

Restricted
Dokument-Nr.: 0079-4376 V04
2019-10-25

Allgemeine Spezifikation

VestasOnline[®]-Windenergieanlagensteuerung

Für PPC-Mk 5

Inhaltsverzeichnis

1 Zweck des Dokuments 3

2 Urheberrechtsvermerk und Haftungsausschluss 3

3 Einleitung 4

3.1 Abkürzungen..... 4

3.2 PPC – Allgemeine Spezifikation..... 5

3.3 Anwendungsbereich des vorliegenden Dokuments..... 5

3.4 Prinzipieller Aufbau eines Windparks..... 6

3.5 Hauptnutzen 7

4 PPC-Philosophie 10

4.1 Haupt-Regelungsarchitekturen 10

4.1.1 Kaskadierung der Steuerungen..... 13

4.2 Software-Konfigurationsüberwachung..... 13

4.3 Skalierbarkeit und Modularität..... 14

4.4 Blindleistungsregelung 15

4.5 Spannungsregelung..... 16

4.6 Leistungsfaktorregelung..... 16

4.7 Aktive Leistungsregelung 16

4.7.1 Frequenzregelung 16

4.7.2 Active Power Limits/Wirkleistungsbegrenzung 17

4.7.3 Active Power Fast Run-Back 18

4.8 Einspeisestrombegrenzung..... 18

4.8.1 Gruppen-Leistungsgrenzwert..... 19

4.9 Low Voltage Ride Through (LVRT) Koordination (Durchfahren von Spannungseinbrüchen)..... 20

4.9.1 Spannungstoleranzprofil 20

4.10 High-Voltage Ride Through-Koordination..... 20

4.11 Line Droop Compensation 20

5 Regelungssystemspezifikationen 22

5.1 Haupt-Hardwarekomponenten 22

5.2 Beschreibung der PPC-Hardware 24

5.3 Systemspezifikationen 24

5.4 Regelungsschnittstellen 25

5.5 Anforderungen an die Installation..... 25

6 Systembeschreibung..... 27

6.1 Projektspezifische Regelung 27

6.2 Datenprotokollierung..... 27

6.3 Stromnetzmessungen 27

6.4 Externe Kommunikationsschnittstellen..... 27

7 Anhänge 28

7.1 Regelungsschnittstellen 28

7.1.1 Schnittstellen der Windenergieanlage 28

7.1.2 Digitale Ein- und Ausgänge..... 28

7.1.3 Analoge Ein- und Ausgänge 28

7.1.4 Optionale Kommunikationsschnittstellen..... 29

7.1.5 Systemschnittstelle für Stromnetzmessungen..... 29

7.2 Referenzen 29

1 Zweck des Dokuments

Dieses Dokument mit allgemeinen Spezifikationen soll Vestas Wind Systems A/S und seinen Kunden als Grundlage für das Verständnis der VestasOnline® Power Plant Controller (PPC, Windenergieanlagensteuerung) Markversion (Mk) 5 in Verbindung mit verschiedenen Software-Versionen dienen.

Das vorliegende Dokument enthält eine allgemeine technische Beschreibung des PPC. Die Verfügbarkeit der einzelnen PPC-Funktionen, die in diesem Dokument aufgeführt sind, hängt von den im jeweiligen Liefervertrag getroffenen Vereinbarungen ab.

2 Urheberrechtsvermerk und Haftungsausschluss

Das vorliegende Dokument wurde von Vestas erstellt und enthält urheberrechtlich geschütztes Material, Markenzeichen und anderweitige geschützte Informationen. Alle Rechte vorbehalten. Das Dokument darf ohne vorherige schriftliche Erlaubnis durch Vestas weder als Ganzes noch in Teilen reproduziert oder in irgendeiner Weise oder Form vervielfältigt werden – sei es grafisch, elektronisch oder mechanisch, einschließlich durch Fotokopieren, Bandaufzeichnung oder mittels Datenspeicherungs- und Datenzugriffssystemen. Die Nutzung dieses Dokuments durch Sie oder eine von Ihnen autorisierte Person ist untersagt, sofern dies nicht ausdrücklich von Vestas gestattet wurde. Sie sind nicht berechtigt, Marken-, Urheberrechts- oder sonstige Vermerke im Dokument zu ändern oder zu entfernen.

Vestas gibt keine Garantien oder Zusicherungen (weder ausdrücklich noch stillschweigend) bezüglich der Dokumentation insbesondere in Bezug auf Richtigkeit, Vollständigkeit, Funktionalität, Genauigkeit, Verwendbarkeit und Eignung oder Nichteignung für einen bestimmten Zweck. Die Dokumentation wird ohne Mängelgewähr zur Verfügung gestellt, und Vestas übernimmt im gesetzlich zulässigen Umfang keinerlei Verantwortung oder Haftung für die Ergebnisse der Nutzung der Dokumentation. Keinesfalls ist Vestas für Folgeschäden, direkte, indirekte, besondere und sonstige Schäden gleich welcher Art haftbar, die sich aus der Nutzung oder Unmöglichkeit der Nutzung der Dokumentation ergeben oder damit in Verbindung gebracht werden können, und zwar unabhängig davon, ob dies auf Verträgen, unerlaubter Handlung, Fahrlässigkeit, verschuldensunabhängiger Haftung oder anderweitigen Rechtsgründen beruht.

3 Einleitung

Das vorliegende Dokument vermittelt einen Überblick über die Vestas-Konzepte zur Leistung von Windparks und deren Regelung mittels des VestasOnline®-PPC Mk 5.

3.1 Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
CB	Leistungsschalter
CE	Kennzeichnung der Konformität mit den Harmonisierungsrechtsvorschriften der EU
CT	Stromwandler
DNP	Distributed Network Protocol, Kommunikationsstandard für die Fernwirktechnik
ESS	Energiespeichersystem
FRB	Fast Run-Back
FSM	Frequency Sensitive Mode
TAB	Technische Anschlussbedingungen (Grid Integration Requirements)
GridStreamer™	Vestas-Vollumrichter-System
IEC	International Electrotechnical Commission
HV	High voltage (Mittelspannung)
HVRT	High-Voltage Ride Through (Mittelspannungsdurchfahren)
LFSM	Limited Frequency Sensitivity Mode
LVRT	Low-Voltage Ride Through (Niederspannungsdurchfahren)
Mk	PPC-Markversion
MODBUS	Protokoll für den seriellen Datenaustausch
MSC	Mechanische Schaltkondensatoren (Mechanically Switched Capacitors)
MSU	Mechanische Schaltanlagen (Mechanically Switched Units)
MS	Mittelspannung
OB	Over-Boosting (Leistungsverstärkung)
P	Wirkleistung
PCC	Netzverknüpfungspunkt
PoM	Messpunkt (Point of Measurement)
PPC	Power Plant Controller (Windenergieanlagensteuerung)
PV	Photovoltaik
Q	Blindleistung
RRL	Ramp Rate Limiter
RMS	Effektivwert (Root Mean Square)

Abkürzung	Erklärung
SCR	Kurzschlussverhältnis (Short Circuit Ratio)
STATCOM	Statische Blindleistungskompensationsanlage
SW	PPC-Software-Version
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TRF	Transformator
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
UL	Underwriters Laboratories, Inc.
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
V	Spannung
VCS	Vestas Converter System (VCS)
VCSS	Vestas Converter Scalar System™
VCUS	Vestas Converter Unity System™
VT	Spannungstransformator
WEA	Windenergieanlage

Tabelle 3-1 Abkürzungen

3.2 PPC – Allgemeine Spezifikation

Der VestasOnline® PPC integriert und steuert Windenergieanlagen (WEA) und zusätzliche Einrichtungen von Drittanbietern, wie PV-Systeme, ESS, STATCOMs und ggf. vorhandene mechanische Schaltgeräte (MSU) innerhalb eines Vestas-Windparks. Der PPC ermöglicht die Steuerung des Windparks am Verknüpfungspunkt (PCC) entsprechend den technischen Anschlussbedingungen (TAB) und vorbehaltlich einer vorherigen Evaluierung durch Vestas.

3.3 Anwendungsbereich des vorliegenden Dokuments

Das vorliegende Dokument bezieht sich auf Windparks mit WEA, die auf den folgenden Vestas WEA-Plattformen aufbauen: VCS, VCRS, GridStreamer™ und VCUS™ sowohl mit 50 Hz als auch mit 60 Hz.

