

# LVRT

## Low Voltage Ride-Through



J. Dirksen; DEWI GmbH, Wilhelmshaven

ENGLISH - DEUTSCH

### Introduction

Grid stability and security of supply are two important aspects for energy supply. In order to avoid power outages it is necessary that power generating plants should have control capabilities and protection mechanisms. In the past, these requirements were mainly fulfilled by conventional power plants. In the meantime, however, the share of renewable energy sources in the total electricity generation has become so significant that these sources too must contribute to the grid stability. Therefore the transmission system operators have established so-called grid codes with certain critical values and control characteristics that the generating plants have to fulfill. An important part of these requirements is the so-called LVRT capability of generating plants. But what exactly does this term mean?

LVRT is short for Low Voltage Ride-Through and describes the requirement that generating plants must continue to operate through short periods of low grid voltage and not disconnect from the grid.

Short-term voltage dips may occur, for example, when large loads are connected to the grid or as a result of grid faults like lightning strikes or short-circuits. In the past, renewable generating plants such as wind turbines were allowed

### Einleitung

Für die Energieversorgung sind Netzstabilität und Versorgungssicherheit zwei wichtige Aspekte. Um Stromausfälle zu vermeiden ist es notwendig, dass Stromerzeuger über Regelfähigkeiten und Schutzmechanismen verfügen. Früher waren es vor allem konventionelle Kraftwerke, die diese Eigenschaften besaßen. Doch mittlerweile erreichen regenerative Erzeugungsanlagen einen nennenswerten Anteil an der Gesamtstromerzeugung, so dass auch diese zur Netzstabilität beitragen müssen. Vor allem die Netzbetreiber fordern durch sogenannte Grid Codes (Netzanschlussregeln) die Einhaltung bestimmter Grenzwerte und Regeleigenschaften. Bedeutsam im Rahmen dieser Vorgaben ist die sogenannte LVRT-Fähigkeit von Erzeugungsanlagen. Doch was genau verbirgt sich hinter diesem Begriff? Die Abkürzung LVRT steht für Low Voltage Ride-Through und bedeutet so viel wie Unterspannung durchfahren. Hierbei geht es um die Anforderung, dass Erzeugungsanlagen bei einer kurzzeitigen Spannungsabsenkung am Netz bleiben und nicht abgeschaltet werden.

Kurzzeitige Spannungseinbrüche können zum Beispiel, infolge von Netzfehlern, wie Blitzeinschläge oder Kurzschlüsse auftreten. In früheren Tagen durften sich die regene-



Fig. 1: Example of the results of a voltage drop test

Abb. 1: Beispiel der Ergebnisse eines Spannungseinbruchtests.

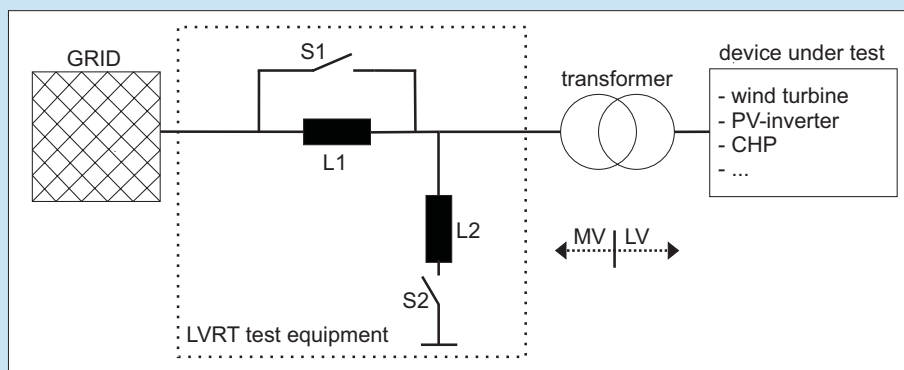


Fig. 2: Test equipment for the simulation of voltage dips

Abb. 2: Prüfeinrichtung zur Simulation der Spannungseinbrüche

to disconnect from the grid during such a fault and try to reconnect after a certain period of time. Today, because of the significant share of renewables, such a procedure would be fatal. If too many generating plants disconnect at the same time the complete network could break down, a scenario which is also called a “blackout”. For this reason the LVRT requirement has been established which is meant to guarantee that the generating plants stay connected to the grid. Additionally many grid codes demand that the grid should be supported during voltage drops. Generating plants can support the grid by feeding reactive current into the network and so raise the voltage. Immediately after fault clearance, the active power output must be increased again to the value prior to the occurrence of the fault within a specified period of time.

