

# AUSWIRKUNG DES CROWBAR-SCHUTZES AUF DAS LVRT-VERHALTEN VON DFIG-GENERATOREN

Darío LAFFERTE<sup>1</sup>

## Inhalt

Heutzutage sind gemäß den Netzanschlussregeln der Netzbetreiber Windkraftanlagen (WKA) im Falle eines durch Netzfehler verursachten Spannungseinbruches dazu verpflichtet, den Fehler zu durchfahren (LVRT-Fähigkeit), Blindleistung bereitzustellen und dadurch die Netzspannung zu stützen, in ähnlicher Form wie bei konventionellen Kraftwerken. LVRT ist eins der wichtigsten Themen bezüglich der Windkraftnetzintegration und des Betriebs von WKA in neuen Grid Codes. Doppelt gespeiste Asynchrongeneratoren (DFIG) sind derzeit einer der am häufigsten verwendeten Generatoren für WKA im Netzverbund und erfüllen die LVRT-Netzanschlussnormanforderungen. DFIG-Generatoren verfügen über eine sogenannte Crowbar, eine unerlässliche Schutzvorrichtung, die die Trennung des DFIG vom Netz im Fehlerfall vermeidet und das Umrichtersystem von Kurzschlussströmen schützt. In dieser Arbeit wird eine Analyse der Auswirkungen des Crowbar-Betriebs auf die LVRT-Fähigkeit von DFIG und Simulationsergebnisse präsentiert.

## Low Voltage Ride Through (LVRT)

LVRT ist eine der wichtigsten Anforderungen, die Netzbetreiber an WKA stellen, bezüglich deren Verhalten bei Spannungseinbrüchen aufgrund von Netzfehlern. Diese Anforderung schreibt vor, dass WKA bei Spannungseinbrüchen festgelegter Dauer und Tiefe nicht vom Netz getrennt werden dürfen, sondern sie sollen den Fehler durchfahren und aktiv die Spannung während und nach dem Fehler durch die Einspeisung vom Blindstrom stützen, so wie es bei konventionellen Kraftwerken der Fall ist. Die Trennung von WKA in Netzen mit einem hohen Anteil an Windkraft kann die Systemstabilität gefährden. Die gleichzeitige Trennung von WKA während eines Spannungseinbruches verstärkt die Absenkung der Spannung und kann zu einem Spannungskollaps führen [1]. Außerdem kann der Verlust an Einspeiseleistung zu einem Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch führen und somit zu Frequenzstabilitätsprobleme [1]. Abb. 1 zeigt einen Vergleich der Anforderungen verschiedener Grid Codes bezüglich des geforderten Durchfahrens von durch Netzfehler verursachten Spannungseinbrüchen.

## Doppelt gespeiste Asynchrongeneratoren (DFIG)

DFIG-Generatoren sind eine führende WKA-Technologie und haben sich als eine kosteneffektive drehzahlvariable WKA-Alternative erwiesen. Der Ständer ist direkt mit dem Netz gekoppelt während der Läufer mittels eines IGBT-basierten bidirektionalen Teilumrichters mit dem Netz verbunden ist. Der Teilumrichter besteht aus dem rotorseitigen Umrichter (RSU), einem Spannungszwischenkreis (DC-link) und dem netzseitigen Umrichter (NSU). Durch den Teilumrichter lässt sich die Erregung des Generators steuern und es wird ein induktiver und kapazitiver Blindleistungsfluss ermöglicht. Der RSU regelt die Wirk- und Blindleistung durch die Steuerung der Rotorströme. Der NSU regelt die Zwischenkreisspannung und den Leistungsfluss des Rotors mit dem Netz. Die Crowbar-Einrichtung ist an die Rotorklemmen angeschlossen. Eine ausführliche Modellierung von DFIG-basierten WKA ist in den folgenden Quellen zu finden [3,4]. Abb. 2 zeigt eine schematische Darstellung einer WKA mit DFIG. Abb. 3 zeigt den über- und untererregten DFIG-Betrieb.

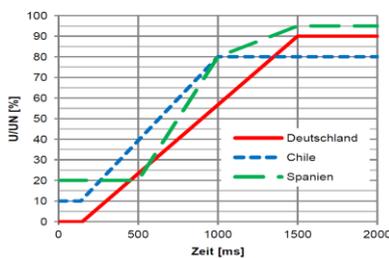
## Crowbar-Schutz in DFIG-Generatoren

Das Crowbar-Schutzsystem wird an die Rotorklemmen angeschlossen. Falls eine regelwidrige Situation detektiert wird, wie z.B. Rotorüberströme, Überspannungen im Zwischenkreis oder eine niedrige Ständerspannung, wird der Rotorstrom in das Crowbar-System umgeleitet und der RSU wird dementsprechend getrennt. Dies hat zur Folge, dass die Leistungsflüsse zwischen DFIG und Netz nicht geregelt werden können. Da der NSU mit den Wicklungen des Generators nicht direkt gekoppelt ist, kann der NSU in Betrieb bleiben.