Das gängige Maß für die Stabilität eines Systems ist das Kurzschluss-Verhältnis (Short Circuit Ratio, SCR), das wie folgt definiert ist:

$$SCR \cong \frac{S_{SC}}{n \cdot P_{WTG}}$$

Wobei:

S_{SC} : Dreiphasige Kurzschlussleistung am Netzverknüpfungspunkt, ausgedrückt in MVA, aus Stromnetz-Perspektive

n: Anzahl der WEA

P_{WEA} : Wirkleistungskapazität der WEA in MW

Für eine Vestas-Standardlösung und die hierdurch definierten Kontroll- und Schutzmaßstäbe müssen am Verknüpfungspunkt ein $X/R > 4$ und ein $SCR > 5$ gegeben sein. Bei einem X/R -Wert < 4 und/oder einem SCR -Wert < 5 ist vor der Systemintegration eine eingehende Studie durchzuführen.

In Bezug auf die WEA muss eine Anforderung hinsichtlich der Kurzschlussleistung an der MS-Bus-Klemme an jeder WEA erfüllt sein. Weitere Informationen sind den Allgemeinen Spezifikationen zu den WEA zu entnehmen.

3.4 Prinzipieller Aufbau eines Windparks

Das der Erzeugungsanlage (EZA) zugrunde liegende Konzept lässt sich am Beispiel einer typischen Vestas Windparkarchitektur erläutern, wie sie in Abbildung 3-1 auf Seite 7 dargestellt ist. Das SCADA-System dient als Schnittstelle zum Windpark und erfasst die Daten des Windparks. Im Vestas-Windpark sind die WEA und die PV-Module sternförmig angeordnet und darüber hinaus an die Mittelspannungs-Sammelschiene (den MS-Bus) angeschlossen, die normalerweise von 11 bis 35 kV reicht und an die auch die Energiespeichersysteme (ESS) angeschlossen sind. Die zusätzlichen an die Mittelspannungssammelschiene angeschlossenen Kompensationseinrichtungen können aus STATCOM und/oder MSU bestehen. Die an der MS-Sammelschiene erzeugte Wirk- und Blindleistung wird über den Haupttransformator (TRF) zum Verknüpfungspunkt transportiert.

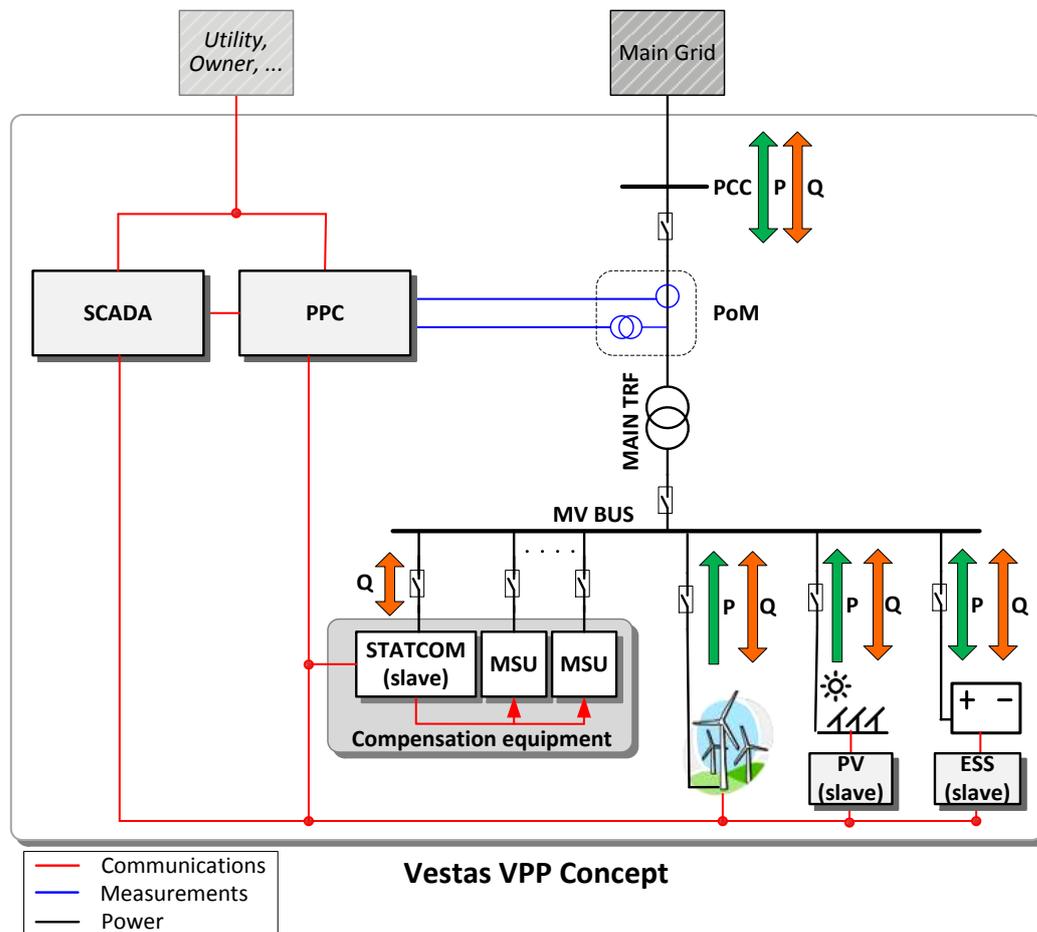


Abbildung 3-1: Beispiel für eine Vestas Windpark-Architektur mit VestasOnline®-PPC

3.5 Hauptnutzen

Zur Unterstützung von Vestas Windpark-Lösungen für die Stromnetzkonformität bietet das VestasOnline®-PPC-Produkt eine unmittelbar reagierende, dedizierte und zuverlässige Plattform zur Regelung von Blindleistung/Spannung und Wirkleistung/Frequenz am Verknüpfungspunkt (PCC).

Die Hauptfunktionen unterstützen die Koordination der folgenden Regelkreise:

- **Regelungsarchitekturen**

Vestas bietet verschiedene Lösungen, welche die elektrische Leistung des Windparks am Verknüpfungspunkt unterstützen. Vier wesentliche Regelungsarchitekturen werden unter Verwendung der Windparkkonzepte unterstützt. Diese sind im Abschnitt 4.1 dargestellt.

- **Regelungskonfiguration über Software und Hardware**

Die Hauptkonfiguration einer Regelung per Software umfasst die zentralen Regelungsalgorithmen und deren Verbund. Sie ist im Abschnitt 4.2 dargelegt.

Die Hauptkonfiguration einer Regelung per Hardware bezieht sich auf die PPC-Konfigurationen an den Schnittstellen zu den betreffenden Hardware-Komponenten in einem Vestas Windpark. Sie ist im Abschnitt 5.1 beschrieben.
- **Skalierbarkeit und Modularität**

Aufbauend auf das Konzept, das den Vestas Windparks zugrunde liegt, gewährleisten die Konfigurationen des PPC die Skalierbarkeit und Modularität der Windparks. Dies bedeutet, dass die Leistung des Hauptkreises sich durch Parallelschalten von Subsystemen skalieren lässt. Dies ist im Abschnitt 4.3 Skalierbarkeit und Modularität auf Seite 14 dargelegt.
- **Blindleistungsregelung**

Mithilfe dieser Funktion wird die für den am Verknüpfungspunkt geforderten Blindleistungswert benötigte Blindleistungsreferenz für die WEA und ggf. vorhandene zusätzliche Einrichtungen an der MS-Sammelschiene berechnet. Sie ist im Abschnitt 4.4 beschrieben.
- **Spannungsregelung**

Diese Funktion wird durch die Blindleistung von den WEA und den zusätzlichen Einrichtungen implementiert. Die Spannungsregelung steht mit der Blindleistungsregelung in Beziehung. Sie ist im Abschnitt 4.5 beschrieben.
- **Leistungsfaktorregelung**

Diese Funktion setzt die externe Leistungsfaktorreferenz in eine Blindleistungsreferenz um, welche die Blindleistungsregelung speist. Die Leistungsfaktorregelung steht mit der Blindleistungsregelung in Beziehung. Sie ist im Abschnitt 4.6 beschrieben.
- **Aktive Leistungsregelung**