These requirements which at the beginning only applied to wind turbines, now also have to be fulfilled by photovoltaic systems (PV) and most recently, by combined heat-and-power plants (CHP).

Fig. 1 shows the result of a voltage drop test at a PV system. In this diagram the voltage drops to about 20% of the nominal voltage for a time of approx. 550ms. The PV inverter recognizes the voltage drop and feeds a reactive current of approx. 100% of the nominal voltage into the system for

rativen Erzeuger, wie zum Beispiel Windenergieanlagen, bei solch einer Störung vom Netz trennen und versuchen nach einer festgelegten Zeit wieder zuzuschalten. Heute wäre dieses Verfahren, auf Grund des relevanten Anteils erneuerbarer Energien, fatal. Schalten sich zu viele Erzeuger gleichzeitig ab, kann das komplette Netz zusammenbrechen, bei diesem Szenario spricht man auch von einem sogenannten „Blackout“. Deswegen gibt es die LVRT Anforderung, die den Verbleib der Anlagen am Netz garantieren soll. Darüber hinausgehend fordern viele Grid Codes, dass das Netz während Spannungseinbrüchen gestützt wird. Dazu sollen die Erzeugungsanlagen für die Dauer des Fehlers einen Blindstrom einspeisen, der bewirkt, dass die Spannung angehoben wird. Zudem muss die Wirkleistung unmittelbar nach Fehlerklärung, innerhalb einer festgelegten Zeit, bis zu dem Vorgefaherwert gesteigert werden.

Galten diese Anforderungen anfangs nur für Windenergieanlagen, so sind jetzt auch Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) und seit neustem auch Blockheizkraftwerke (BHKW) in der Verpflichtung dieser Vorschrift nachzukommen.

Die Abb. 1 zeigt das Ergebnis eines Spannungseinbruchtests an einer PV-Anlage. Hier ist zu sehen, wie die Spannung auf ca. 20% der Nennspannung einbricht, die Dauer des Einbruchs ist ca. 550ms. Der PV-Inverter erkennt den

the duration of the fault in order to support the grid. After fault clearance the active power output is increased to the value prior to the occurrence of the fault within 160ms. Before a generating plant can be connected to the grid, the transmission system operator normally requires a certificate. One of the certification requirements is the measurement of electrical characteristics which includes a test of the LVRT capability. This test is carried out by an independent measuring institute. During the test, voltage dips are simulated and the behavior of the plant is measured and evaluated. The results are documented in a test report which together with other reports forms the basis for certification. Such measurements are not required for every single plant, because normally only the prototypes of a product series are tested. Combined heat and power plants (CHP) are often grouped in so-called families of plant types with similar rated power. Since the major electrical components are identical in these plants it is sufficient to test one CHP (from the medium range of power) representative for the family.

### Simulation of voltage dips

The simulation of voltage dips requires a special technology. Most grid codes and guidelines have specific requirements for the test equipment. According to the international standard for the measurement of power quality characteristics of wind turbines (IEC 61400-21) for example, an inductive voltage divider is recommended which is to be connected ahead of the plant to be tested (see Fig. 2).

This voltage divider consists of a longitudinal impedance (coil) L1 and a short-circuit impedance L2. The figure shows a simplified view of the test equipment. The impedances L1 and L2 can consist of several coils each (series and parallel connection). By changing the ratio L1 to L2 the depth of the voltage dip can be configured. Depending on the respective grid code, different depths of voltage dips have to be simulated, for wind turbines usually dips to <5%, 25%, 50% and 75% of the rated voltage are required. The duration of the dip depends on the depth and ranges from several hundred milliseconds (deep dips) to several seconds (flat dips). In some cases the duration can also be extended to several minutes. German and international guidelines demand the simulation of three-phase as well as two-phase faults. In England, guidelines additionally demand one-phase faults against earth.

The test system is normally stored in especially equipped standard sea containers and mainly contains the coils and switching devices. Large-size test systems (for generating plants in the multi-megawatt range), often require two or more 40-foot containers. The mobile test system can thus be transported to the respective test site for free-field measurements. PV systems are often tested in the laboratory where the LVRT test system is normally part of the test facility. In cases, however, where manufacturers do not have their own test facility, mobile test containers are used instead.

As an independent measuring institute, DEWI GmbH has already been testing the LVRT capability of generating plants for several years. These certification measurements were carried out on wind turbines and PV inverters, using mostly customers' own test facilities. Since very recently, DEWI

Einbruch und speist während des Fehlers einen Blindstrom von ca. 100% des Nennstroms ein, um das Netz zu stützen. Die Wirkleistung wird nach Fehlerklärung innerhalb von ca. 160ms auf den Vorfehlerwert gesteigert.