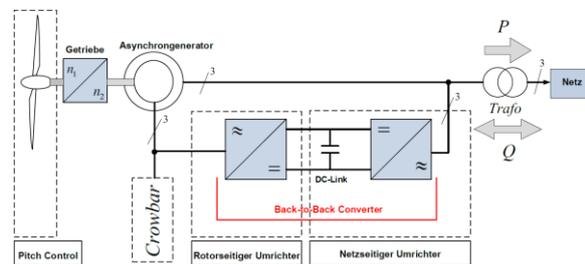
---

<sup>1</sup> Universität Kassel, Energiemanagement und Betrieb elektrischer Netze, Wilhelmshöher Allee 73, 34121 Kassel, Tel.: +49 561-8046653, [dario.lafferte@uni-kassel.de](mailto:dario.lafferte@uni-kassel.de), [www.e2n.uni-kassel.de](http://www.e2n.uni-kassel.de)

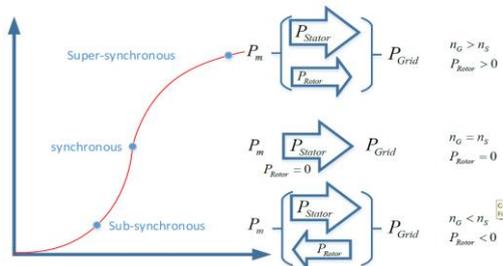
Dadurch besteht die Möglichkeit, dass dieser während der Crowbar-Anwendung als STATCOM benutzt werden kann und im Rahmen seiner Möglichkeiten Blindleistung bereitstellt [5]. Im Kurzschlussfall werden massive Überströme ausgelöst, die nicht mehr kontrolliert werden können, da die induzierten Leiter-Leiter-Spannungen die Zwischenkreisspannung des NSU überschreiten können. Dann werden die rückwärts leitenden Schalter des RSU unkontrollierbar. Eine übliche und angewendete Methode als Crowbar-System ist ein 3-poliger Kurzschließer mit einem bestimmten Serienwiderstand. Auf diese Weise werden die induzierten Überströme an den Anschlussklemmen des Umrichters vorbei in ein Crowbar-Widerstandssystem umgeleitet, um den RSU vor einer Beschädigung oder Zerstörung zu bewahren. Aktuelle WKA benutzen daher eine „aktive Crowbar“, in der die Auslösung und die Abschaltung aktiv kontrolliert werden können. Daher ist es möglich, die Ein- und Ausschaltzeiten der Crowbar zu steuern bzw. zu optimieren, um die Totzeit minimieren zu können. Die Abb. 4 zeigt das Durchfahren eines durch einen dreipoligen Kurzschluss verursachten Spannungseinbruchs für eine konventionelle und eine aktive Crowbar und deren Effekt bei der Spannungsanhebung während des Fehlers. In der Endversion dieses Beitrages wird die Auswirkung auf die Rotorströme und die Klemmenspannung von DFIG-basierten WKA im Netzverbund von verschiedenen Ein- und Ausschaltzeiten und unterschiedlichen Widerstandswerte eines Crowbar-Schutzes in DigSILENT PowerFactory simuliert.



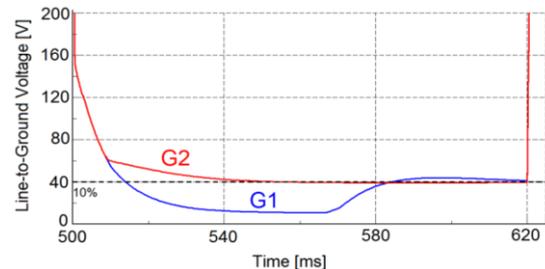
**Abbildung 1: Anforderung in Bezug auf das Durchfahren von Spannungseinbrüchen bei Netzfehlern in verschiedenen Ländern; Daten aus [1,2].**



**Abbildung 2: Schematische Darstellung einer DFIG-basierte WKA.**



**Abbildung 3: Betrieb eines DFIG-Generators.**



**Abbildung 4: Spannung an den Klemmen der Generatoren G1 (mit konventioneller Crowbar) und G2 (mit aktiver Crowbar).**

## Literatur

- [1] C. Sourkounis, P. Tourou, "Grid code requirements for wind power integration in Europe. Conference Papers in Energy," vol. 2013, Article ID 437674, 9 pages, 2013.
- [2] Chileneische Enegiekommission (CNE), "Norma técnica de seguridad y calidad de servicio (chileneische Netzanschlussregeln)," Santiago de Chile, Nov. 2014.
- [3] V. Akhmatov, "Induction generators for wind power," Multi-Science Publishing Co. Ltd., UK 2005.
- [4] G. Abad, J. López, M. Rodríguez, L. Marroyo, G. Iwanski, "Doubly fed induction machine – modeling and control for wind energy generation," IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011.
- [5] A. Hansen, G. Michalke, P. Sørensen, T. Lund, "Co-ordinated voltage control of DFIG wind turbines in uninterrupted operation during grid faults," John Wiley & Sons, Wind Energy, vol. 10, issue 1, S. 51-68, Feb. 2007.