Mithilfe dieser Funktion wird die Gesamt-Wirkleistung am Verknüpfungspunkt geregelt. Diese Regelung beinhaltet die Frequenzregelung sowie zusätzliche Referenzen in Bezug auf die Wirkleistungsbegrenzung. Sie ist im Abschnitt 4.7 beschrieben.
- **Frequenzregelung**

Die Frequenzregelung dient zur Integration eines Vestas Windparks in das vom ÜNB eingerichtete systemweite Frequenzregulierungssystem. Die Frequenzregelung steht mit der aktiven Leistungsregelung in Beziehung. Sie ist im Abschnitt 4.7.1 beschrieben.
- **Active Power Fast Run-Back**

Die FRB-Funktion ermöglicht es, die Stromerzeugung des Vestas Windparks unverzüglich herunterzufahren. Diese Funktion lässt sich vom Benutzer ein- und ausschalten. Die FRB steht mit der aktiven Leistungsregelung in Beziehung. Sie ist im Abschnitt 4.7.3 beschrieben.
- **Einspeisestrombegrenzung**

Mithilfe dieser Funktion lässt sich der PPC so einrichten, dass von den WEA erzeugte/r und durch einen Lasttrenner hindurch geführte/r Wirkleistung,

Blindleistung oder Strom begrenzt werden. Sie ist im Abschnitt 4.8 beschrieben.

- **Low-Voltage-Ride-Through-(LVRT-)Koordination (Durchfahren von Spannungseinbrüchen)**

Über diese Funktion lässt sich dafür sorgen, dass ein LVRT-Regler unverzüglich auf auftretende Fehler reagiert. Sie ist im Abschnitt 4.9 beschrieben.

- **High-Voltage Ride Through-Koordination (HVRT)**

Über diese Funktion lässt sich dafür sorgen, dass eine HVRT-Steuerung auf die Mittelspannungseignisse reagiert. Sie ist im Abschnitt 4.10 beschrieben.

- **Line Droop Compensation**

Diese Funktion wird verwendet, wenn sich der PoM mehrere Kilometer vom Verknüpfungspunkt entfernt befindet und keine Möglichkeit besteht, in der Nähe des Verknüpfungspunktes einen externen Leistungsmesser (Vestas Remote Elspec) zu installieren. Diese Funktion kann das Vorhandensein einer Leitung zwischen PoM und Verknüpfungspunkt ausgleichen. Sie ist im Abschnitt 4.11 beschrieben. Ist diese Funktion aktiviert, lässt sie sich vom Benutzer ein- und ausschalten.

Das tatsächliche Regelungsverhalten und die mit dem PPC erreichbare Leistung eines Vestas Windparks hängen von der Konfiguration des jeweiligen Vestas Windparks ab. Die Regelschemata in der PPC sind so abgestimmt, dass die richtige Leistung und das gewünschte Verhalten des Windparks erreicht werden. Auch die Verwendung verschiedener Vestas Windenergieanlagentypen innerhalb des gleichen Vestas Windparks ist möglich.

4 PPC-Philosophie

Die Windparkregelung ist für die Regelung der Ausgangsleistung eines Windparks am Verknüpfungspunkt zuständig. Die Nutzung eines spezifischen PPC entlastet das der Server-Einheit zugeordnete SCADA-System von der Ausführung der Steuerungsfunktionen.

Die Hauptaufgabe des PPC besteht darin, die erwartete Ausgangsleistung des Vestas Windparks weitestmöglich im Bereich der Sollwerte zu halten. Dazu werden Sollwerte an die WEA und an zusätzliche Einrichtungen gesandt, falls solche vorhanden sind.

4.1 Haupt-Regelungsarchitekturen

Vier Haupt-Regelungsarchitekturen werden unterstützt ⁽¹⁾:

Option 1. PPC zur Regulierung von WEA

Wenn die WEA selbst in der Lage sind, Blindleistung entsprechend den TAB einzuspeisen bzw. aufzunehmen, ist eventuell eine einfache Windparkstruktur erforderlich, bei der die WEA durch die PPC gesteuert werden, um die Blindleistungs-/Spannungsanforderungen zu erfüllen. Siehe Abbildung 4-1, S. 10 für weitere Informationen.

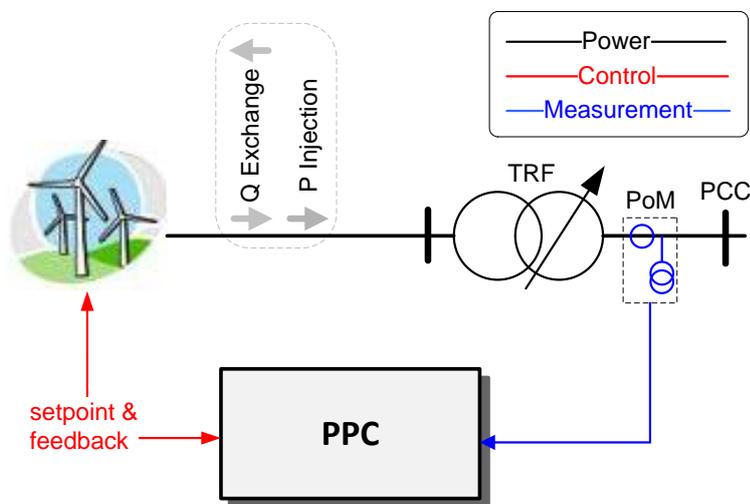


Abbildung 4-1: Option 1: Regelarchitektur lediglich mit WEA

Option 2. PPC zur Regulierung von WEA und MSU

¹ Vestas bietet die Möglichkeit, durch Inanspruchnahme des Vestas Electrical-PreDesign-Services [2] die für den jeweiligen Vestas-Windpark benötigte Option auszuwählen.

Die MSU bieten die Möglichkeit, die am Verknüpfungspunkt eingespeiste Blindleistung zu verschieben, daher lässt sich gegenüber Option 1 ein größeres statisches Blindleistungsvermögen erzielen.

Wenn die entsprechenden TAB mehr Blindleistung erfordern als die WEA am Verknüpfungspunkt liefern, können an der Sammelschiene MSU installiert werden, sofern solche zur Verfügung stehen. Daher erfüllt ein Konfigurieren von WEA mit MSU die meisten statischen Anforderungen in Zusammenhang mit dem Blindleistungsvermögen. Vestas hat Steueralgorithmen zur Harmonisierung des kombinierten Betriebs von WEA und MSU entwickelt. Diese Algorithmen können auch zur Blindleistungsregelung, Spannungsregelung und Leistungsfaktorregelung genutzt werden, sofern die TAB die Verwendung von MSU für derartige Zwecke erlauben. Siehe Abbildung 4-2, S. 11 für weitere Informationen.

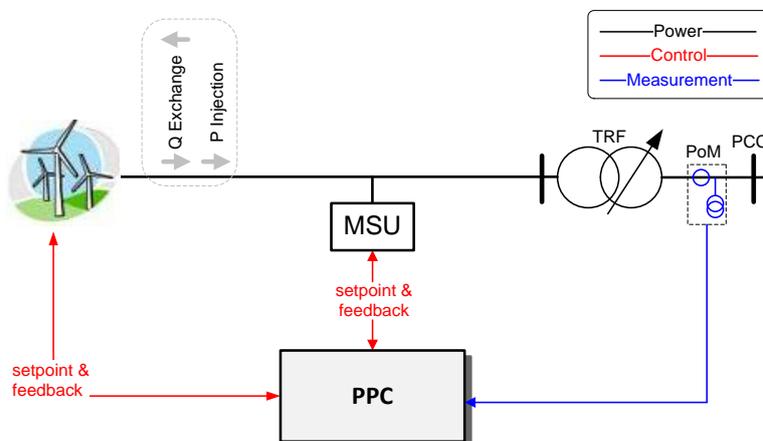


Abbildung 4-2: Option 2: Regelarchitektur mit WEA und MSU

Option 3. PPC zur Regelung von WEA und STATCOM (die MSU enthalten können)

Der STATCOM bietet die Möglichkeit, das am Verknüpfungspunkt eingespeiste Blindleistungsvermögen gegenüber Option 1 und Option 2 dynamisch auszuweiten.

