Rev. 2 (81,7 m HH ST) T-7002/19 Rev. 3 (131,7 m HH Bögl Y20) T-7019/20 Rev. 1 (161,2 m HH Bögl Y22)	Reference (-D-IEC-b)

Anschrift des Herstellers / Adress of manufacturer:

VENSYS Energy AG
Im Langental 6
66539 Neunkirchen
GERMANY

Der Hersteller der Windenergieanlage bestätigt, dass die WEA, deren elektrische Eigenschaften in den Prüfberichten abgebildet sind, hinsichtlich ihrer technischen Daten mit den o. g. Positionen identisch ist.

The manufacturer of the wind energy converter (WEC) confirms that the WEC whose power quality is measured and depicted in the test reports, is identical with the above entries with regard to its technical data.

2.1 Unterschiede zwischen den Typen / Differences between the types

Die einzelnen Einheiten innerhalb dieser Familie sind gleich aufgebaut.

Die Umrichter unterscheiden sich im Querschnitt der Stromschienen, der Strombelastbarkeit der Filterdrosseln, dem Typ der Messtromwandler am Umrichterausgang, der Größe des Choppers, und im Typ des netzseitigen Hauptschalters.

Die IGBT-Module, bestehend aus IGBT und Zwischenkreis, sowie die Regelung, sind bei allen Umrichtern gleich. Die Wasserkühlung ist entsprechend der Verlustleistung angepasst.

Die Generatoren sind als permanenterregte, 3-phasige Synchrongeneratoren mit Bruchlochwicklung ausgeführt. Sie unterscheiden sich in der Windungszahl und der Aktivteillänge. Der Luftspaltdurchmesser und das Wickelschema sind gleich. Eine Ausnahme hiervon bilden die Generatoren der Versionen 2, die eine andere Wicklung, 6 Phasen, und eine andere Polpaarzahl haben.

Das Pitchsystem besteht immer aus Ladegeräten, die eine Bank von Doppelschichtkondensatoren speisen, und daran angeschlossen einen Wechselrichter mit Pitchmotor. Je nach Rotordurchmesser der EZE kommen hier unterschiedlich große Motoren zum Einsatz, und der Energievorrat wird durch Reihenschaltung von unterschiedlich vielen Kondensatorbänken angepasst.

The construction of all turbines in the family is equal.

The converters differ in regard of the area of the busbars, the current rating of the choke, the type of the grid current transducer, the size of the chopper resistor, and in the type of the main contactor.

The IGBT modules, consisting of the IGBT and the DC link capacitors, and the converter controller, are equal. The water cooling differs according to the power.

The Generators are permanent magnet 3-phase synchronous generators with partial slot winding. They differ in the number of turns, and the length of the active part. The air gap diameter and the winding scheme are equal. An exception from this are the generators in the Version 2, which have a different winding scheme, 6 phases, and a different number of pole pairs.

The pitch system always consists of chargers, which feed a bank of double layer capacitors, and following this an inverter and a motor. Depending on the rotor diameter, the motos have different sizes, and the energy stored in the capacitors is adapted by connecting a certain number of capacitor banks in series.

3 Wirkleistungsabgabe / Active Power capability

Alle Wirkleistungsangaben sind bezogen auf die Nennleistung.

All active power values are related to rated power.

3.1 Externe Sollwertvorgabe / External power limitation

Die Einheit kann die abgegebene Wirkleistung auf einen extern vorgegebenen Höchstwert begrenzen. Dieser Wert kann vorgegeben werden:

- in Stufen (z.B. 70%, 50%, 30%, 0%) an 4 digitalen Eingänge (0/24V) in der Anlage
- stufenlos als 0-10V oder 4-20mA Sollwert in der Anlage
- stufenlos über Ethernet nach IEC 60870-5-104 oder Modbus: Hierzu auch Kapitel 10 beachten!

Der Sollwert wird mit einer einstellbaren Rampe angefahren.

The turbine can reduce the active power to an externally given limit. This limit can be adjusted:

- *In steps (e.g. 70%, 50%, 30%, 0%) on 4 digital inputs in the turbine*
- *as analog value from 0-10V or 4-20mA in the turbine*
- *over Ethernet according to IEC 60870-5-104 or Modbus*

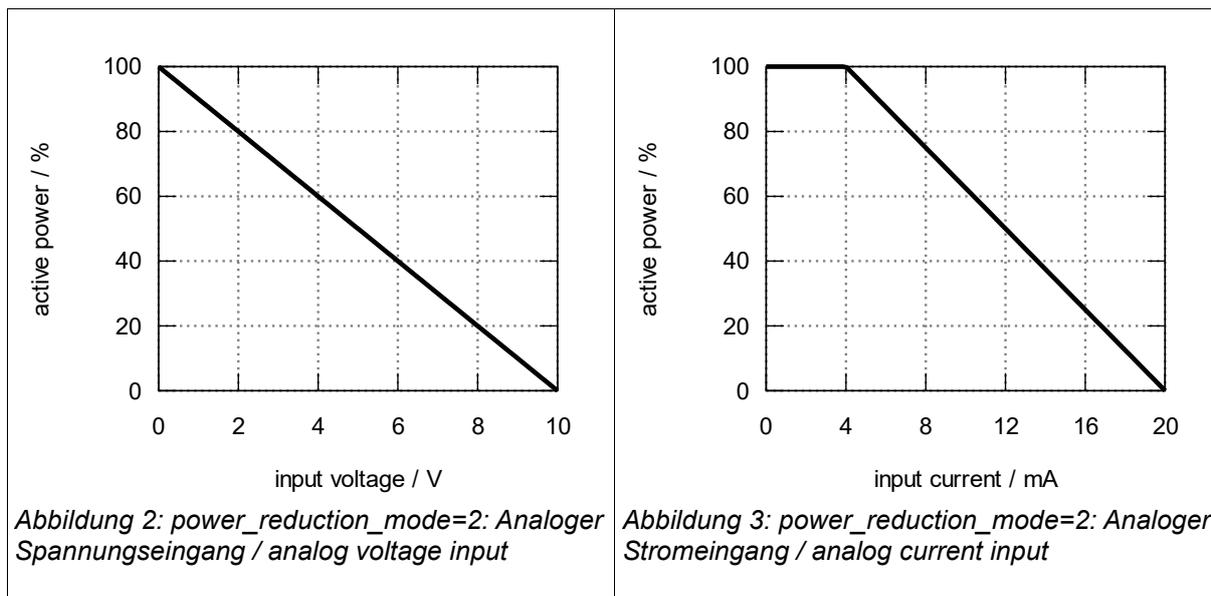
The active power limit follows the setpoint with an adjustable ramp.

Minimale Wirkleistungsgrenze ohne Netztrennung	Minimum Active Power Limit without tripping	3	%
Maximale Wirkleistungsgrenze	Maximum Active Power Limit	100	%
Schrittweite	Step Width	0,01	%
Kleinstmögliche Steigung der Wirkleistungsrampe	Minimum Active Power Gradient	0,05	%/s
Größtmögliche Steigung der Wirkleistungsrampe	Maximum Active Power Gradient	10	%/s
Standardeinstellung	Default value	0,5	%/s
Schrittweite	Step Width	0,01	%/s

Skalierung Analogeingang / Scaling analog input:

$$P_{max} = \left(1 - \frac{U_{setpoint}}{10V}\right) \cdot P_n \text{ 0..10VInput}$$

$$P_{max} = \left(1 - \frac{I_{setpoint} - 4mA}{16mA}\right) \cdot P_n \text{ 4..20mAInput}$$



3.2 INIT-Datei P-Sollwert / INIT-file active power setpoint

Parameter	Bereich / Range	Standard / Default	Einheit / Unit
power_reduction_mode	0: deaktiviert / deactivated 1: Digitaleingänge / digital Inputs 2: Analogeingang / analog Input 3: über Netzwerk / over Network Modbus:Init_RemoteInterface_Type = 1	3	-
Init_RemoteInterface_Type	Gilt nur für Netzwerk: 1: IEC 60870-5-104 4: Modbus TCP	1	-
power_reduction_limit_dig1	0 .. 100; Schrittweite / step width: 0,01	70	%
power_reduction_limit_dig2	0 .. 100; Schrittweite / step width: 0,01	50	%
power_reduction_limit_dig3	0 .. 100; Schrittweite / step width: 0,01	30	%
power_reduction_limit_dig4	0 .. 100; Schrittweite / step width: 0,01	0	%
power_reduction_gradient	0,05 .. 10; Schrittweite / step width: 0,01	0,5	%/s

3.3 Leistungs-Frequenz-Regelung / Power frequency control

Die Steuerung der Einheit ist mit einer Leistungs-Frequenzregelung ausgestattet, die in ihrem Verhalten parametrierbar ist.

Eine Überfrequenz wird erkannt, sobald die vom Umrichter gemessene Netzfrequenz den Wert des Parameters `grid_frequency_rise_f1` überschreitet. Hierbei wird die momentan erzeugte Leistung als Referenzwert gespeichert. Anschließend wird die Leistung über die im Parameter `grid_frequency_rise_pf_gradient` angegebene Statik reduziert. Wenn der Parameter `grid_frequency_rise_use_ref` auf 1 gesetzt ist, erfolgt die Reduzierung in Bezug auf die gespeicherte Referenzleistung, andernfalls bezogen auf die Nennleistung. Der Parameter `grid_frequency_rise_dont_increase` verhindert, wenn er auf 1 gesetzt ist, ein Wiederansteigen der Leistung bei fallender Frequenz.

Sobald die Netzfrequenz den Wert im Parameter `grid_frequency_rise_f2` unterschreitet befindet sich die Einheit wieder im normalen Frequenzband. Ab hier wird für eine Zeit von 10 Minuten eine Steigerung des Wirkleistungssollwertes mit einer über den Parameter `grid_frequency_rise_pt_gradient` einstellbaren Rampe begrenzt. Dieser Gradient bezieht sich immer auf die Nennleistung.

Bei einer Unterfrequenz wird analog zur Überfrequenz verfahren, nur dass hierbei die Leistung (nach Möglichkeit) erhöht wird. Auch hierbei wird nach Rückkehr in das normale Frequenzband die Wirkleistung über eine Rampe gesteigert, falls sich der Sollwert geändert hat oder ändert.

