

# Zuverlässiger Ökostrom

Schwingungsprüfung zur Validierung von Design-  
verbesserungen an elektrotechnischen Komponenten  
von Konvertermodulen für die Hochspannungs-  
Gleichstrom-Übertragung



## Einführung

Offshore-Windparks liegen, wie auch Bohrplattformen, oft mehr als 50 km von der Küste entfernt. Mit dem Festlandnetz werden sie bei größeren Entfernungen über Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssysteme verbunden.

Solche Systeme und ihre Komponenten, die extreme Anforderungen an Zuverlässigkeit und eine Standzeit von 30 Jahren erfüllen müssen, liefert Siemens Energy als Leistungs-Anschluss für Offshore-Windparks. Dabei wird seeseitig die elektrische Energie der zahlreichen Windgeneratoren in einem lokalen Drehstromnetz „gesammelt“, über einen Stromrichter – ein Synonym für Konverter – in Gleichstrom umgewandelt und mittels Seekabel an Land transportiert, um dort wiederum von einem Stromrichter in Drehstrom umgewandelt und in das Hochspannungsnetz eingespeist zu werden.

Im Betrieb sind die technischen Systeme verschiedenen Belastungen ausgesetzt. Beispielsweise entstehen mechanische Schwingungen der Konverterkonstruktion aus deren Stromrichterfunktion heraus. Der elektrische Strom erzeugt mechanische Kräfte, die Schwingungen hervorrufen und Eigenformen der Konstruktion anregen können. Die Kenntnis dieser Beanspruchung erlaubt ein gezieltes Design zur sicheren Vermeidung von Überbeanspruchung der Komponenten.

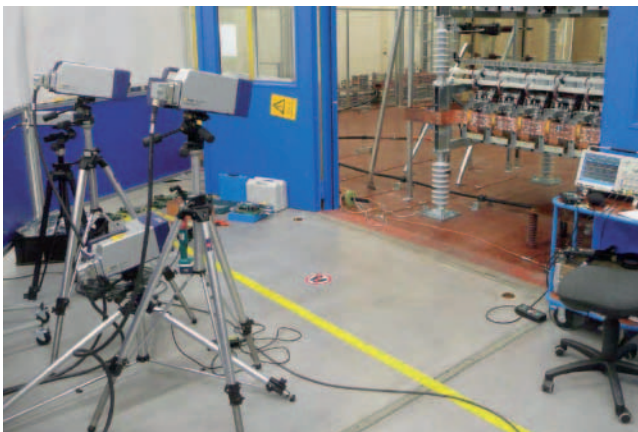
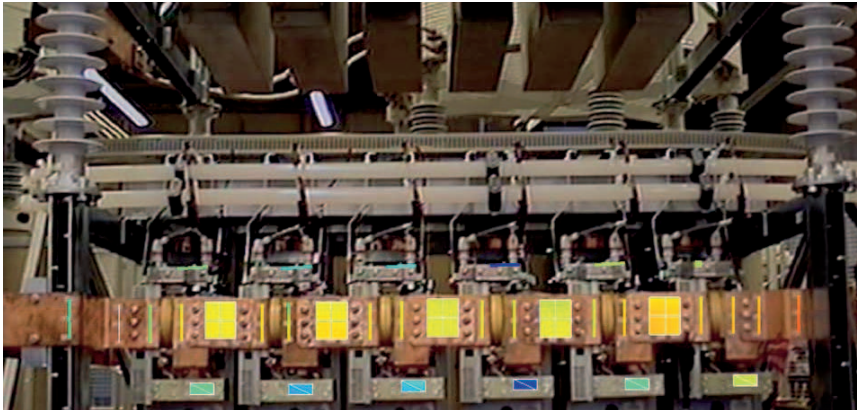


Bild 1: HVDC-Versuchsanlage, Messaufbau an der Vorderseite



Bild 2: HVDC-Versuchsanlage, Messaufbau für die Rückseite



**Bild 3:** Schwingformen auf den Halbleitermodulen an der Vorderseite des Konverters

Die Bestimmung der Eigenformen ermöglicht gezielte konstruktive Verbesserungen, deren Erfolg anschließend durch Schwingungstests praktisch überprüft werden kann.