Wenn die Netzanschlussbedingungen mehr Blindleistung, als von den WEA eingespeist werden kann, sowie eine schnelle dynamische Leistung der Blindleistungsregelung am Verknüpfungspunkt erfordern, kann an der MS-Sammelschiene ein STATCOM installiert und von der PPC auf die gleiche Weise wie die WEA gesteuert werden. Der STATCOM kann optional MSU beinhalten. In dieser Architektur steuert der STATCOM die installierten MSU. Siehe Abbildung 4-3, S. 12 für weitere Informationen.

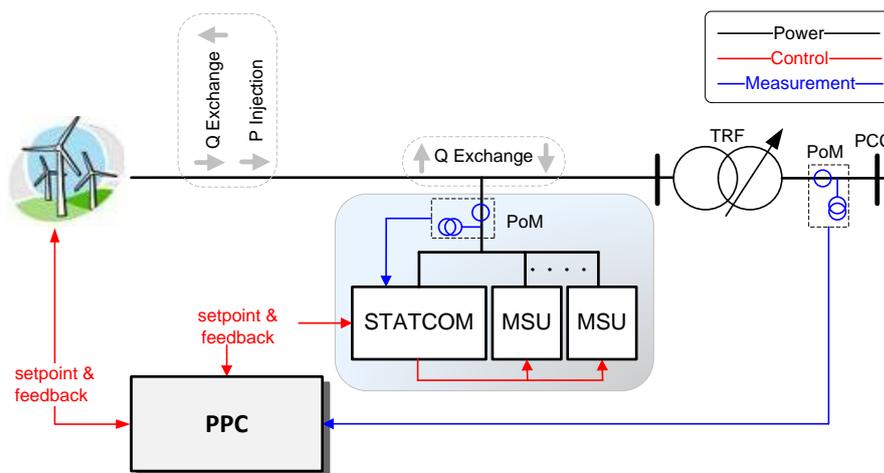


Abbildung 4-3: Option 3: Regelarchitektur mit WEA und STATCOM (einschl. MSU)

Option 4. PPC zur Regelung von WEA, PV und/oder ESS

Der Vestas Windpark kann sowohl PV- als auch ESS-Anlagenteile enthalten. Der PPC steuert alle Anlagenteile durch Verteilung der Wirk- und Blindleistungsanforderungen (P und Q) an die anlagenspezifische Windpark-Steuerung. Der PPC kann Wirk- und Blindleistung aufgrund unterschiedlicher Kriterien verteilen, inklusive Priorisierung der Bereitstellung spezifischer Anlagenteile, gewichtete Bereitstellung, Einschränkung auf Wirkleistungsbereitstellungs- oder Wirkleistungsaustauschmodus.

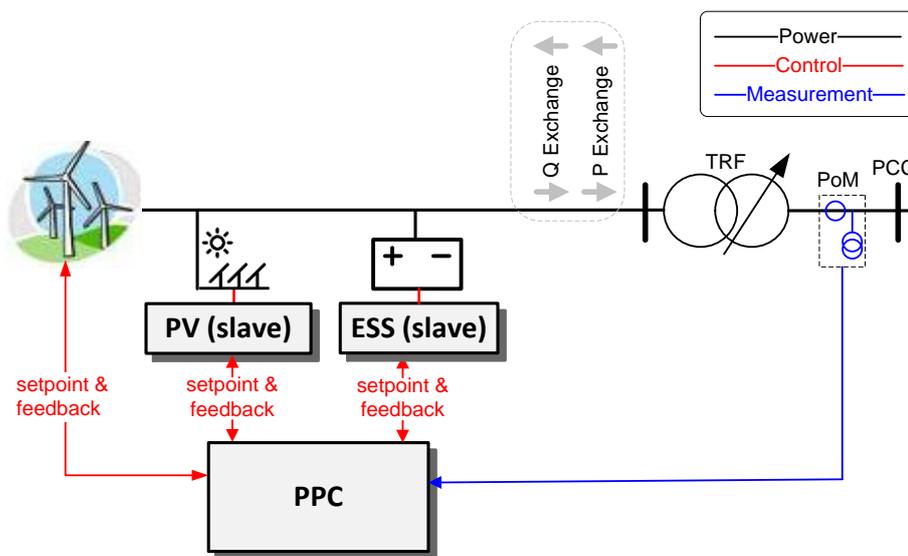


Abbildung 4-4: Option 4 Regelarchitektur mit WEA, PV und/oder ESS

Die verschiedenen Lösungen sind verfügbare Konfigurationen des PPC und werden projektbezogen eingesetzt, um die Anforderungen von Projektstandorten und Kunden zu erfüllen.

4.1.1 Kaskadierung der Steuerungen

Der PPC bietet die Möglichkeit zur Kaskadierung (mehrerer) Steuerungen, damit beispielsweise die Steuerung von mehr als 160 WEA möglich wird.

In einer kaskadierenden Konfiguration fungiert ein PPC als Primärsteuerung (Master) und sendet einen Sollwert an eine bestimmte Anzahl sekundärer PPCs (Slaves) im Netzwerk. Kaskadierung der Steuerungen kann die Steuerung Vestas-fremder PPCs unterstützen.

Kaskadierende Steuerungen wirken sich in verschiedener Weise auf die Leistung des Windparks aus und müssen für jedes Projekt einzeln evaluiert werden.

4.2 Software-Konfigurationsüberwachung

Der PPC als Hauptregler des Vestas Windparks übernimmt die Steuerung der Stromregelkreise (z. B. Spannungs-, Blindleistungs- oder Frequenzregelung) anhand der Sollwerte, welche beispielsweise vom Netzbetreiber übermittelt

werden. Der PPC sendet auch die Wirk- und Blindleistungsbezugswerte an die WEA und eventuell angeschlossene zusätzliche Einrichtungen.

Der PPC kann als Teil von VestasOnline® Business Daten mit Eigentümern und Versorgungsunternehmen austauschen.

In ähnlicher Weise besteht die Möglichkeit zum Übersenden von Sollwerten an alle Regelkreise wie etwa folgende:

- Wirkleistungssollwert des Windparks
- Frequenzsollwert des Windparks
- Blindleistungssollwert des Windparks
- Spannungssollwert des Windparks
- Leistungsfaktorsollwert des Windparks

Die möglichen Schnittstellen gehen aus Abschnitt 7.1.1 hervor.

4.3 Skalierbarkeit und Modularität

Die Aufbauphilosophie des Hauptstromkreises beruht auf einem modularen Ansatz hinsichtlich des Vestas-Windparkdesigns. Ein größerer Vestas-Windpark wird dabei in N Elemente gleichartiger Gestaltung untergliedert. Zum Beispiel besteht ein Vestas Windpark aus mehreren identischen installierten Leistungsmodulen, die jeweils über einen eigenen Haupt-TRF verfügen. Siehe Abbildung 4-5 auf S. 15.

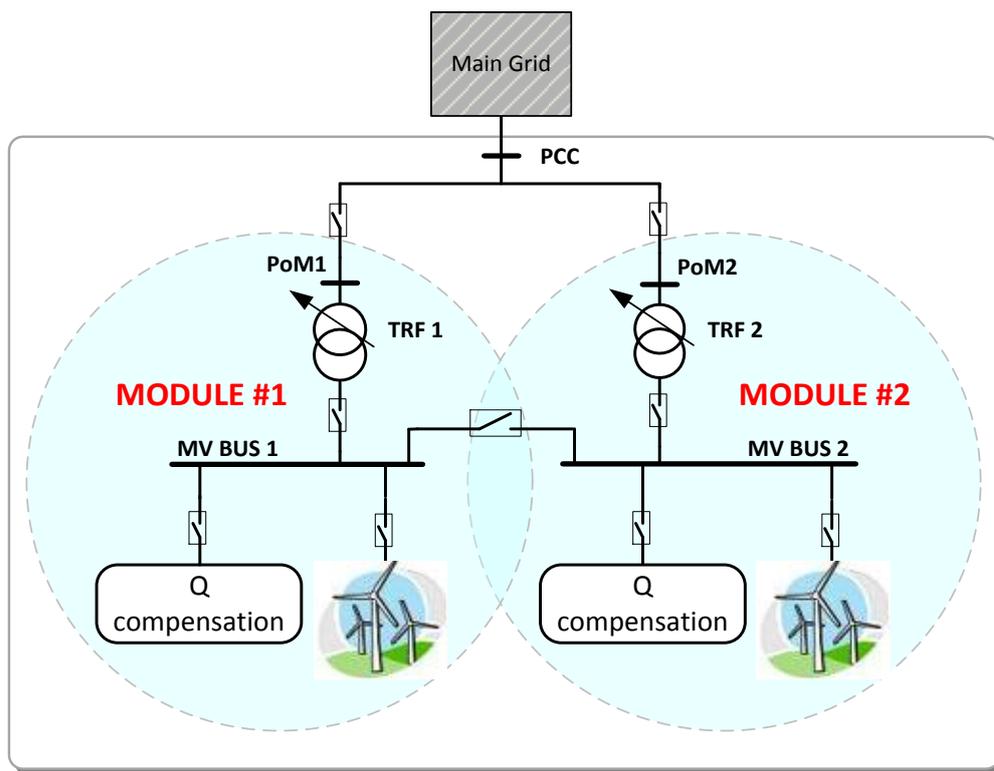


Abbildung 4-5: Beispiel für einen aus zwei gleichartigen Modulen aufgebauten Vestas-Windpark