Die Vorgaben durch das Netzsicherheitsmanagement des Verteilernetzbetreibers haben Vorrang vor den Anforderungen an die Leistungserhöhung bei Unterfrequenz. Hierzu ist der Einsatz eines Erzeugungsanlagen-Reglers erforderlich, der zusätzlich zum Sollwert eine Information über die Quelle der Wirkleistungsreduzierung (Netzsicherheitsmanagement oder Dritte) an die Einheit liefert.

Für die Bereitstellung von Primärregelleistung ist der Einsatz eines hierfür geeigneten übergeordneten Erzeugungsanlagen-Reglers erforderlich.

The turbine control is equipped with a power-frequency-control. The behavior of this control can be set by parameters.

An overfrequency is detected if the measured grid frequency rises above the value given by the parameter `grid_frequency_rise_f1`. At this time, the actual active power is saved as reference. Then, the active power will be reduced by the gradient given in the parameter `grid_frequency_rise_pf_gradient`. If the parameter `grid_frequency_rise_use_ref` is set to 1, the power reduction is related to the stored reference power, otherwise, it is related to nominal power. If the parameter `grid_frequency_rise_dont_increase` is set to 1, the active power will not be increased, even if the frequency is falling.

As the frequency falls below the value given in the parameter `grid_frequency_rise_f2`, the turbine is back in the normal frequency range. From now on for a time of 10 minutes, an increase in the active power setpoint is limited by an adjustable ramp given by the parameter `grid_frequency_rise_pt_gradient`. This parameter is always related to nominal power.

In case of an underfrequency, the behavior is the same, except that the power is increased, if possible. Also in this case, the active power is increased on a adjustable ramp after the frequency is back in the normal range

The requirements of the grid security management of the distribution system operator take precedence over the requirements for increasing power at underfrequency. This requires the use of an wind farm controller that supplies information about the source of the active power reduction (grid security management or third parties) to the unit in addition to the setpoint value.

The use of a suitable wind farm controller is required for the provision of frequency containment reserve.

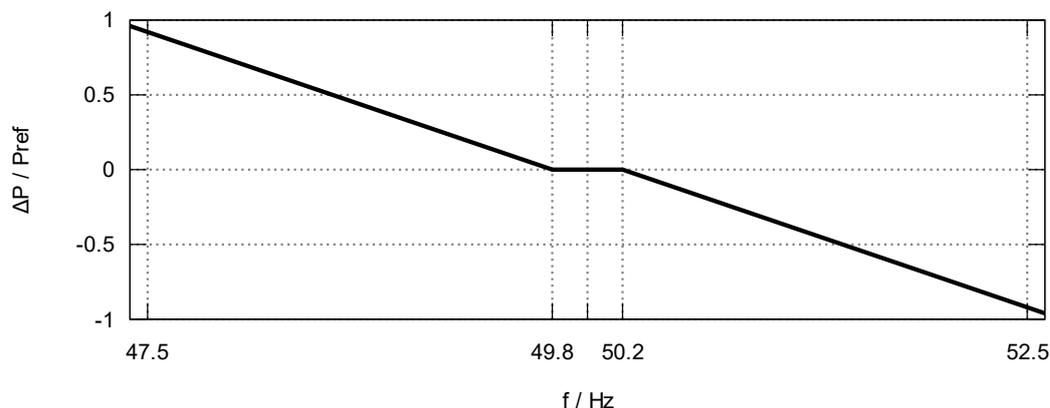


Abbildung 4: Charakteristik mit Standard-Einstellungen / Characteristics with default settings

3.4 INIT-Datei P/f / INIT-file P/f

Parameter	Bereich / Range	Standard / Default	Einheit / Unit
grid_frequency_rise_f1	50..65; Schrittweite / step width: 0,001	50,2	Hz
grid_frequency_rise_f2	50..65; Schrittweite / step width: 0,001	50,2	Hz
grid_frequency_rise_pf_gradient	15..100; Schrittweite / step width: 0,1	40,0	%/Hz
grid_frequency_rise_pt_gradient	0,05..10; Schrittweite / step width: 0,01	0,16	%/s
grid_frequency_rise_use_ref	nur gültig für pf_gradient / only valid for pf_gradient 0: Nennleistung als Referenz / Reference is nominal power 1: Eingefrorene Leistung als Referenz / Freezed power as reference	1	-
grid_frequency_rise_dont_increase	0: Fahren auf Kennlinie / Change power on characteristic 1: Erhöhung verhindern / Don't increase power again	0	-
grid_frequency_fall_f1	45..60; Schrittweite / step width: 0,001	49,8	Hz
grid_frequency_fall_f2	45..60; Schrittweite / step width: 0,001	49,8	Hz
grid_frequency_fall_pf_gradient	15..100; Schrittweite / step width: 0,1	40,0	%/Hz
grid_frequency_fall_pt_gradient	0,05..10; Schrittweite / step width: 0,01	0,16	%/s
grid_frequency_fall_use_ref	nur gültig für pf_gradient / only valid for pf_gradient 0: Nennleistung als Referenz / Reference is nominal power 1: Eingefrorene Leistung als Referenz / Freezed power as reference	1	-

3.5 Fern/Ort-Umschaltung / Remote/Local limitation control

Zu Wartungszwecken besteht die Möglichkeit, die Anlage über die SPS-Programmierschnittstelle in den Servicemodus zu schalten. Hierin kann der Techniker externe Sollwertvorgaben überschreiben. Nach Beendigung der Verbindung zur SPS werden wieder die externen Sollwerte verwendet.

For service purposes, the machine can be switched to service mode by the PLC programming interface. In this mode, the technician can overwrite external setpoints. After disconnecting from the PLC, the machine will use again the external setpoints.

4 Blindleistungsabgabe / Reactive power capability

Der Vollumrichter der Anlage kann im Rahmen seines Maximalstroms Blindleistung bereitstellen. Hierbei ist der Umrichter thermisch so ausgelegt, dass er bei Netzspannung im Bereich von 0,85 bis 1,15 der Nennspannung und Volllast dauerhaft eine Blindleistung nach Abb. 5 erbringen kann.

The full scale converter of the turbine can deliver, in the limits of its current rating, reactive power. The thermal rating of the converter allows to feed in continuously reactive power according Abbildung 5, if the grid voltage is in the range of 0.85 to 1.15 rated.

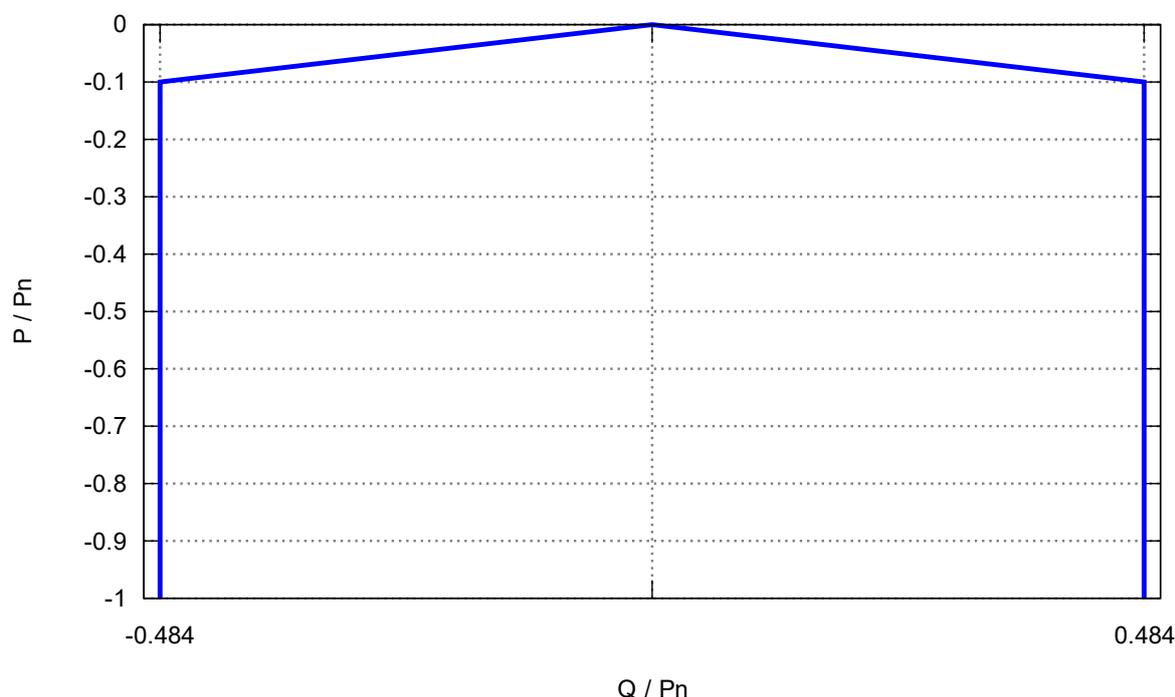


Abbildung 5: P/Q-Diagramm im Verbraucherzählpeilsystem / P/Q-Diagramm in Load Convention

4.1 Erweiterter Stellbereich / Extended reactive power range

Der Blindstrom kann prinzipiell unabhängig vom Wirkstrom bereitgestellt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei niedrigen Windgeschwindigkeiten die Verluste des Umrichters die erzeugte Wirkleistung übersteigen können, und die Anlage damit in den Wirkleistungsbezug übergeht.

Um dies zu vermeiden wird standardmäßig die Blindleistung bei Wirkleistungen < 10% der Nennleistung linear reduziert, und bei Übergang in den Wirkleistungsbezug der Umrichter abgeschaltet.

Nach Rücksprache kann die Anlage aber so konfiguriert werden, dass der gesamte Blindleistungsstellbereich unabhängig von der Wirkleistung zur Verfügung steht. Hierbei bleibt der Umrichter auch bei Stillstand der Anlage in Betrieb.

In principle, the reactive power delivery is independent from the active power. At low wind speeds, it must be considered that the losses in the converter can be higher than the generated active power, and the turbine will consume active power.

To avoid this, the turbine will reduce the reactive power lineary at active power levels below 10% rated power, and the converter is switched off as soon as the losses in the converter exceed the generated power.