Für den Anschluss einer Erzeugungsanlage an das Versorgungsnetz, fordert der Netzbetreiber in der Regel ein Zertifikat. Bestandteil dieser Zertifizierungsanforderung ist auch der Nachweis der elektrischen Eigenschaften, wozu unter anderem die Überprüfung der LVRT-Fähigkeit zählt. Diese Prüfung wird durch ein unabhängiges Messinstitut durchgeführt. Die Spannungseinbrüche werden hierbei simuliert und das Verhalten der Anlage wird gemessen und ausgewertet. Die Ergebnisse werden in einem Prüfbericht dokumentiert, welcher dann zusammen mit weiteren Berichten Grundlage für die Zertifizierung ist. Diese Vermessung ist nicht für jede einzelne Anlage erforderlich, in der Regel werden nur die Prototypen einer Produktserie geprüft. Bei der Vermessung von BHKW gibt es desweiteren die sogenannte Familienbildung, bei der Anlagentypen mit gering abweichender Nennleistung zusammengefasst werden können. Die wesentlichen elektrischen Komponenten sind bei diesen Anlagen identisch, so dass ein BHKW (aus dem mittleren Leistungsbereich) stellvertretend für die Familie vermessen und geprüft wird.

### Simulation der Spannungseinbrüche

Um die Spannungseinbrüche zu simulieren, ist spezielle Technik erforderlich. Die meisten Grid Codes und Richtlinien stellen bestimmte Anforderungen an die Prüfeinrichtung. Nach der internationalen Richtlinie für die elektrische Vermessung von Windenergieanlagen (IEC 61400-21) zum Beispiel, wird ein induktiver Spannungsteiler empfohlen, der vor die zu prüfende Anlage geschaltet wird (siehe Abb. 2).

Dieser Spannungsteiler besteht aus einer Längsimpedanz (Spule) L1 und einer Kurzschlussimpedanz L2. Diese Abbildung ist lediglich eine vereinfachte Darstellung der Prüfeinrichtung. Die Impedanzen L1 und L2 können wiederum aus mehreren Spulen zusammengesetzt sein (Serien-, und Parallelschaltung). Durch das Verhältnis von L1 zu L2 lässt sich die Einbruchtiefe konfigurieren. Bedingt durch den jeweiligen Grid Code müssen unterschiedliche Einbruchstiefen simuliert werden, für Windenergieanlagen werden oftmals Einbrüche auf <5%, 25%, 50% und 75% der Nennspannung gefordert. Die Einbruchzeiten hängen mit den Einbruchstiefen zusammen und reichen von wenigen hundert Millisekunden (tiefe Einbrüche) bis einige Sekunden (geringe Einbruchstiefe). In seltenen Fällen, ist auch eine Zeitdauer von mehreren Minuten erforderlich. Nach deutschen und internationalen Auflagen, müssen sowohl dreiphasige als auch zweiphasige Fehler simuliert werden. In England sind zudem einphasige Fehler gegen Erde gefordert.

Die Einbruchstechnik wird meistens in Standard Seecontainern untergebracht. Diese werden als Prüfeinrichtung umgebaut und beinhalten im Wesentlichen die Spulen und Schaltanlagen. Größere Testsysteme (für Anlagenleistungen im Multimegawatt-Bereich), benötigen oftmals zwei oder mehrere 40 Fuß Container. Auf diese Weise ist die Prüfeinrichtung transportabel und kann für Freifeldmessungen zum jeweiligen Testfeld transportiert werden. PV-Anlagen





Fig. 3: LVRT test system for 3.5MVA  
Abb. 3: LVRT-Prüfeinrichtung 3.5MVA



Fig. 4: 3.5MVA test system – A DEWI employee carries out switching operation in the test container.  
Abb. 4: 3.5MVA-Testsystem - Ein DEWI Mitarbeiter führt Schalthandlungen im Test-Container durch.



Fig. 5: 3.5MVA test system – voltage dips are generated by pressing a button  
Abb. 5: 3.5MVA-Testsystem - Per Knopfdruck werden die Einbrüche erzeugt.

is also able to perform fault ride-through tests with own test systems. These consist of a smaller system for testing generating plants up to 3.5MVA, in grids up to 20kV, and a large system for testing plants up to 10MVA, in grids up to 35kV. Both systems are based on the principle of the inductive voltage divider. The following picture (Fig. 3) shows the 3.5MVA test system.