Im vorliegenden Beispiel sind zwei identische Module an denselben Bus – den Verknüpfungspunkt-Bus – angeschlossen. Üblicherweise wird zwischen den beiden Modulen an der MS-Sammelschiene ein Schließer eingefügt. In einem solchen Falle kann der PPC auch mit dem Hauptkreis modularisiert sein.

Ein offenkundiger Vorteil des modularen Vestas Windpark-Konzepts besteht in der Redundanz, durch die sich das Risiko hinsichtlich der elektrischen Leistung am Verknüpfungspunkt verringert.

Diese separaten Module können, falls gewünscht, als gemeinsame Ringleitung angesteuert werden. Dazu werden PoM1 und PoM2 in ein logisches PoM gruppiert. Dies kommt ungefähr dem Vorhandensein eines physischen Messgeräts am Verknüpfungspunkt gleich. Die Spannungen und Frequenz können von jedem einzelnen Messgerät verwendet werden, während die Strom-, Wirk- und Blindleistungswerte aufsummiert werden können. Bis zu vier PoMs können zu einem logischen PoM gruppiert werden.

Es ist jedoch zu beachten, dass nur eine MSU (mit mehreren Stufen) pro Regelkreis aktiv sein kann.

4.4 Blindleistungsregelung

Mithilfe der Blindleistungsregelung wird die zur Erreichung des geforderten Blindleistungswerts am Verknüpfungspunkt benötigte Blindleistungsreferenz für die WEA und ggf. vorhandene zusätzliche Einrichtungen berechnet. Dies geschieht auf Grundlage einer externen Blindleistungsreferenz und der am

Verknüpfungspunkt gemessenen Blindleistung. Dieser Referenzwert wird an alle Einheiten weitergegeben.

Die dynamische Reaktion der Blindleistungsregelung wird den TAB entsprechend abgestimmt.

4.5 Spannungsregelung

Die Spannungsregelung erfolgt über die Blindleistung aus dem Windpark. Die Spannungsregelung kann auf zweierlei Art erfolgen: über den Teillastspannungsregler mit begrenzender Rampenfunktion und den PI-Spannungsregler. Die stationären Anforderungen hinsichtlich der Teillastspannungsregelung mit begrenzender Rampenfunktion lassen sich wie in Abbildung 4-6 auf S. 16 dargestellt beschreiben.

Um Spannungsfehler zu beseitigen, lässt sich bei Bedarf der PI-Regler benutzen.

Die dynamische Reaktion des Spannungsreglers kann den TAB entsprechend abgestimmt werden.

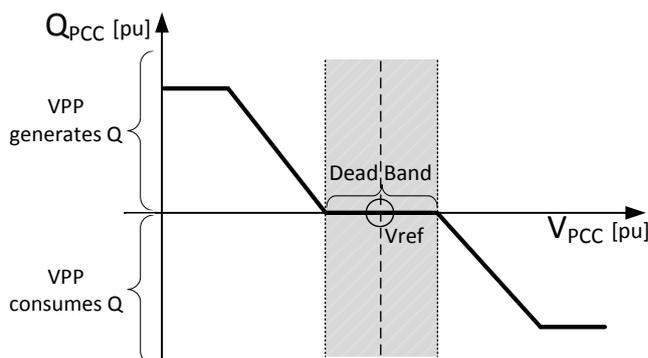


Abbildung 4-6: Merkmale des Spannungsreglers

4.6 Leistungsfaktorregelung

Die Leistungsfaktorregelung nutzt die gleiche Struktur wie die Blindleistungsregelung. Anschließend wird die Leistungsfaktorreferenz in eine Blindleistungsreferenz übersetzt, welche die Blindleistungsregelung speist.

4.7 Aktive Leistungsregelung

Die aktive Leistungsregelung ermittelt die Wirkleistungs-Sollwerte anhand der Stromnetz- und Referenzfrequenzen sowie von Sollwerten zur Wirkleistungsbegrenzung wie etwa Betrieb mit reduzierter Leistung. Im Folgenden werden die Frequenzregelung und die Wirkleistungsgrenzen näher erläutert.

4.7.1 Frequenzregelung

Die Frequenzregelung dient zur Integration eines Windparks in das vom ÜNB eingerichtete systemweite Frequenzregulierungssystem. Eine Wirkleistungsreferenz lässt sich anhand der Frequenzregelung nach einem

vorgegebenen Ansprechverhaltensdiagramm und dem Unterschied zwischen der gemessenen Stromnetzfrequenz und der vom Vestas Windpark-Betreiber oder dem ÜNB vorgegebenen Frequenzsollwert berechnen.

Die Wirkleistungsreferenz des PPC wird durch Überfrequenz verringert und durch Unterfrequenz erhöht.

Die Überlastoption der Frequenzregelung kann zusätzliche Wirkleistungsunterstützung bei Unterfrequenzzuständen liefern.

4.7.2 Active Power Limits/Wirkleistungsbegrenzung

Der aktive Leistungsregelkreis kann die Wirkleistung des Vestas Windparks und dessen Anstiegsrate begrenzen.

4.7.2.1 Active Power Ramp Rate Limiter

Der P-Regelkreis des PPC enthält drei Wirkleistungs-Anstiegsratenbegrenzungen (Wirkleistungs-RRL) für unterschiedliche Zwecke; nähere Erläuterungen hierzu in Abbildung 4-7 auf S. 17.

1. **Wind entsprechende RRL:** zur Regelung der Anstiegsraten der Ausgabewirkleistung infolge von Schwankungen der Windgeschwindigkeit innerhalb gewisser Grenzen.
2. **Wirkleistungssollwert-abhängige RRL:** zur Regelung der Schwankungen durch veränderte Wirkleistungsreferenzwerte mithilfe entsprechender Anstiegsraten. Der der Anstiegsrate entsprechende Wirkleistungssollwert wird im P-Regelkreis verwendet.
3. **Frequenzabhängige RRL:** zur Regelung der F-Schwankungen mithilfe entsprechender Anstiegsraten. Der um die Anstiegsrate korrigierte Frequenzsollwert wird im P-Regelkreis verwendet.

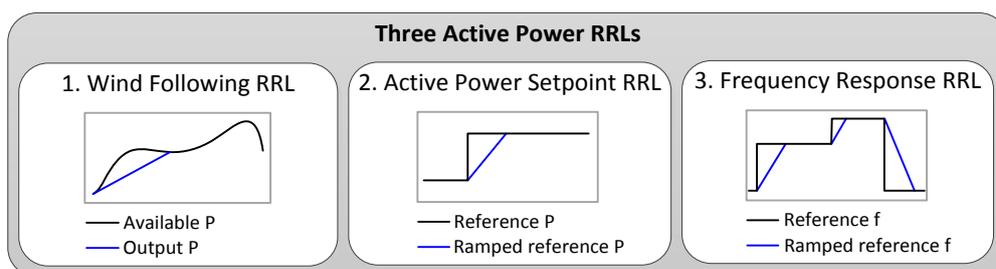


Abbildung 4-7: Drei Wirkleistungs-RRL

Bei Verwendung der vorgenannten RRL zur Begrenzung der P-Anstiegsraten sollte die Rangfolge lauten: Höchste Priorität genießt die von der Frequenz abhängige RRL, die niedrigste die dem Wind entsprechende RRL.

Der ÜNB spezifiziert den Wind nach RRL und dem P-Sollwert RRL.