On request, the turbine can be configured to deliver the complete range of reactive power, even at stand still of the turbine. In this case, the converter will be permanently switched on.

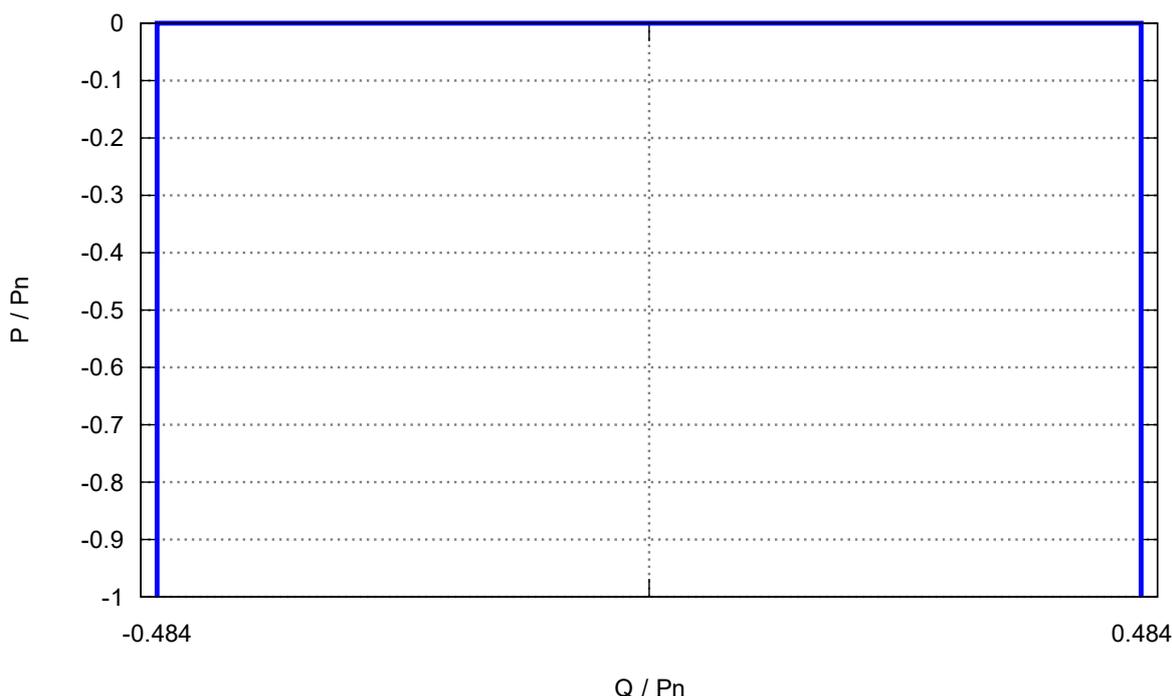


Abbildung 6: Erweiterter Q-Stellbereich / Extended reactive power range

4.2 Q-Sollwertvorgabe / Reactive power setpoints

Die Blindleistung soll in der Regel auf einen bestimmten Wert am Netzanschlußpunkt geregelt werden. Hierzu wird ein Parkregler verwendet, der den Istwert am Netzanschlußpunkt mißt und Sollwerte über IEC 60870-5-104 oder Modbus an die Einheiten übergibt. Bei Ausfall der Kommunikation verhält sich die EZE wie in Kapitel 10 beschrieben.

Außerdem gibt es weitere Varianten zur Vorgabe der Blindleistung die sich auf die Niederspannungsseite der Einheit beziehen:

- als fixer Blindleistungssollwert in der Init-Datei
- als fixer cos phi in der Init-Datei
- als externer Sollwert (cos phi oder Blindleistungssollwert) über einen Analogeingang
- abhängig von der Netzspannung

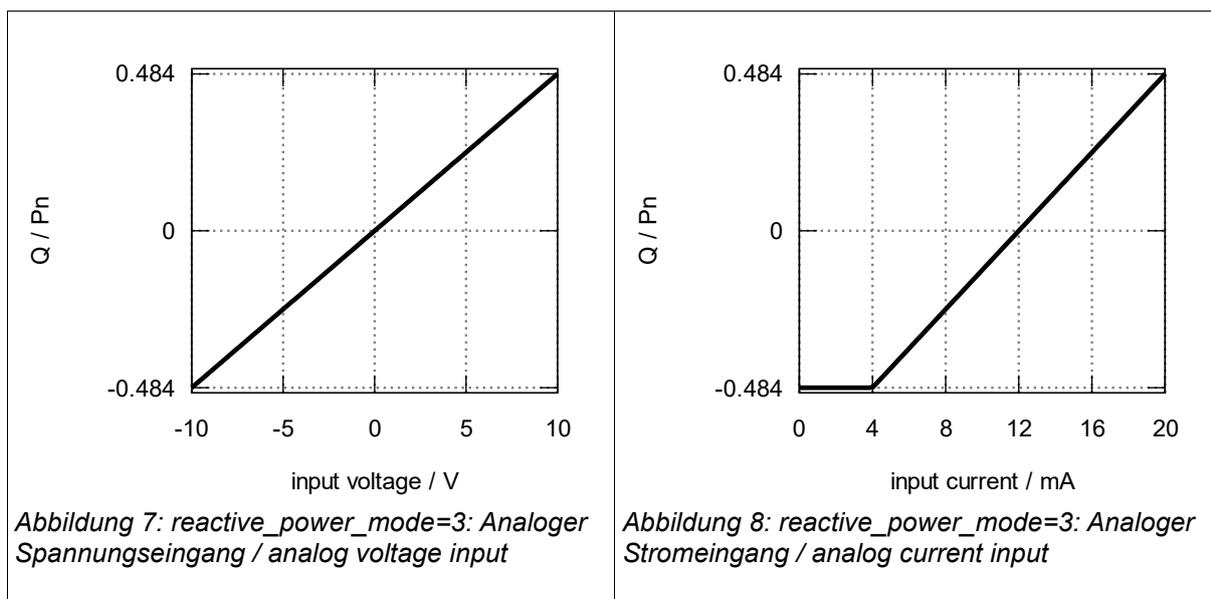
Blindleistungslieferung ins Netz ist mit positivem Vorzeichen für Q dargestellt und entspricht dem übererregten Betrieb eines Synchrongenerators am Netz.

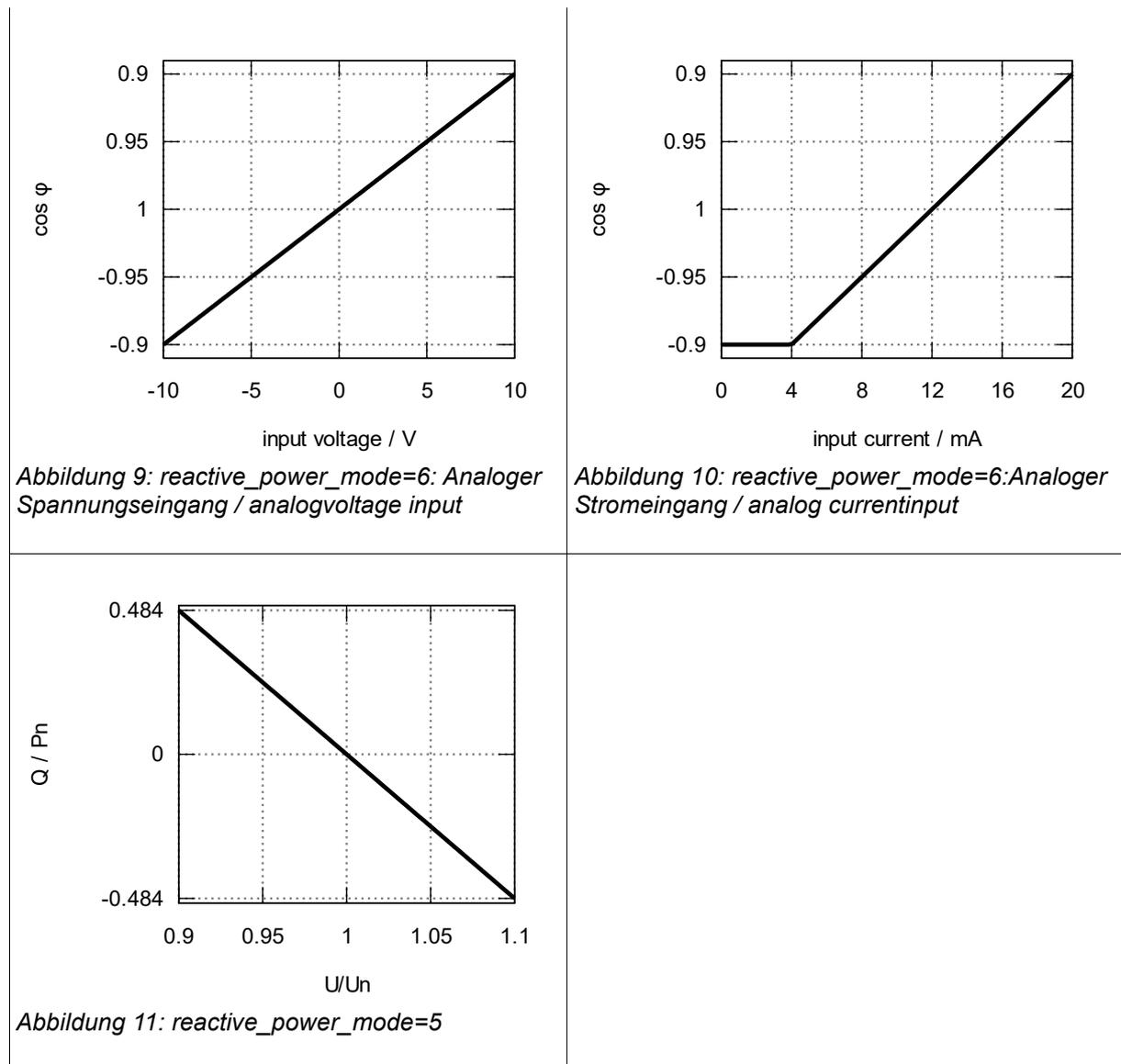
Normally, the reactive power must be controlled at the point of common coupling. Therefore, a wind farm controller is used that measures the reactive power at the point of common coupling, and gives setpoints to the turbines.