The 3.5MVA test system is installed in a standard 40-feet container, the larger 10MVA system requires two 40 ft containers. Both systems are mobile and are provided with a CSC certificate allowing them to be transported by ship. A special feature of the 3.5MVA system is that changes / re-configurations of the coils during the measuring campaigns are not necessary because the dip depths can be adjusted conveniently by a switch.

The larger test system is also well equipped for future requirements because by means of an additional module it will be possible in future also to simulate so-called HVRT tests (overvoltage tests). Currently this requirement is discussed for the next revision of the IEC 61400-21.

The first projects with DEWI's own test container have already been completed successfully. At present combined heat and power plants (CHP) are tested for the German market according to FGW TR3.

DEWI GmbH is accredited by the German accreditation body „Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS)“, according to DIN EN ISO/IEC 17025:2005 for the service described in this article. DEWI GmbH is also approved for this service by Measnet and FGW (FGW conformity).

Other terms frequently used and describing the same subject are: FRT (Fault-Ride-Through), response to voltage drops, performance in case of voltage dips, voltage-dip-tests, transient stability, network faults, voltage drops, performance during network disturbances, and behavior during network disturbances.

werden hingegen oftmals im Labor vermessen, hier ist die Prüfeinrichtung häufig Bestandteil des Teststandes. Doch gerade wenn dem Hersteller kein eigener Teststand und keine Prüfeinrichtung zur Verfügung stehen, werden auch hier mobile Prüfcontainer eingesetzt.

Die DEWI GmbH prüft als unabhängiges Messinstitut schon seit einigen Jahren erfolgreich die LVRT-Fähigkeit von Erzeugungsanlagen. Die Zertifizierungsmessungen wurden an Windenergieanlagen und PV-Wechselrichter durchgeführt, hierbei konnte vor allem auf kundeneigene Prüfeinrichtungen zurückgegriffen werden. Seit neustem ist die DEWI GmbH auch in der Lage, mit eigenen Testsystemen Spannungseinbruchsmessungen durchzuführen. Hierbei handelt es sich um eine kleinere Testeinrichtung, mit der Anlagen mit einer Leistung bis 3.5MVA, an Netzen bis 20kV getestet werden können und einem größeren Testsystem für Anlagen bis 10MVA, an Netzen bis 35kV. Beide Systeme beruhen auf dem Prinzip des induktiven Spannungsteilers. Das folgende Bild (Abb. 3) zeigt das 3.5MVA Testsystem.

Die 3.5MVA Prüfeinrichtung ist in einem Standard 40 Fuß Container untergebracht, das größere 10MVA System benötigt zwei 40 Fuß Container. Beide Systeme sind transportabel und haben sogar ein CSC Zertifikat, wodurch die Container verschifft werden können. Eine Besonderheit weist das 3.5MVA System auf, hier sind während der Messkampagne keine Umbauten an den Spulen nötig, die Einbruchstiefen können komfortabel durch einen Schalter eingestellt werden.

Auch für zukünftige Anforderungen ist das größere Testsystem gut gerüstet, durch ein Zusatzmodul können in Zukunft auch sogenannte HVRT-Tests (Überspannungstests) simuliert werden. Aktuell wird diese Anforderung für die nächste Revision der IEC 61400-21 diskutiert.

Die DEWI GmbH hat bereits erste Projekte mit eigenem Prüfcontainer erfolgreich durchgeführt. Zurzeit werden Blockheizkraftwerke (BHKW) für den deutschen Markt nach FGW TR3 vermessen.

Die DEWI GmbH ist durch die „Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS)“, gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2005 für die hier beschriebene Dienstleistung akkreditiert. Weiterhin ist die DEWI GmbH für diese Dienstleistung durch Measnet und FGW (FGW Konformität) geprüft.

Weitere Begriffe, die das gleiche Thema umschreiben und häufig Verwendung finden sind: FRT (Fault-Ride-Through), response to voltage drops, performance in case of voltage dips, voltage-dip-tests, transient stability, network faults, voltage drops, performance during network disturbances, behavior during network disturbances und Spannungseinbruchsmessungen.

#### References / Literaturverzeichnis:

- [1] Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen, Teil 3 (TR3): Bestimmung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz; Rev. 23; Stand: 01.05.2013; Herausgeber: Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien (FGW e.V.)
- [2] IEC 61400-21: Wind turbines – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines; Edition 2.0 2008-08