Die von der Frequenz abhängige RRL darf die nach den Vereinbarungen mit dem ÜNB maximal mögliche Anstiegsrate des Vestas Windparks nicht übersteigen.

4.7.2.2 Leistungsreduzierung

Ein Regler zur Leistungsreduzierung kann die Wirkleistungserzeugung in einem Vestas Windpark begrenzen. Diese Grenze kann vom Betreiber des Vestas Windparks oder dem ÜNB vorgegeben werden. Der Regler wird für die Kommunikation zwischen den WEA genutzt und übernimmt die Begrenzungsfunktion im Vestas Windpark.

Für jede WEA gibt es ein technisches Mindestniveau für die Wirkleistungserzeugung. Dieses Mindestniveau muss vom PPC zum Schutz der WEA vor mechanischer Überlastung eingehalten werden. Bei einem Unterschreiten des Mindestniveaus durch die Wirkleistungsreferenz kann die WEA kurzzeitig abgeschaltet werden.

4.7.2.3 Energieverteilungsprogramm

Das Energieverteilungsprogramm bietet externen Einheiten die Möglichkeit, Sollwerte für jeden Erzeuger von Wirkleistung im Vestas Windpark in Form zeitgesteuerter Sollwerte zu planen.

4.7.2.4 Umwelteinflüsse

Es können Daten aus Umweltsystemen empfangen und gegen die Stabilität der Netzfrequenz priorisiert werden, um die Pausierung der WEAs zu koordinieren.

4.7.3 Active Power Fast Run-Back

Auf Grundlage der Einstellungen für die FRB-Funktion lässt sich die Wirkleistungserzeugung der Anlage vom aktuellen Wirkleistungsniveau auf das gewünschte reduzieren.

Die Funktion kann auch einen Leistungssollwert und einen Aktivierungs-Flag vom ÜNB zur Reduzierung der Energieerzeugung entgegennehmen.

Im Falle von noch höheren Stromerzeugungsanforderungen kann die FRB-Funktion mit einer Funktion zum Auslösen von Lasttrennern kombiniert werden. Dies bedeutet, dass in einem solchen Fall erforderlichenfalls die Leistungsschalter einzelner WEA zur Unterbrechung der Stromeinspeisung geöffnet und die Stromabgabe auf der Stelle und übergangslos abgeschaltet würde(n).

4.8 Einspeisestrombegrenzung

Die Funktion zur Begrenzung des Einspeisestroms lässt sich in Fällen nutzen, in denen das Erfordernis einer Begrenzung des Stromflusses durch eine Speiseleitung etwa im Anschluss an eine Umkonfiguration von Schalterstellungen innerhalb eines Vestas-Windparks besteht. Dies lässt sich an einem Beispiel veranschaulichen, das in Abbildung 4-8 auf S. 19 wiedergegeben ist.

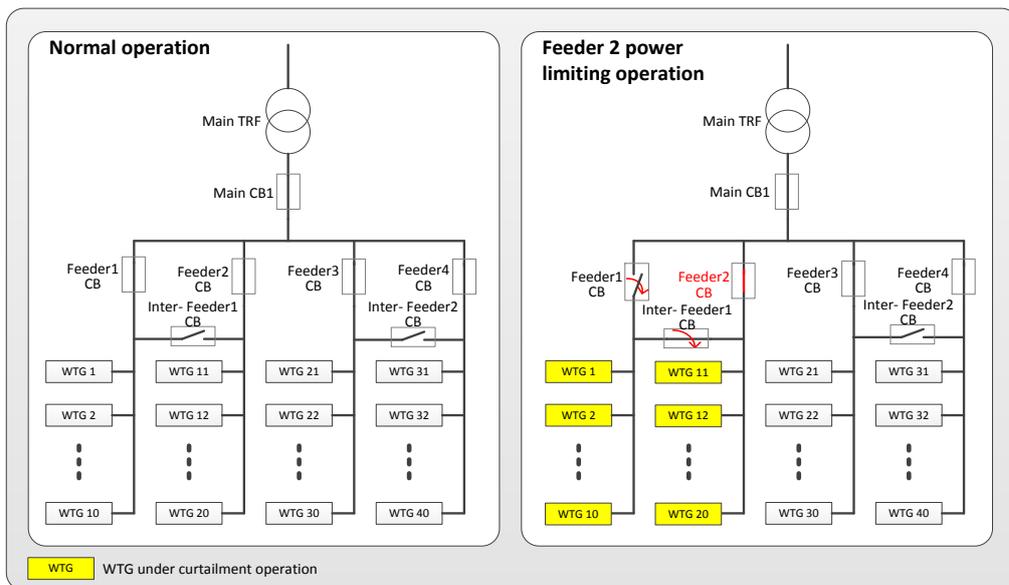


Abbildung 4-8: Beispiel für die Funktionsweise eines PPC zur Begrenzung des Einspeisestroms

4.8.1 Gruppen-Leistungsgrenzwert

Für eine Gruppe an Windenergieanlagen kann ein Wirkleistungsgrenzwert festgelegt werden. Es handelt sich um einen logischen Grenzwert, der unabhängig von der elektrischen Konfiguration des Vestas Windparks angewendet werden kann.

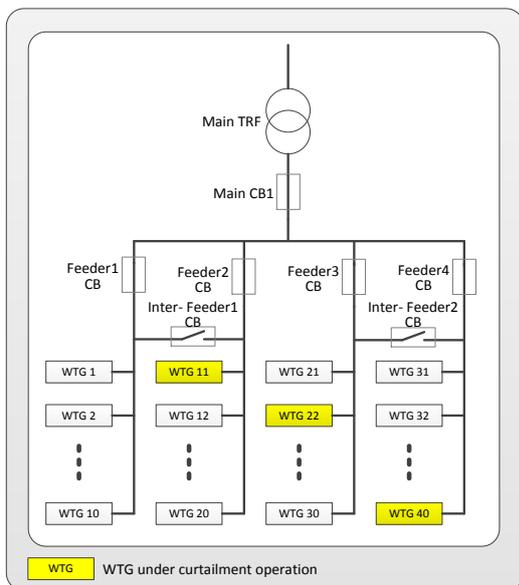


Abbildung 4-9: Beispiel für den Gruppen-Leistungsgrenzwert

4.9 Low Voltage Ride Through (LVRT) Koordination (Durchfahren von Spannungseinbrüchen)

Die LVRT-Koordination enthält die Strategie zur Erzeugung der von den WEA, PV, ESS, MSU und/oder STATCOM ausgegebenen Sollwerte bei Netzfehlern. Zusätzlich kann, sofern gewählt, über einen zuvor festgelegten Zeitraum nach dem Fehler der PPC in den als „Post-Fault Mode“ bezeichneten Steuerungsmodus wechseln. Dieser trägt dazu bei, das Stromnetz nach Fehlern durch Spannungsstützung mithilfe von Blindleistungseinspeisung zu stabilisieren. Nach einer Beendigung des Post-Fault-Status kehrt der PPC in den normalen Regelungsmodus zurück, der vor dem Fehler aktiv gewesen ist.

Es sei angemerkt, dass zur Beurteilung der Leistung am Verknüpfungspunkt eines speziellen mit Vestas-WEA ausgestatteten Vestas Windparks Simulationen mit der jeweiligen Windparkkonfiguration und Stromnetzanbindung durchgeführt werden müssen.

4.9.1 Spannungstoleranzprofil

Die voreingestellten Unterspannungsschutzeinstellungen einer angeschlossenen WEA finden sich in der entsprechenden allgemeinen Spezifikation, in der das Spannungstoleranzprofil als Spannungstoleranzkurve dargestellt ist. Außerhalb der Kurve wird die WEA vom Netz getrennt. Erwartet wird, dass sich am Verknüpfungspunkt aufgrund der Impedanz zwischen Verknüpfungspunkt und WEA ein höherer Spannungstoleranzwert erzielen lässt. Zur Beurteilung der Leistung am Verknüpfungspunkt eines gegebenen Vestas Windparks mit Vestas-WEA müssen transiente Simulationen mit der jeweiligen Vestas Windpark-Konfiguration und -Stromnetzanbindung durchgeführt werden [2].