Futhermore, there are other possibilities to make a reactive power setpoint, which are related to the low voltage side of the single turbine.

- as fixed reactive power setpoint in the Init-File
- as fixed cos phi setpoint in the Init-File
- as external setpoint by an analog input
- in relation to the grid voltage

Reactive Power Export is shown with positive sign of Q and means a behavior like an overexcited synchronous generator on the grid.





4.3 Dynamisches Verhalten / Dynamical Behavior

Wenn ein neuer Blindleistungswert von außen vorgegeben wird, so läuft der interne Blindleistungswert diesem mit einer einstellbaren Steigung entgegen. Diese kann in der Init-Datei vorgegeben werden als Zeit zwischen 0 und maximaler Blindleistung.

Bei Verwendung eines Parkreglers ist dieser Wert auf eine sehr kurze Zeit (z.B. 0,12s) einzustellen um die Regeldynamik nicht unnötig zu begrenzen.

Im Parkregler ist der Blindleistungsregler als I-Regler auszuführen; damit ergibt sich ein pT1-Verhalten.

Unterlagert (hinter der Rampenfunktion) befindet sich in der Umrichtersteuerung ein I-Regler für die Blindleistung. Dieser kann bei Bedarf genutzt werden, um einen pT1-Verlauf der Sprungantwort zu erhalten (Abb. 12). Bei der Standardeinstellung von 50 1/s wird die Regeldynamik hiervon nicht wesentlich beeinflusst.

If a new external setpoint is given, the internal setpoint is ramped up to the new setpoint with a adjustable gradient which can be given in the Init-File as time between 0 and maximum reactive power.

If a wind farm controller is used, this value has to be set to a short time, so that there is no significant dead time in the control loop.

In the wind farm controller, the Q-control has to be an I-Controller; this leads to a pT1-Response to changing setpoints.

Unlaying (after the ramp function), there is a I-controller for the reactive power in the converter control. This can be used to produce a pT1-Behavior to a step response.

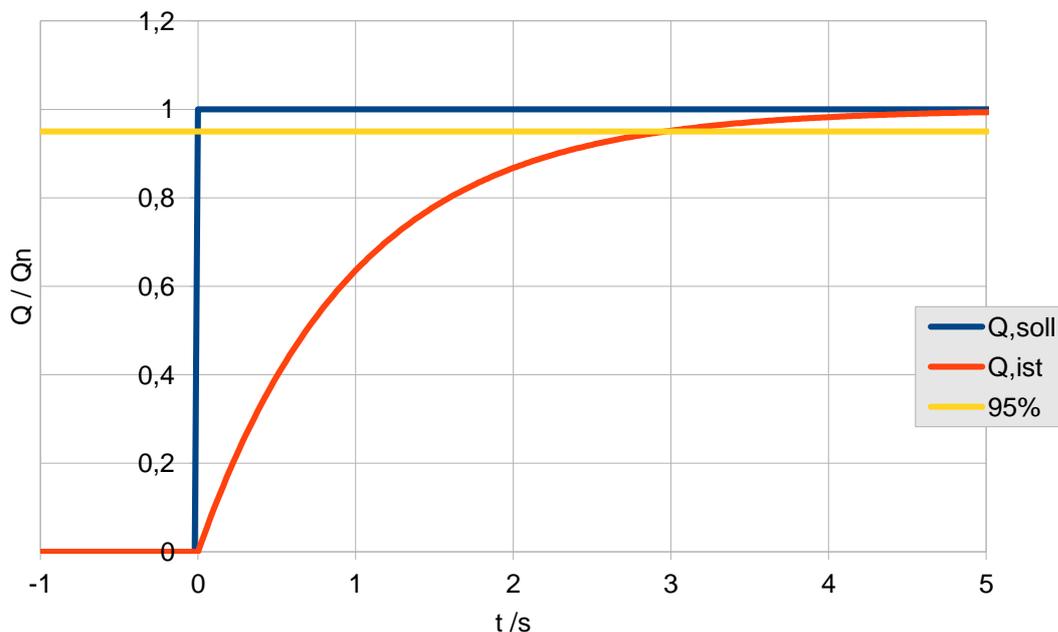


Abbildung 12: Sprungantwort bei einer Regelverstärkung $kl=1/s$; es ergibt sich ein τ von 1s / Step response with an integral amplification of $kl=1/s$; this results in a τ of 1s

4.4 INIT-Datei Blindleistung / INIT-file reactive power

Parameter	Bereich / Range	Standard / Default	Einheit / Unit
reactive_power_mode	0: deaktiviert / deactivated (=0kvar) 1: feste Blindleistung / fixed reactive power 2: fester cos phi / fixed cos phi 3: Analogeingang / analog Input (kvar) 4: über Netzwerk / over Ethernet 5: Netzspannungsabhängig / Grid Voltage Dependent 6: Analogeingang / analog Input (cos phi)	4	-
Init_RemoteInterface_Type	Gilt nur für Netzwerk: 1: IEC 60870-5-104 4: Modbus TCP	1	-
reactive_power_ramp2	0,06..600; Schrittweite / step width: 0,02	0,12	s
reactive_power_kl	0,001..100; Schrittweite / step width: 0,001	50	1/s
<i>Nur für Modus 1 und 2 / Only for mode 1 and 2</i>			
reactive_power_setpoint	Mode 1: -0,484..0,484 Q/Pn Schrittweite / step width: 0,001 Mode 2: -1..-0,9 & 0,9..1 Schrittweite / step width: 0,0001	0	kvar/kW -
<i>Nur für Modus 5 / Only for mode 5</i>			
reactive_power_undervoltage	-0,484..0,484 Q/Pn Schrittweite / step width: 0,001	0,484	kvar/kW
reactive_power_overnvoltage	-0,484..0,484 Q/Pn Schrittweite / step width: 0,001	-0,484	kvar/kW

4.5 Fern/Ort-Umschaltung / Remote/Local limitation control

Im Servicemodus kann die Blindleistung frei eingestellt werden (vgl. Kapitel 3.5)

At service mode, the reactive power setpoint can be adjusted by the PLC interface (compare with chapter 3.5).

5 Betriebsbereich der Einheit / Possible operation range

Der hier angegebene Betriebsbereich der Anlage stellt den technisch möglichen Bereich auf der Niederspannungsseite der Einheit dar.

Der tatsächliche Betrieb der Anlage wird u.a. durch die Schutzeinstellungen begrenzt. Bei der dynamischen Netzstützung kommt es weiterhin zu einer Begrenzung der Wirkleistung und Einspeisung von Blindleistung.

The possible operation range of turbine, shown here, is the technical possible range on the low voltage side of the turbine.

The real operation range of the turbine is limited by the grid protection. In case of dynamic grid support (LVRT/HVRT), the active power output is limited, and reactive current is fed in.

5.1 Umgebungsbedingungen / Ambient conditions

Alle in diesem Dokument angegebenen Spannungsbereiche sowie Blind- und Wirkleistungsbereiche gelten über den gesamten Umgebungstemperaturbereich ohne Einschränkungen im Dauerbetrieb

All voltage ranges and active and reactive power ranges are valid over the entire temperature range without derating, in continuous operation.

Eigenschaft / Property	Wert / Value	Einheit / Unit
Minimale Umgebungstemperatur / minimum ambient temperature	- 20	°C
Maximale Umgebungstemperatur / maximum ambient temperature	40	°C
Maximale Aufstellhöhe / maximum height above sea level	1000	m

5.2 Spannung / Voltage

Maximale Netzspannung im Dauerbetrieb	Maximum Grid Voltage	1,15	Un
Max Netzspannung für (60s)	Maximum Grid Voltage (for 60s)	1,25	Un
Max Netzspannung für (2s)	Maximum Grid Voltage (for 2s)	1,3	Un
Minimale Spannung im Dauerbetrieb	Minimum Continuous Voltage	0,85	Un

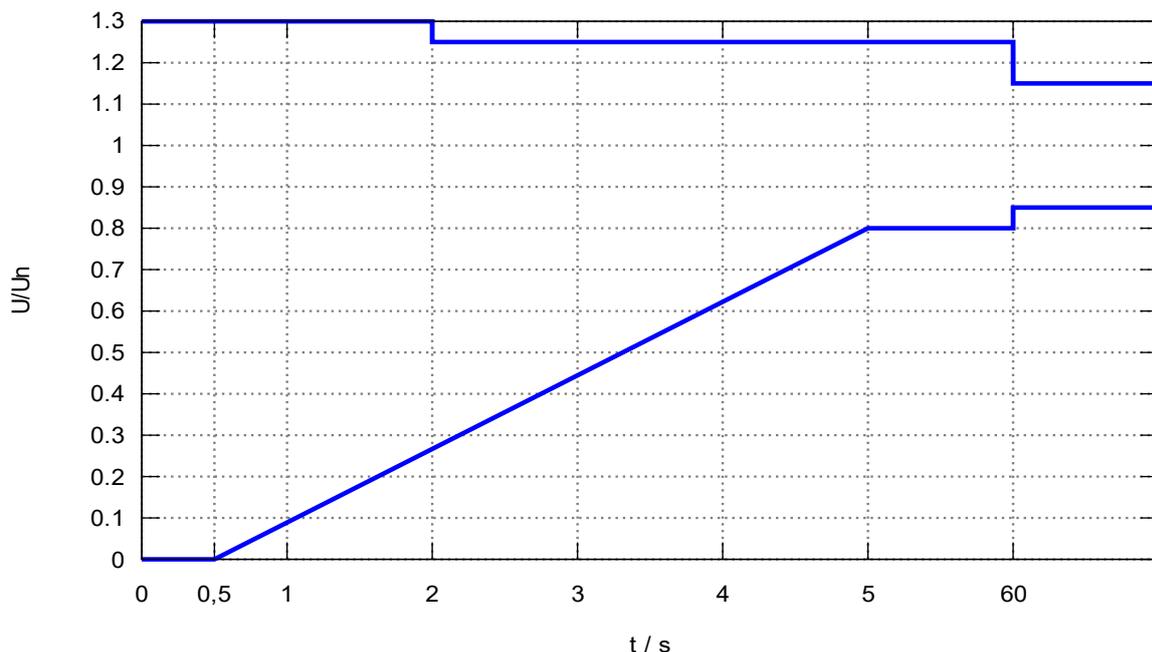


Abbildung 13: Spannungs-Zeitbereich / Voltage-Time range

Zusätzlich gelten zum oben angegebenen Diagramm folgende Anmerkungen:

- Im FRT-Betrieb der Einheit kommt es zu einer Blindstromeinspeisung von maximal Nennstrom. Hierzu wird der Wirkstrom reduziert. Die überschüssige Wirkleistung wird hierbei in einen Bremswiderstand gespeist. Dieser ist so ausgelegt, dass in einem Zeitraum von 30 Minuten kumuliert für 3 s Nennleistung aufgenommen werden kann.
- Bei Überspannungen größer als 1,15-facher Nennspannung kann es zu einer Verschlechterung der Stromform kommen, da die Modulationsgrenze des Umrichters erreicht wird. Dies gilt insbesondere bei gleichzeitig kapazitivem Betrieb (übererregt).