#### Experimenteller Aufbau

Die an einem Konvertermodul im Betrieb auftretenden Schwingungen wurden mittels eines PSV-400-3D Scanning Vibrometers gemessen. Das Modul steht in einer Versuchsanlage, die vom öffentlichen Netz gespeist wird, und funktioniert als „Miniaturabbildung“ nach den Gesetzmäßigkeiten des Originals (Bilder 1 und 2). Wegen der betrieblichen hohen elektrischen Spannungen wurden die Messgeräte außerhalb des Testfeldes aufgebaut. Lediglich die Messköpfe wurden innerhalb des Feldes am eigentlichen Messobjekt positioniert. Als Referenzsensor wurde ein OFV-505/5000 Einpunkt-Vibrometer verwendet, dessen Messsignal via BNC-Kabel an das Data Management System (DMS) geführt wurde. Das Referenzsignal erlaubt eine nachträgliche Kombination von zeitlich versetzten Messungen aus unterschiedlichen Richtungen.

#### Vorversuche

In einer ersten Versuchsreihe wurden die Schwingungseigenschaften ausgewählter Komponenten untersucht. Von Interesse waren verschiedene Positionen des mecha-

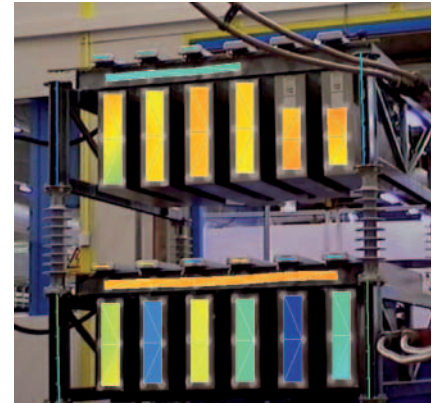
nischen Aufbaus. Im Vorfeld der Entwicklung waren Belastungsspektren zur Qualifizierung zu ermitteln.

Die Messungen erfolgten bei unterschiedlichen Lasten bis zur Vollast und verschiedenen Betriebsfällen. Insgesamt ergaben sich mit Einrichten und Bestimmen des Rauschpegels ca. 20 Messungen, die jeweils 10 Minuten dauerten. Es wurden jeweils 52 Messpunkte bei 800 Hz Bandbreite, 1 Hz Auflösung und 10 Mittelungen gemessen (komplex, d. h. Real- und Imaginärteil).

#### Validierungsexperiment

Eine weitere Messkampagne hatte dann die Validierung schwingungstechnisch verbesserter Konvertermodule, bestehend aus sechs Powermodulen mit deren zugehörigen Leistungskondensatoren, zum Ziel. Der gesamte Block wurde zunächst von vorne und im Originalzustand bei verschiedenen Stromlasten gemessen (Bild 3). Danach erfolgten ein systematischer Austausch verschiedener Komponenten und weitere Messungen. Zu einem späteren Zeitpunkt wurden zusätzlich Messungen auf der Rückseite des Konverters durchgeführt (Bild 4).

Als großer Vorteil erwies sich hier die Möglichkeit, die Daten beider Messungen an Vorder- und Rückseite nachträglich zur Visualisierung zusammenzuführen und so ein Gesamtbild von den Schwingungseigenschaften des Systems zu erhalten.



**Bild 4:** Schwingformen des Konverters, gemessen auf der Rückseite der Leistungskondensatoren

#### Schlussfolgerungen und Ausblick

Messungen mit dem 3D-Scanning Vibrometer erlauben eine schnelle und großflächige Bestimmung von Eigenformen an kritischen Komponenten von Konvertermodulen. Der Kunde war mit der Messdienstleistung und dem verwendeten System, insbesondere der PSV Software wegen der einfachen Bedienung und Visualisierung, sehr zufrieden. Neben der Verbesserung der Sicherheit des Designs gegen Ausfall in Bezug auf Betriebsfrequenzen lassen sich auch Eigenschwingungen der Gesamtanlage im Hz-Bereich bestimmen, die beispielsweise für eine Erdbebensimulation von Bedeutung sein können. Zu diesem Zweck kann vom Polytec-System mittels Schnittstelle zur Sollwertvorgabe ein hinreichend großer Schwingtisch oder Shaker angesteuert werden, der die für eine stationäre Messung des komplexen Bewegungsspektrums erforderliche Frequenzen generiert. Die hier gezeigte 3D-Scanning Vibrometer-Messeinrichtung kann damit die Bewegung des Systems abtasten und letztlich die Bewegungsformen und mögliche Resonanzstellen visualisieren.

#### Autor · Kontakt

Dr. Torsten Stoltze  
[torsten.stoltze@siemens.com](mailto:torsten.stoltze@siemens.com)  
 Siemens AG, Energy Sector,  
 Power Transmission Division  
 D-90459 Nürnberg