4.10 High-Voltage Ride Through-Koordination

Die HVRT-Koordination enthält die Strategie der Regelungsmodi für die WEA, MSU und/oder STATCOM während MS-Ereignissen. Während der HVRT-Ausführung existieren zwei Zustände: HVRT Control State und HVRT Support State (Regelungszustand und Stützungszustand). Die HVRT-Koordinierung kann nicht nur Spannungsregelung, sondern auch Blindleistungsregelung am Verknüpfungspunkt während MS-Ereignissen durchführen, falls Benutzer dies wünschen.

Es sei angemerkt, dass zur Beurteilung der Leistung am Verknüpfungspunkt eines speziellen mit Vestas-WEA ausgestatteten Vestas Windparks Simulationen mit der jeweiligen Windparkkonfiguration und Stromnetzanbindung durchgeführt werden müssen.

4.11 Line Droop Compensation

Zur Erzielung bester Leistung müssen sich PoM und Verknüpfungspunkt an demselben Punkt befinden. In manchen Fällen ist dies jedoch nicht möglich. In solchen Fällen kann diese Funktion gewählt werden. Die Leistung der Regler nimmt bei Verwendung dieser Funktion ab, da die Spannung nicht zu 100 % genau dargestellt werden kann.

Anhand der Messungen am PoM und der Leitungsparameter zwischen PoM und Verknüpfungspunkt lassen sich die elektrischen Größen am Verknüpfungspunkt berechnen. Wird am PPC die Line Droop Compensation aktiviert, übernimmt der PPC die Regelung der elektrischen Größen am Verknüpfungspunkt. Das Konzept der Line Droop Compensation für Vestas-Option 1 ist beispielhaft in Abbildung 4-10 auf S. 21 veranschaulicht.

Bei den Optionen 2, 3 und 4 stimmen Konzept und Implementierung der Funktionalität „Line Droop Compensation“ überein. Ist diese Funktion aktiviert, lässt sie sich vom Benutzer ein- und ausschalten. Um diese Funktion zu nutzen, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. So muss etwa die Länge der Leitung zwischen Verknüpfungspunkt und Messpunkt (PoM) weniger als 200 km betragen. Zwischen dem Verknüpfungspunkt und dem PoM darf kein Transformator zwischengeschaltet sein, und auf der Leitungsstrecke zwischen Verknüpfungspunkt und PoM dürfen keine anderen Speiseleitungen angeschlossen sein.

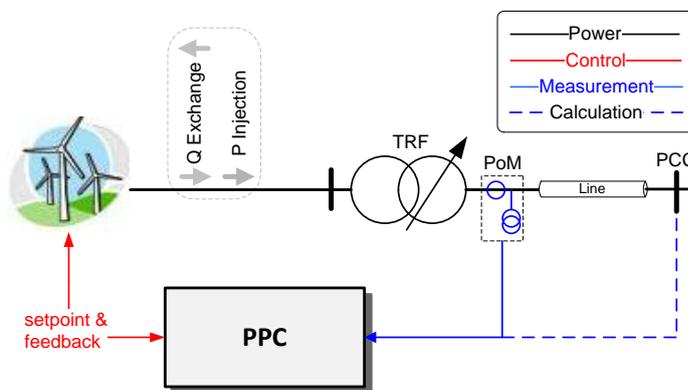


Abbildung 4-10: Kompensationssteuerung bei Spannungsabfall für Vestas-Option 1

Übersetzung der Originalbetriebsanleitung: T05 0079-4376 VER 04

T05 0086-6033 Ver 01 - Approved- Exported from DMS: 2020-01-06 by INVOL

5 Regelungssystemspezifikationen

5.1 Haupt-Hardwarekomponenten

Im folgenden Abschnitt sind die maßgeblichen Komponenten aufgeführt, die in einem Vestas Windpark zur Regelung seiner Leistung zum Einsatz gelangen.

- **Power Plant Controller (Windenergieanlagensteuerung)**

Die PPC-Plattform basiert auf einer programmierbaren Automatisierungssteuerung. Diese Plattform ermöglicht es dem PPC, mit Remote-Modulen und Umspanneinrichtungen und damit noch weiteren Geräten zu kommunizieren, die über einen Ethernet-Anschluss verfügen. Ein Kommunikationsprotokoll ist im PPC enthalten, mit welchem mit den einzelnen Windenergieanlagen innerhalb des Windparks kommuniziert werden kann. Die über das Protokoll übertragenen Haupt-Regelsignale sind die Wirkleistungs- und Blindleistungs-Sollwerte, die verfügbare Wirkleistung und Blindleistung sowie Statussignale von den WEA.

- **Leistungsmesser**

Der Leistungsmesser ist üblicherweise in den PPC integriert oder lässt sich remote über einen gesonderten schnellen Glasfaserkanal anschließen. Neben einer Reihe von Filterungsfunktionen berechnet der Leistungsmesser die Effektivwerte der von den Sensoren (PoM) empfangenen Signale. Darüber hinaus zeichnet der Leistungsmesser eine 100-s-Zeitreihe für Spannung und Strom bei jedem Stromnetzereignis (wie beispielsweise Störungen) auf. Die aufgezeichneten Daten werden ggf. im internen PPC-Protokoll für weitere Analysen protokolliert.

- **Blindleistungskompensationsanlagen: STATCOM und MSU**

Die Blindleistungskompensationsanlagen lassen sich zur Steigerung der im Windpark zur Verfügung stehenden Blindleistung an die MS-Sammelschiene des Umspannwerks anschließen. Die für eine Blindleistungskompensation durch Verwendung von Zusatzausrüstung zu wählende Lösung ist abhängig von einer projektspezifischen Analyse der bestehenden Anforderungen. Falls beispielsweise die WEA in Kombination mit statischen Geräten die Anforderungen an hohe Dynamik nicht erfüllen kann, wird ein STATCOM eingesetzt, damit die hohen Anforderungen an die Blindleistungs-/Spannungsdynamik am Verknüpfungspunkt gewährleistet sind. In den meisten Fällen wird der STATCOM durch MSU-Einrichtungen ergänzt, wobei dann der STATCOM für deren Regelung konfiguriert werden muss. Sind in einem Vestas Windpark nur MSU und keine STATCOM vorhanden, erfolgt die Regelung sämtlicher MSU durch den PPC.

- **Hybridsysteme**

PV-Systeme und ESS können an der Mittelspannungssammelschiene des Umspannwerks angeschlossen und durch den PPC gesteuert werden.

- **Windenergieanlagen**

Bei den für eine Vestas Windpark-Konfiguration mit PPC vorgeschlagenen WEA-Plattformen handelt es sich um: VCS-, VCRS-, GridStreamer™- und VCUS™-

WEA-Plattformen. Ein schnelles Kommunikationssystem gewährleistet ausreichende Bandbreite für alle implementierten Regelungsalgorithmen.

5.2 Beschreibung der PPC-Hardware

Der PPC Mk 5 wurde modularisiert und in drei Schaltschränke kategorisiert, welche die Bezeichnung PPC Core (PPC-Hauptschrank) und PPC Extension (PPC-Erweiterungsschrank) sowie VO PM-Schrank (Leistungsmesserschrank) tragen.

Der Schaltschrank PPC Core kann sofern erforderlich im Turmfuß der WEA installiert werden. Die Schaltschränke PPC-Core und PPC-Extension können im Kontrollraum des Umspannwerks installiert werden.

Der Schrank PPC Core beinhaltet alle Funktionen des PPC Core, wie PC-Datenprotokollierung, Netzwerk-Switch, Prozessormodulsteuerung (CCU), Ethernet-Adapter, Option für Leistungsmesser (max. zwei), Option für Datenadapter und Netzmessungen. Er beinhaltet auch die SPS und die Kommunikationskarten als Option.

Bei PPC Extension handelt es sich um einen optionalen Schaltschrank, an den sich zusätzliche Leistungsmesser (max. zwei) sowie regelungslogikbasierte E/A-Module mit jeweils 32 digitalen Ein- und Ausgängen und jeweils 16 analogen Ein- und Ausgängen anschließen lassen.

Der Schrank des VO PM (Remote-Leistungsmesser) ist ein optionaler Schrank mit der Option, bis zu drei zusätzliche Leistungsmesser, einen Netzwerk-Switch, sowie Ethernet-Adapter mit digitalen und analogen Eingangs- und Ausgangsmodulen einzusetzen.

Nähere Einzelheiten hierzu finden sich in 7.1.2 Digitale Ein- und Ausgänge auf S. 28 sowie in 7.1.3 Analoge Ein- und Ausgänge auf S. 28.