Additional to the above shown diagram, there are some remarks:

- During FRT operation, reactive power is fed in in the amount of nominal current. Therefore, the active power is reduced. The surplus active power is fed to a chopper resistor, which can handle a energy equivalent to 3s of rated power in a period of 30 minutes.
- At overvoltages above 1.15 rated voltage, the current waveform can degrade, because the converter reaches the modulation limit. This happens especially at capacitive operation of the converter.

5.3 Frequenz / Frequency

Der Vollumrichter der VENSYS-Einheiten kann prinzipiell bei beliebigen Frequenzen dauerhaft arbeiten.

By principle, the full size converter of the VENSYS turbines can operate continuous at any frequency.

Nennfrequenz	Nominal Frequency	50 / 60	Hz
Minimale Frequenz	Minimum frequency	45 / 55	Hz
Maximale Frequenz	Maximum frequency	55 / 65	Hz

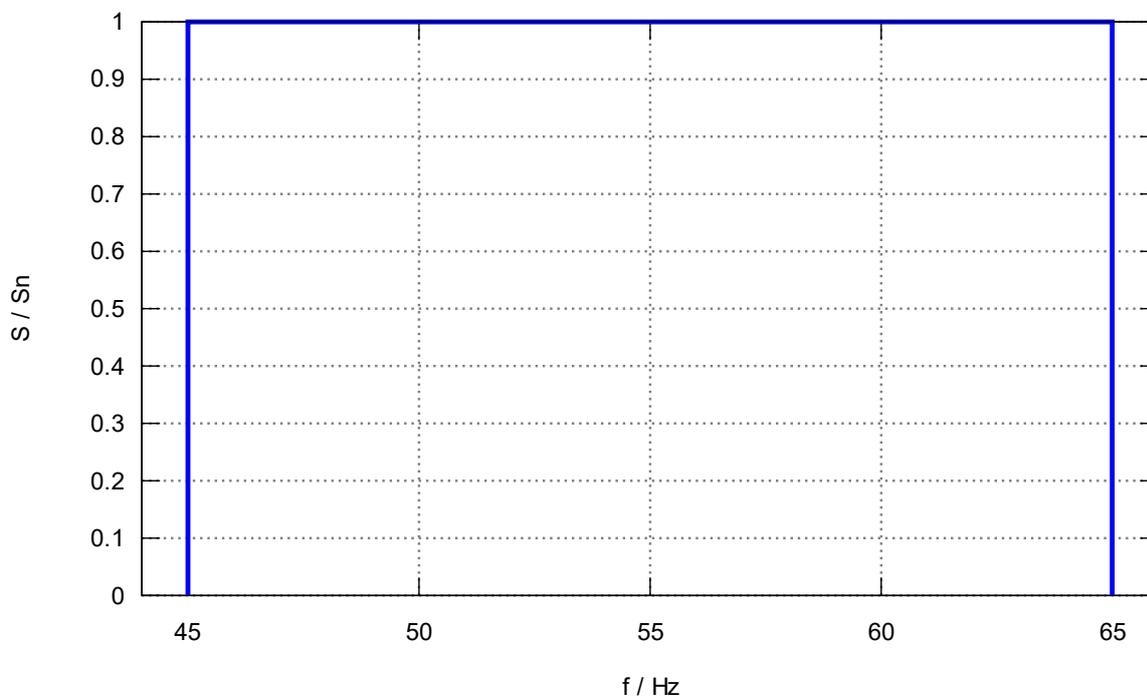


Abbildung 14: Scheinleistung über Frequenz / Apparent power over frequency

5.4 Frequenzänderungsgeschwindigkeit / RoCoF

Bei schnellen Frequenzänderungen im Netz kommt es zu einem Nachregeln der PLL des Umrichters. Dies verursacht einen Winkelfehler, der zu einem kleinen Fehler bei der Blindleistungseinspeisung führt.

Bei einer Frequenzänderungsgeschwindigkeit von 2 Hz/s ergibt sich hier ein Winkelfehler von 0,075 °, was einer Abweichung der Blindleistung in Höhe von 0,13 % der momentanen Wirkleistung entspricht.

Die Wirkleistungseinspeisung ist hiervon nicht betroffen, da sie über einen P-Regler aus der Höhe der Zwischenkreisspannung abgeleitet wird und sehr schnell nachregelt.

At high rates of frequency change (RoCoF), the PLL of the converter has a phase error. This leads to an error in reactive power fed in.

If the RoCoF is 2 Hz/s, there will be an error in the angle of 0.075 °, which leads to an error in reactive power of 0.13 % of the momentary active power.

The active power is not affected, because it is controlled by a P-controller dependent on the DC link voltage, which acts very fast.

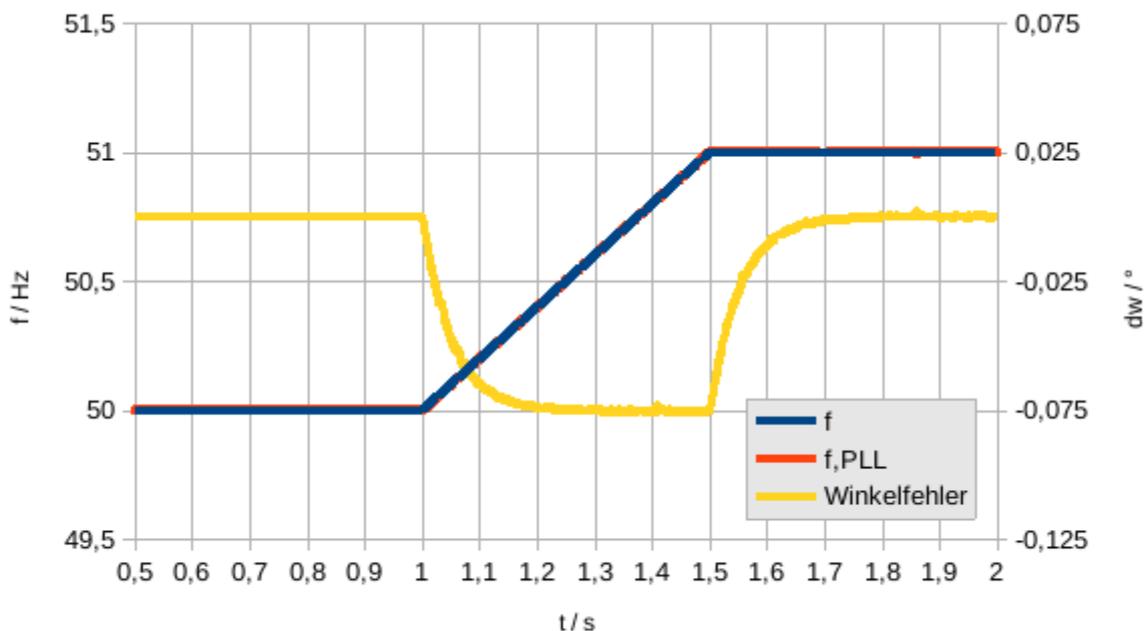


Abbildung 15: Frequenzänderung mit 2 Hz/s / RoCoF 2 Hz/s

6 Netzschutz / Grid protection

Die Schutzfunktionen für Über- und Unterspannung sowie Über- und Unterfrequenz sind redundant in der Anlagensteuerung (SPS) und in der Umrichtersteuerung ausgeführt. Es werden jeweils abgeschlossene und von der übrigen Steuerung unabhängige Programmteile verwendet.

Hierbei wird sowohl die Umrichtersteuerung als auch die Anlagensteuerung über eine 24V-USV versorgt, deren Stützzeit typischerweise bei 60s liegt. Ein Ausfall der 24V-Versorgung führt zum Öffnen des Hauptschalters durch eine Unterspannungsspule.

Alle eingestellten Schutzparameter können über das Bedienteil im Turmfuss abgelesen werden; eine Veränderung der Schutzeinstellungen ist nur über die Init-Datei möglich (passwortgeschützt über FTP). Die in der Init-Datei eingestellten Parameter gelten für die Anlagensteuerung und die Umrichtersteuerung, auf die sie von der Anlagensteuerung übertragen werden.

Die Anlage ist mit einer Prüfklemmleiste zur Überprüfung der Schutzfunktionen ausgestattet.

The protection functions for Over-/Underfrequency and Under-/Overvoltage are redundant in the turbine control (PLC) and in the converter control. In each control, seperated software block are implemented, independent from other control software parts.

The converter control and the turbine control are buffered by a 24V-UPS with a typical supply time of 60s. Dropouts of this voltage will open the main contactor by the undervoltage coil.

All protection parameter can be read and checked on the control panel in the tower base. Changes of the protection settings are only possible by changing the Init-File (by FTP-Transfer, protected by password).

The turbine is equipped with a connector block to feed in test signals and test the reactions of the grid protection.

6.1 Netzspannung / Grid voltage

Der Über-/Unterspannungsschutz ist für jede Phase einzeln ausgeführt und wertet den Halbschwingungseffektivwert der Netzspannung aus. Es gibt je 2 Über-/Unterspannungsstufen, die unabhängig voneinander arbeiten und den gleichen Einstellbereich haben. Hierbei ist es unbedeutend, welche Schwelle höher/tiefer oder schneller/langsamer ist. Beide Stufen können auch gleich sein.