5.3 Systemspezifikationen

Spezifikation	Ausführung	Erklärung
Max. Anzahl an WEA pro Schaltschrank	160	Steuerung von Vestas-Windenergieanlagen
USV-Kapazität (SCADA-USV)	mindestens 30 Minuten	bei voller Ladung
Kennzeichnung behördlicher Klassifizierungen	CE, UL (EU und USA)	

Tabelle 5-1: Systemspezifikationen

Elektrische Daten	
Eingangsnennspannung	230–240 V Wechselstrom, 50–60 Hz
Max. Energieverbrauch (PPC Core)	880 VA
Wärmeabgabe (max.) (PPC Core)	480 W (ohne Heizung)
Max. Energieverbrauch (PPC Extension)	240 VA

Elektrische Daten	
Wärmeabgabe (max.) (PPC Extension)	240 W
Max. Energieverbrauch (PPC VO PM)	840 VA
Wärmeabgabe (max.) (PPC VO PM)	480 W (ohne Heizung)

Tabelle 5-2: Elektrische Daten

Schaltschrank	
Schutzart	IP 54
Schrankzugang	Ein-Tür-Schränke Die externe Verdrahtung erfolgt durch den Schrankboden.
Höhe (H)	1080 mm (einschl. eines 72 mm hohen Sockels)
Breite (B)	624 mm
Tiefe (T)	432 mm
Bruttogewicht (max.)	92 kg (PPC Core Mk 5)
	81 kg (PPC Extension Mk 5)

Tabelle 5-3: Daten zum Schrank

Environment	
Betriebstemperatur	-30 bis 50 °C
Lagertemperatur	-40 bis 70 °C
Relative Luftfeuchtigkeit (nichtkondensierend)	5 bis 95 %

Tabelle 5-4: Daten zu den Umgebungsbedingungen

5.4 Regelungsschnittstellen

In diesem Abschnitt sind die verfügbaren Schnittstellen des PPC angegeben. Die fünf nachfolgend aufgeführten Schnittstellen sind in Anhang 7.1.1 - 7.1.5 spezifiziert.

- WEA-Schnittstelle
- Digitale Ein- und Ausgänge
- Analoge Ein- und Ausgänge
- Optionale Kommunikationsschnittstellen
- Systemschnittstelle für Stromnetzmessungen

5.5 Anforderungen an die Installation

Der PPC muss gemäß den von Vestas spezifizierten Anforderungen an Servergebäude [1] aufgestellt werden. Siehe Abschnitt 7.2 „Referenzen“ auf S. 29.

6 Systembeschreibung

Ein PPC besteht aus einem Schaltschrank mit Kommunikationseinrichtungen, Steuerungseinrichtungen, Stromversorgungen, Switch, E/A-Modulen, Datenlogger und Stromnetzmesseinrichtungen.

6.1 Projektspezifische Regelung

Das PPC-System ermöglicht eine projektspezifische Konfiguration von Logik und Regelung. Dazu gehören Sollwerte, Anstiegsraten, das Auslösen einer Umschaltung zwischen Regelungsmodi, zeitgesteuerte Regelung und dergleichen.

6.2 Datenprotokollierung

Der PPC ermöglicht die Protokollierung der Daten aus Vestas-Windenergieanlagen, Regelkreisen und Stromnetzereignissen. Die protokollierten Daten enthalten Informationen über die aktuelle Energieerzeugung der WEA, die Ist-Sollwerte und den Status der regelungsspezifischen Variablen. Diese Daten werden im 40-ms-Takt erfasst. Die protokollierten Daten werden 30 Tage lang gespeichert und können bei Bedarf für die PPC-Leistungsauswertung abgerufen werden. Der PPC bietet die Möglichkeit zur Transientenfehleraufzeichnung über das Stromnetzmessgerät für die nachgelagerte Fehleranalyse mit bis zu 1024 Abtastvorgängen pro Zyklus. Das System liefert und speichert nach seiner Auslösung kontinuierlich alle Netzwerkparameter.

6.3 Stromnetzmessungen

Der PPC bietet Stromnetz-Messfunktionen für die Messung von Spannung, Frequenz, Wirkleistung, Blindleistung und Leistungsfaktor. Das Stromnetzmessgerät verfügt über eine integrierte kontinuierliche Protokollierung aller Parameter, darunter Effektivwerte, Oberwellen, Wellenformen, Flicker, Frequenz und weitere Werte, über einen Zeitraum von 30 Tagen.

6.4 Externe Kommunikationsschnittstellen

Der PPC bietet die Möglichkeit zum Austausch von Steuersignalen (Sollwerten, Aktivierungssignalen, Absteuerungssignal usw.) zwischen VPP und externen Quellen. Die verfügbaren Schnittstellen sind in Anhang 7.1 angegeben.

7 Anhänge

7.1 Regelungsschnittstellen

7.1.1 Schnittstellen der Windenergieanlage

Der PPC unterstützt Regelungsfunktionen (TAB-Anforderungen) am PCC für die folgenden Plattformen und Mk-Versionen (alle neueren Markversionen sind ebenfalls kompatibel):

WEA-Bemessungswerte	Mk/Typ	Zur Verfügung stehende WEA-abhängige Regelungsfunktionen (netzseitige Anforderungen (TAB))		
		Wirkleistungs-(P-)Regelung	Blindleistungs-(Q-)Regelung	Fast Run-Back (FRB)
850 kW	N/A	•		
2 MW	1-6/VRCC	•		
2 MW	7, mit VCUS oder VCSS	•		•
3 MW	8, 9/VCS	•	•	
2 MW	7 mit VCS	•	•	•
2 MW	Alle/GridStreamer™	•	•	•
3.x/4.x MW	Alle/GridStreamer™	•	•	•

Tabelle 7-1: Schnittstellen der WEA

7.1.2 Digitale Ein- und Ausgänge

Der Schaltschrank PPC Core bietet 16 digitale Ein- und 8 digitale Ausgänge. 10 digitale Eingänge und 5 digitale Ausgänge stehen für den Nutzer externer Kommunikation zur Verfügung.

Option für den Schrank PPC Extension für projektspezifische Regelung:

- 32 Digitaleingänge
- 32 Digitalausgänge

Die E/A-Signale können auch zur Steuerung von oder Kommunikation mit externen Anlagen verwendet werden.

Der Schaltschrank VO PM bietet 16 digitale Eingänge und 8 digitale Ausgänge.

7.1.3 Analoge Ein- und Ausgänge

Der Schrank PPC Core bietet bis zu vier analoge Ein- und vier analoge Ausgänge (4–20 mA).

Option für den Schrank PPC Extension für projektspezifische Regelung:

- 16 Analogeingänge
- 16 analoge Ausgänge

Der Schrank VO PM bietet bis zu 4 analoge Eingänge und 4 analoge Ausgänge (4–20 mA).

7.1.4 Optionale Kommunikationsschnittstellen

Die folgenden optionalen Kommunikationskarten können mit dem Schrank PPC Core bestellt werden. Hierzu zählen auch von der IEC (Internationale Elektrotechnische Kommission) anerkannte Modbus-TCP/IP-Karten [3]:

- IEC 60870-5-101S Serial Slave
- IEC 60870-5-101M Serial Master
- IEC 60870-5-103M Serial Master
- IEC 60870-5-104, nur Ethernet-Server
- Modbus RTU/ASCII Serial Master/Slave
- Modbus TCP/IP Ethernet Master/Slave
- Modbus TCP/IP, nur Ethernet Master/Client
- DNP 3.0 Ethernet, nur Server/Slave
- DNP 3.0 Serial, Master/Slave

7.1.5 Systemschnittstelle für Stromnetzmessungen

Wird ein Leistungsmesser montiert, bietet der PPC elektrische Anschlüsse für die Messung der Ausgänge von externen Stromwandlern (3 CTs) und Spannungstransformatoren (3 VTs).

- Abtastrate: 1024 Samples/Zyklus
- RMS des Spannungsbereichs: 0 bis 1000 V (Transienten von bis zu 8 kV)
- RMS des Strombereichs: 0–10 A

7.2 Referenzen

Referenz-Nr.	Dok.-Nr.	Ausführung
[1]	/957800	Anforderungen an Servergebäude
[2]	0004-0929 V00	Richtlinien für elektrische Entwurfsstudien

Tabelle 8-2: Referenzen