The Over-/Undervoltage protection is realized for each phase and is based on the half-sine-RMS-value. There are for each protection 2 levels implemented, which are independent form each other and which have the same range. It is not important which of the two settings implements the higher/lower or faster/slower protection. Also, both settings can be the same to implement just one level.

Einstellbereich U> / U>>	Range of setting U> / U>>	1,00..1,35	Un
Einstellbereich U< / U<<	Range of setting U< / U<<	0..1,00	Un
Schrittweite	Step width	0,01	Un
Minimale Verzögerungszeit	Minimum delay time	20	ms
Maximale Verzögerungszeit	Maximum delay time	120 (U<<; U<) / 600 (U>, U>>)	s
Schrittweite	Step width	10	ms
Rückfallverhältnis	Disengaging ratio	0,99	-

6.2 Netzfrequenz / Grid frequency

Die Frequenzmessung basiert auf der Frequenz der PLL der Umrichtersteuerung. Es gibt 2 Stufen für Überfrequenz, und 1 Stufe für Unterfrequenz.

The frequency measurement is based on the internal PLL of the converter control unit. There are 2 protection levels for overfrequency and 1 level for underfrequency.

Einstellbereich $f > / f >>$	Range of setting $f > / f >>$	50..55 / 60..65	Hz
Einstellbereich $f <$	Range of setting $f <$	45..50 / 55..60	Hz
Schrittweite	Step width	0,001	Hz
Minimale Verzögerungszeit	Minimum delay time	20	ms
Maximale Verzögerungszeit	Maximum delay time	600	s
Schrittweite	Step width	10	ms
Rückfallverhältnis	Disengaging ratio	0,99	-

6.3 Meßgenauigkeit / Measurement accuracy

Die Spannungsmessung erfolgt mit einer Abtastrate von 10 kHz. Aus diesen Momentanwerten werden Halbschwingungseffektivwerte gebildet, die für den Netzschutz verwendet werden. Außerdem wird damit die PLL berechnet, die neben den Mit- und Gegensystemgrößen auch die Frequenz ausgibt.

Die insgesamt erzielte Genauigkeit bei der Spannungsmessung ist besser als 0,5%, bezogen auf Nennspannung, bzw. besser 2 mHz.

The grid voltage is sampled with a rate of 10 kHz. Based on these raw values, half-sine-RMS-values are calculated, which are relevant for the grid protection. Furthermore, the raw values are fed to the PLL, which calculates the positive and negative sequence voltages, and the frequency.

The overall accuracy of the voltage measurement is better than 0,5% related to nominal voltage, and better than 2 mHz.

6.4 Wirkungskette bei Grenzüberschreitungen / Reactions on limit exceedance

Im Falle einer Überschreitung eines der oben genannten Grenzwerte schaltet die Anlagensteuerung den Umrichter ab. Dies führt dazu, dass der Umrichter unmittelbar aufhört, die IGBTs anzusteuern. Außerdem öffnet er (dann stromlos) den netzseitigen Hauptschalter und schaltet die Filterkondensatoren ab.

In case of an exceedance of at least one of the above mentioned limits, the turbine control stops the converter system. This leads to an immediate stop of pulsing the IGBTs. Furthermore, the grid side main contactor is opened (without current, because the IGBTs are switched off), and the filter capacitors are disconnected.

6.5 Prüfmöglichkeit der Schutzeinrichtung / Testing of the protection

Im Steuerschrank der Anlage sind 6 Prüfklemmen verbaut, an die ein externes Schutzprüfgerät angeschlossen werden kann. An dieser Klemmleiste steht das Ansteuersignal für den Hauptschalter zur Verfügung.

For testing purposes with a protection testing device, there are 6 connectors available the control cabinet. The connectors provide also the control signal for the main contactor.

Name	Zweck / Purpose	Singalpegel / Signal Level
L1	Leiter-Erde-Spannung L1 / Phase to ground voltage L1	0..500V
L2	Leiter-Erde-Spannung L2 / Phase to ground voltage L2	0..500V
L3	Leiter-Erde-Spannung L3 / Phase to ground voltage L3	0..500V
N	Null für L1-3, entspricht PE / Neutral for L1-L3, equals to PE	
MC	Ansteuersignal Hauptschalter / Control signal main contactor	0V / +24V 24V: An / On
GND	Referenzmasse für MC / Reference GND for MC	

6.6 INIT-Datei Netzschutz / INIT-file grid protection

Parameter	Bereich / Range	Standard / Default	Einheit / Unit
grid_voltage_max (U>)	1,00..1,35; Schrittweite / step width: 0.01	1,10	-
grid_voltage_max_delay	20..600000; Schrittweite / step width: 10	180000	ms
grid_voltage_max2 (U>>)	1,00..1,35; Schrittweite / step width: 1	1,20	-
grid_voltage_max2_delay	20..600000; Schrittweite / step width: 10	300	ms
grid_voltage_min (U<)	0..1,00; Schrittweite / step width: 0.01	0,85	-
grid_voltage_min_delay	20..120000; Schrittweite / step width: 20	60000	ms
grid_voltage_min2 (U<<)	0..1,00; Schrittweite / step width: 0.01	0,8	-
grid_voltage_min2_delay	20..120000; Schrittweite / step width: 20	2700	ms
grid_frequency_min_f	45..50 / 55..60; Schrittweite / step width: 0,001	47,5	Hz
grid_frequency_max_f	50..55 / 60..65; Schrittweite / step width: 0,001	51,5	Hz
grid_frequency_max2_f	50..55 / 60..65; Schrittweite / step width: 0,001	52,5	Hz
grid_frequency_min_delay	20..600000; Schrittweite / step width: 10	100	ms
grid_frequency_max_delay	20..600000; Schrittweite / step width: 10	5000	ms
grid_frequency_max2_delay	20..600000; Schrittweite / step width: 10	100	ms

7 FRT-Verhalten / FRT behavior

7.1 Fehlererkennung / Error detection

Die EZE wechselt in den FRT-Modus, wenn:

- die auf Nennspannung bezogene kleinste Leiter-Erde-Spannung auf NS-Seite unterhalb der einstellbaren Schwelle frt_umin liegt, welche typischerweise 0,9 ist
- die auf Nennspannung bezogene größte Leiter-Erde-Spannung auf NS-Seite oberhalb der einstellbaren Schwelle frt_umax liegt, welche typischerweise 1,1 ist
- eine sprunghafte Änderung einer Leiter-Erde-Spannung auftritt, wobei hier der Momentanwert der gemessenen Spannung um mehr als frt_deltaU , bezogen auf den Scheitelwert der Nennspannung, von der Vorfehlerspannung abweicht

Nach dem Wiedereintritt aller Spannungen in das durch die Parameter frt_umin und frt_umax definierten Bandes, oder nach 5s, ist der Netzfehler beendet.

Insel- und Teilnetzbetriebsfähigkeit sind in dem Betriebskonzept der Einheit nicht vorgesehen.

The turbines goes to the FRT mode if:

- *the smallest phase to ground voltage is lower than the voltage defines by frt_umin , related to nominal voltage*
- *the biggest phase to ground voltage is higher than the voltage defines by frt_umax , related to nominal voltage*
- *a step occurs in the momentary value of the phase voltage that is bigger than the voltage defined by frt_deltaU , related to the peak value of the nominal voltage*

After all voltages are back in the band defined by the parameters frt_umin and frt_umax , or after 5 s, the turbines goes back to normal operation.

Stand alone operation and subnet operation capability are not intended in the concept of operation.

7.2 Stromeinspeisung / Current injection

Im FRT-Modus kann durch die Umrichtersteuerung zusätzlichen Blindstrom im Mit- und im Gegensystem eingespeisen. Dieser ist über den einstellbaren k-Faktor (frt_k_factor) proportional der Spannungsabweichung ($\Delta i_{B1,2} = k \cdot \Delta u_{1,2}$) und beträgt maximal Nennstrom. Die Spannungsabweichung berechnet sich dabei aus der Differenz der aktuellen Mit-/Gegensystemspannung und des 1-Minuten-Mittelwert der Mit-/Gegensystemspannung vor dem Netzfehler, bezogen auf die Nennspannung. Der vom k-Faktor abhängige Blindstrom wird zusätzlich zum Vorfehlerblindstrom eingespeist.

In the FRT mode, the turbine can injection additional reactive current at the positive and at the negative sequence. The current is with the adjustable k-factor proportional to the voltage deviation ($\Delta i_{B1,2} = k \cdot \Delta u_{1,2}$) and is at maximum rated current. The voltage deviation is calculated as the difference of the actual positive/negative sequence voltage and the 1-minute average value of the positive/negative sequence voltage before the fault, related to nominal voltage. The k-factor dependent reactive current is fed in additional to the reactive current before the fault.

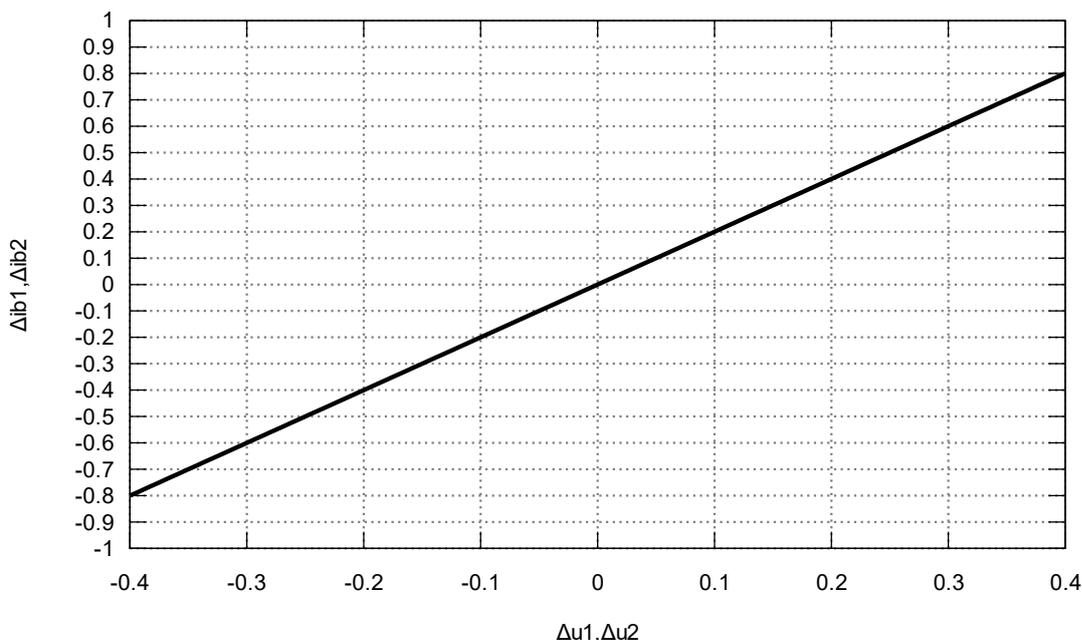


Abbildung 16: k-Faktor = 2 / k-factor = 2

Optional kann eine eingeschränkte dynamische Netzstützung eingestellt werden. In diesem Modus beträgt der eingespeiste Strom nach 60 ms nicht mehr als 20% des Bemessungsstrom und nach 100 ms nicht mehr als 10% des Bemessungsstroms, nach Unterschreitung von $0,7 U_n$. Liegt die Spannung oberhalb von $0,7 U_n$ wird Blindstrom eingespeist. Die hierbei ausgewertete Spannung ist die kleinste Leiterspannung auf Niederspannungsseite, entsprechend der kleinsten verketteten Spannung auf MS-Seite.

Optionally, a limited dynamic grid support can be set. In this mode, the current fed after 60s is not more than 20% of the rated current and after 100ms not more than 10% of the rated current, after falling below $0.7 U_n$. If the voltage is above $0.7 U_n$, the behavior is unchanged. For this behavior, the lowest phase voltage on LV side is considered, which is equivalent to the lowest line-to-line voltage on HV side.

7.3 FRT-Grenzkurve / FRT limit curve

Zusätzlich zu den Schutzfunktionen $U<$ und $U<<$ kann ein Abschalten der Einheit im FRT-Fall mittels einer FRT-Grenzkurve erzwungen werden. Diese Kurve ist im standardmäßig identisch mit dem Vermögen der Einheit; vgl. 5.2.

Eine beispielhafte Grenzkurve für den FRT-Betrieb wird nachfolgend dargestellt. Liegt die kleinste Leiter-Erde-Spannung unter der LVRT-Grenzkurve bzw. die größte Leiter-Erde-Spannung über der HVRT-Grenzkurve, so schaltet die Anlage ab. Innerhalb dieser Grenzkurven bleibt die Anlage für eine bestimmte Zeit am Netz und kann zusätzlichen Blindstrom einspeisen.

Die Grenzkurven können mit maximal 5 Stützstellen parametrisiert werden. Es müssen mindestens die Parameter $U1$, $U2$ und $t2$ parametrisiert werden. Wenn keine weiteren Stützstellen benötigt werden, müssen diese auch nicht in der Init-Datei angegeben werden. Alternativ hierzu können sie auf die gleichen Werte wie die letzte benutzte Stützstelle gesetzt werden.

Sofern der Parameter $U0$ nicht in der Init-Datei angegeben ist wird hierfür der Wert "frt_Umin" verwendet.

Wenn die Spannung der letzten Stützstelle ungleich $U0$ ist, wird die Grenzkurve von der Anlagensteuerung um einen vertikalen Ast zu $U0$ hin ergänzt (Im Beispiel: $U5 < U0$)

Außerdem ist die Anlage in der Lage eine beliebige Folge von Netzfehlern zu durchfahren, solange die gesamte kumulierte Energie, die vorangegangenen 30min aufgrund von Netzfehlern nicht in das Netz eingespeist werden konnte, kleiner als das Äquivalent einer elektrischen Energie von $P_{Emax} \cdot 3s$ ist.

Additional to the protection functions $U<$ and $U<<$, a stop of the turbine can be initiated by the LVRT curve. By default, this curve is identical to the capability of the turbine; see also 5.2.

An example curve is shown below. If the lowest phase to ground voltage is below the limit curve, or the highest phase to ground voltage above the curve, the turbine is stopped. Between the limits, the turbine stays connected to the grid, and will feed in additional reactive current for a certain amount of time.

The limit curves can be parametrized by 5 points. The minimal parametrization consists of the values $U1$, $U2$ and $t2$. If no more points are necessary, the parameters can be left out, or stay the same as the values before.

If the parameter $U0$ is not given, the parameter „frt_Umin“ will be used.

If the voltage of the last node is not equal to $U0$, the limit curve will be vertically enhanced to $U0$.

In addition, the turbine is able to pass through any sequence of network faults as long as the total cumulative energy that could not be fed into the grid for the previous 30 minutes due to grid faults is less than the equivalent of $P_{Emax} \cdot 3s$ electrical energy.

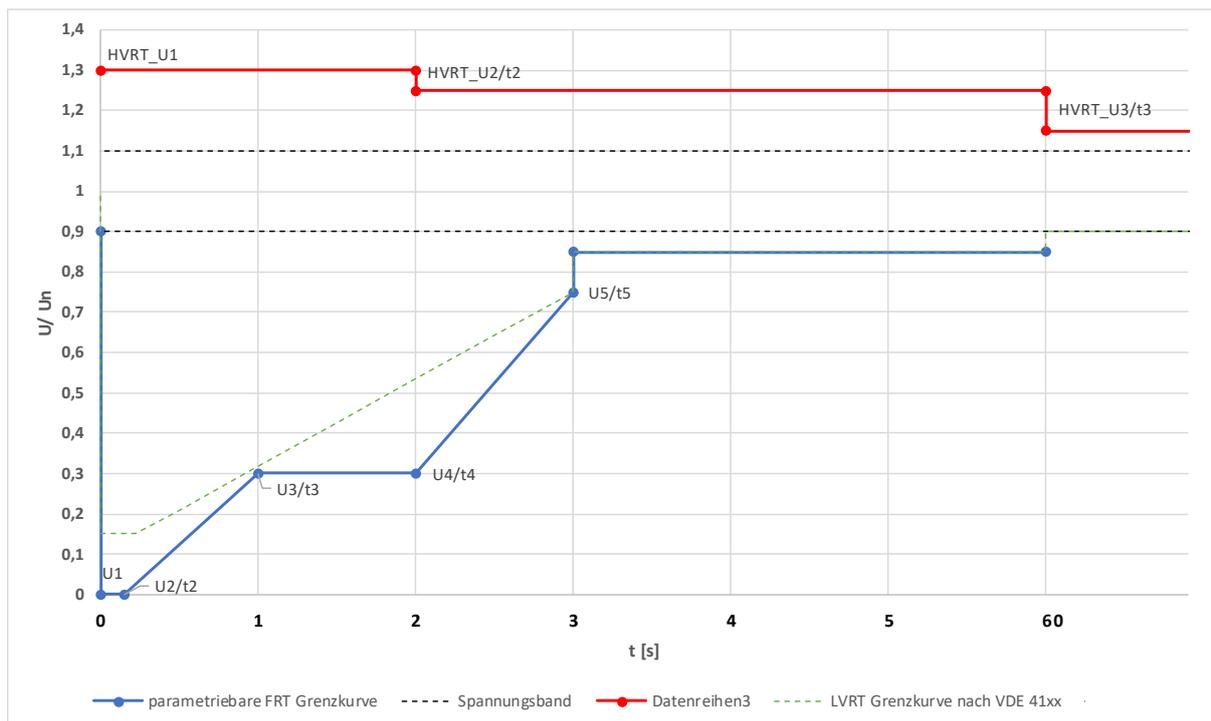


Abbildung 17: FRT-Grenzkurve/FRT curve

7.4 Eigenschutz der Einheit / Self-protection of the turbine

Während eines FRT wird die ins Netz eingespeiste Leistung reduziert, während die Generatorleistung konstant bleibt. Die Differenz dieser beiden Leistungen wird im Chopperwiderstand in Wärme umgesetzt. Um eine Überlastung des Chopperwiderstandes zu vermeiden erfolgt eine Chopperstrommessung, die in Verbindung mit der Zwischenkreisspannung die umgesetzte Leistung ergibt. In der Anlagensteuerung ist ein thermisches Modell des Widerstandes hinterlegt. Wenn es zu einer Überschreitung der aufgenommenen Energie kommt, schaltet die Einheit ab.

During a FRT, the power fed in to the grid is reduced, but the generated power keeps konstant. The difference of these powers is wasted in the Chopper resistor. To avoid an overload of the resistor, the chopper current is measured, and gives, multiplied by the DC-link voltage, the wasted power. The turbine control calculates with the measured values and a model the wasted energy. In case of overload, the turbine is switched off.

7.5 INIT-Datei FRT / INIT-file FRT

Parameter	Bereich / Range	Standard / Default	Einheit / Unit
frt_k_factor	0..10; Schrittweite / step width: 0,01	2	-
frt_edns	0: normale dynamische Netzstützung 1: eingeschränkte dynamische Netzstützung	0	-
frt_gridcode	1: VDE AR-N41x0	1	-
frt_umin	0..1; Schrittweite / step width: 0,01	0,9	-
frt_umax	1..1,35; Schrittweite / step width: 0,01	1,1	-
frt_deltaU	0,01..0,5; Schrittweite / step width: 0,01	0,05	-
lvrt_u0	0,00..1,00; Schrittweite / step width: 0,01	0,85	-
lvrt_u1	0,00..1,00; Schrittweite / step width: 0,01	0,00	-
lvrt_u2	0,00..1,00; Schrittweite / step width: 0,01	0,00	-
lvrt_u3	0,00..1,00; Schrittweite / step width: 0,01	0,80	-
lvrt_u4	0,00..1,00; Schrittweite / step width: 0,01	0,80	-
lvrt_u5	0,00..1,00; Schrittweite / step width: 0,01	0,85	-
lvrt_t2	0..120000; Schrittweite / step width: 20	500	ms
lvrt_t3	0..120000; Schrittweite / step width: 20	5000	ms
lvrt_t4	0..120000; Schrittweite / step width: 20	60000	ms
lvrt_t5	0..120000; Schrittweite / step width: 20	60000	ms
hvr_t_u0	1,00..1,35; Schrittweite / step width: 0,01	1,15	-
hvr_t_u1	1,00..1,35; Schrittweite / step width: 0,01	1,3	-
hvr_t_u2	1,00..1,35; Schrittweite / step width: 0,01	1,3	-
hvr_t_u3	1,00..1,35; Schrittweite / step width: 0,01	1,25	-
hvr_t_t2	0..120000; Schrittweite / step width: 20	2000	ms
hvr_t_t3	0..120000; Schrittweite / step width: 20	60000	ms

8 Start- und Stoppvorgang / Machine start/stop

8.1 Startvorgang / Starting

Bei einem Start nach Netzwiederkehr gibt die Anlagensteuerung zuerst das Signal "Umrichter ein" an die Umrichtersteuerung. Diese schaltet über die High-Voltage-IO den Vorladeschutz zu, der über Kondensatoren den Zwischenkreis bis auf etwa 85% des Scheitelwertes der Netzspannung auflädt. Dann schaltet die Umrichtersteuerung den Hauptschalter zu. Die Zwischenkreisspannung ist jetzt auf Höhe des Scheitelwertes der Netzspannung.

Diese Schritte entfallen bei einem Start aus anderen Gründen, wie z.B. einer windschwachen Phase.

Anschließend werden die Blätter auf 55° vorgefahren (Zustand "Starting"). Die Anlagensteuerung nutzt jetzt den Rotor als großes Anemometer. Wenn die Rotordrehzahl einen Wert von 1U/min für mindestens 60s überschreitet wechselt die Anlagensteuerung in den Zustand "Run Up".

Hier werden die Blätter, abhängig von der Rotordrehzahl, bis auf 12° vorgefahren.

Wenn die Rotordrehzahl die Einschaltdrehzahl überschreitet, wechselt die Maschine in den Zustand "Power Production". Hier werden die Netzseitigen IGBTs freigegeben und die Zwischenkreisspannung steigt auf +/-570V. Mit einer Verzögerung von 4s werden die Generatorseitigen IGBTs freigegeben. Anschließend steigert die Anlagensteuerung über eine Rampe die Leistung.

The starting after grid recovery is initialized by the PLC, giving the converter controller the signal „Converter on“. The converter controller closes through the High-Voltage-IO-Board the precharge contactor, and the DC link is charged up to 85% of the peak value of the grid voltage. Then, the converter controller closes the main contactor. Now, the DC link is at the peak value of the grid voltage.

These steps are not necessary if the DC link is already charged, e.g. at starting from a low wind situation.

Now, the PLC changes its state to „Starting“, and the blades are moved to a 55° position. The rotor is used as a big anemometer. When the rotor speed is above 1rpm for at least 1 minute, the PLC changes the state to „Run Up“.

In this state, the blades are , dependent on the rotor speed, driven forward down to 12°.

When the rotor speed exceeds the minimum speed (6.5 rpm), the PLC goes to the state „Power Production“. At first, the grid side IGBTs start pulsing, and increase the DC link voltage to +/-570V. With a delay of 4s, also the generator side IGBTs start pulsing. The machine is then increasing the power by a ramp.

8.2 Stoppvorgang / Stopping

Hier ist zu unterscheiden zwischen Netz-/Umrichterfehler und anderen Fehlern, oder wenig Wind.

Im Falle von Netzfehlern (Netzschutz, Umrichterfehlern) schaltet die Umrichtersteuerung selbständig die Pulsfreigabe der IGBT ab und öffnet den Hauptschalter. Das Generatormoment sinkt somit schlagartig auf 0, und die Anlage bremsst durch Blattwinkelverstellung.

Bei anderen internen Fehlern, oder einer planmäßigen Abschaltung, fährt die Anlagensteuerung den Mindestblattwinkel nach hinten. Dadurch sinkt die Leistungsaufnahme des Rotors, die Drehzahl sinkt bis zur Einschaltdrehzahl. Dann wird die Pulsfreigabe des Umrichters abgeschaltet, der Hauptschalter bleibt aber an.

Bei einer Abschaltung, die durch eine Sollwertvorgabe des Parkreglers (von beispielsweise 0%) verursacht wird, reduziert die EZE über die in Kapitel 3.1 genannten Rampen die Leistung, um schließlich bei der technischen Mindestleistung den Umrichter abzuschalten.

The stopping procedure is different on converter or grid errors, and on other errors, or low wind situations.

In the case of grid errors (grid protection, converter errors), the converter controller switches off the IGBT pulsing and opens the main contactor. By this, the generator torque falls immediately to 0, and the machine stops by the pitch system.

At other errors, or a planned stop of the turbine, the PLC increases the minimum blade angle. By this, the power taken from the wind decreases, and the rotor speed goes down to the minimum speed. Then, the pulsing is stopped. The main contactor stays in closed position.

At a stop, caused by a very low setpoint from the wind farm controller, the turbines reduced its power by the ramps defined in Chapter 3.1. It will switch off the converter when the minimum power is reached.

9 Wiederschaltung / Reconnection

Bei der Wiederschaltung der Einheit wird unterschieden zwischen einer normalen Wiederschaltung, wie sie nach Windstille oder Servicearbeiten an der Einheit auftritt, und einer automatischen Wiederschaltung nach einer Schutzauslösung.

Die Anlage ist in der Lage bei einer Frequenz zwischen 45 Hz und 65 Hz, sowie zwischen 85% U_n und 115% U_n zuzuschalten. Dabei bezieht sich der Spannungswert auf den kleinsten Wert der drei verketteten Netzspannungen, was der Phasenspannung auf der Niederspannungsseite entspricht.

Nach einem Netzfehler wird der Zustand des Netzes für eine einstellbare Zeit überwacht, während derer die Netzspannung und -frequenz in einem einstellbaren Bereich liegen müssen. Erst nach Ablauf dieser Zeit erfolgt eine Zuschaltung mit einer einstellbaren Wirkleistungsrampe.

Die Schwarzstartfähigkeit ist in dem Betriebskonzept der Einheit nicht vorgesehen.

For reconnection of the turbine, there is a different behavior between a normal reconnection, e.g. after a low wind period or a service, and a reconnection after a protection trip.

The turbine is able to switch on at a frequency between 45 Hz and 65 Hz, as well as between 85% U_n and 115% U_n . The voltage value refers to the smallest value of the three phases voltages.

After a protection trip, the turbine monitors the grid for an adjustable time, where the grid parameters must stay in certain range. Only after this period, the turbine starts with an adjustable ramp.

Black start capability is not intended in the concept of operation.

9.1 INIT-Datei Wiederschaltung / INIT-file Reconnection

Parameter	Bereich / Range	Standard / Default	Einheit / Unit
restart_voltage_min	0,85..1; Schrittweite / step width: 0,01	0,9	-
restart_voltage_max	1..1,15; Schrittweite / step width: 0,01	1,1	-
restart_frequency_min	45 .. 55; Schrittweite / step width: 0,001	47,5	Hz
restart_frequency_max	55 .. 65; Schrittweite / step width: 0,001	50,2	Hz
start_power_gradient	0,05 .. 10; Schrittweite / step width: 0,01	0,5	%/s
grid_loss_voltage_min	0..1; Schrittweite / step width: 0,01	0,95	-
grid_loss_voltage_max	1..1,3; Schrittweite / step width: 0,01	1,1	-
grid_loss_frequency_min	45 .. 55; Schrittweite / step width: 0,001	49,9	Hz
grid_loss_frequency_max	55 .. 65; Schrittweite / step width: 0,001	50,1	Hz
grid_loss_autostart_delay	0 - 1200; Schrittweite / Step width: 1	300	s
grid_loss_power_gradient	0,05 .. 10; Schrittweite / step width: 0,01	0,16	%/s

10 Parkreglerkommunikation / Wind farm controller

Nach Ausfall der Verbindung zwischen EZE und EZA-Regler kann die EZE, nach Ablauf einer einstellbaren Verzögerungszeit, in verschiedenen Modi weiterbetrieben werden:

- Weiterbetrieb mit dem zuletzt empfangenen Wert
- Begrenzung auf konstante Wirkleistung, relativ zur Nennleistung
- Weiterbetrieb mit einer festen, einstellbaren Blindleistung, relativ zur maximalen Blindleistung
- Weiterbetrieb mit einem festen cos phi

In case of a disturbed communication between the wind farm controller and the turbine, after a defined time, the turbine will operate in one of the following modes:

- *Using the last received setpoints*
- *Operation with a predefined maximum power, p.u. of rated power*
- *Operation with a fixed reactive power setpoint, p.u. of maximum reactive power*
- *Operation with a fixed cos phi*

10.1 Init-Datei Parkregler / Init file farm controller

Parameter	Bereich / Range	Standard / Default	Einheit / Unit
init_grid_commerror_mode	000: letzter Wert / last setpoint 001: Pmax begrenzt / Active power limit 010: festes Q / fixed Q 100: fester cos phi / fixed cos phi 011: Pmax und / and fixed Q 101: Pmax und / and fixed cos phi	000	-
init_grid_commerror_Pmax	0..1,0; Schrittweite / step width: 0,01	1	-
init_grid_commerror_Q	-1..1; Schrittweite / step width: 0,001	0	-
init_grid_commerror_cosphi	-0,95..-1 & 1..0,95; Schrittweite / step width: 0,001	0,95	-
init_grid_commerror_down_time	10 .. 6000; Schrittweite / step width: 1	600	s

11 Eigenbedarf / Stand-by consumption

Wirkleistung, 10min- Maximalwert	Active power, 10min-Maximum value	60	kW
Wirkleistung, 10min-Mittelwert	Active power, 10min-Mean value	10	kW
Wirkleistung, 10min-Mittelwert Erweiterter Q-Bereich	Active power, 10min-Mean value Extended Q-Range	40	kW
Blindleistung, 10min-Maximalwert	Reactive power, 10min-Maximum value	4	kvar

Der Eigenbedarf ist unabhängig von der Umgebungstemperatur. Bei Betrieb mit erweitertem Blindleistungsbereich ist erhöhtem Eigenbedarf zu rechnen.

The Stand-by consumption is independent to the ambient temperature. If the extended reactive power range is used, there will be a higher consumption.