

MS-Anlagen auf hohem technischen Niveau

H. Kabisch, Berlin

Der eingeleitete Wandel des europäischen Stromversorgungssystems betrifft nicht zuletzt die Mittelspannungsebene. Beispielsweise wird sie in wenigen Jahren als Sammelschiene für Windstrom in Nord- und Ostsee eine weitere wichtige Rolle bei der Stromerzeugung übernehmen. Auch die Photovoltaik wird immer öfter Strom nicht nur in das NS-Netz einspeisen. Darüber hinaus können moderne Großantriebe und Kurzschlussstrombegrenzer einen wachsenden Beitrag zur Kostendämpfung leisten.

1 Mittelspannung in Offshore-Anlagen

Ein zunehmender Mangel an ertragreichen Windenergiestandorten hat das stürmische Wachstum der Windkraftnutzung in Deutschland in jüngster Zeit vorübergehend gebremst. Immerhin: Bis Ende September waren 14647 Windkraftanlagen (WKA) mit einer Gesamtleistung von 13404 MW in das Stromnetz eingebunden. Verstärkt werden ältere und damit leistungsschwächere Altanlagen durch neue WKA der MW-Klasse ersetzt.

Um die politischen Ziele zur stärkeren Nutzung erneuerbarer Energiequellen dennoch zu erfüllen, konzentrieren sich die Hersteller vermehrt auf die Erschließung des Offshore-Bereichs in Nord- und Ostsee, d. h. auf die Nutzung des den deutschen Küsten vorgelagerten Flachwasserbereichs (Wassertiefe 40 m bis max. 60 m). Verbunden damit ist die Entwicklung von leistungstärkeren und robusteren WKA sowie die Suche nach windstarken Standorten, die weder Umwelt noch Schiffsverkehr

beeinträchtigen. 2003 waren 25 Windparks in der Nord- und weitere sechs in der Ostsee mit einer Gesamtleistung von etwa 27000 MW ausgewählt und Gegenstand intensiver Vorarbeiten. Erste Projekte sind bereits genehmigt.

Insgesamt wurden in den letzten Jahren die Voraussetzungen geschaffen, um noch in diesem Jahrzehnt auch an Deutschlands Küsten einzelne Offshore-Anlagen zu errichten. Während die ersten Pilotanlagen mit 3 bis 4 MW leistenden WKA bestückt werden, kommen danach die zurzeit noch an Land getesteten 5-MW-Einheiten zum Einsatz.

Kern dieser Offshore-Anlagen sind in der Regel Windparks mit mehreren WKA, die ähnlich wie in Onshore-Windparks über ein internes Mittelspannungssystem zu einem virtuellen Kraftwerk vernetzt sind – wenn auch hier über Seekabel. Jede WKA wird über ein spezielles Fundament im Meeresboden verankert. Eine ganze Flotte von Spezialschiffen übernimmt Transport, Montage und Verkabelung. Um die WKA montieren und später auch warten sowie reparieren zu können, besitzen sie spezielle Einrichtungen, mit deren Hilfe Material, Werkzeuge und Personal über Schiff oder Helikopter „angelandet“ werden. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, liegt die Leistung der geplanten Windparks weitgehend über dem

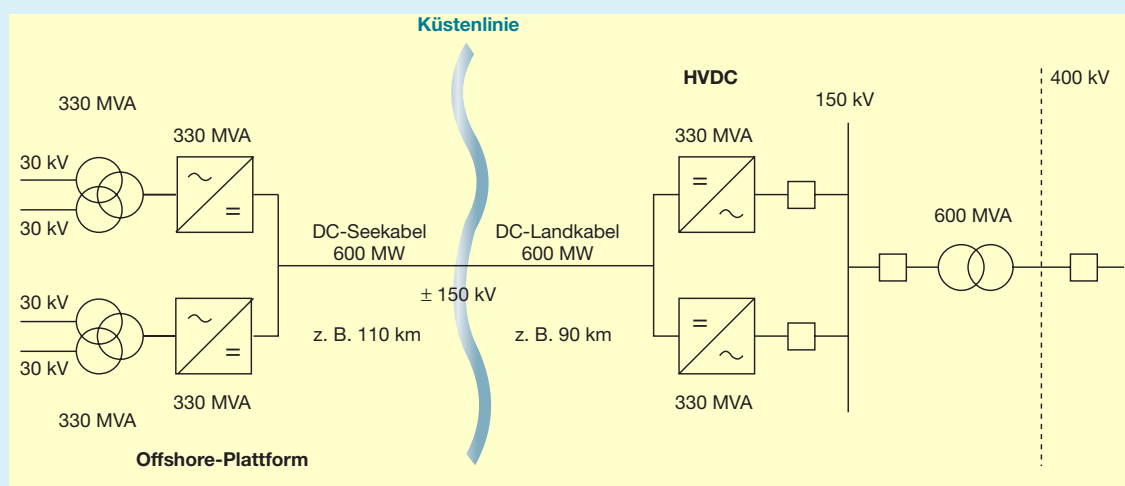
unteren Grenzbereich von 200 bis 400 MW. Der leistungsstärkste wird im Nordseebereich „Sandbank 24“ (30 bis 40 m Wassertiefe) entstehen und konkurriert mit seinen 4900 MW mit Großkraftwerken im europäischen Verbundnetz. Das bedeutet den Einsatz von 980 5-MW-WKA, die zur Vermeidung gegenseitiger aerodynamischer Beeinflussung in einem Abstand von 700 m installiert werden. Damit entsteht ein Windpark mit einer Fläche von annähernd 400 km². Bestandteil dieser Windparks sind Mittelspannungsschaltanlagen, die auf Offshore-Plattformen im Meer platziert werden. Zur Auswahl stehen firmenspezifische Systeme im Spannungsbereich von etwa 13,5 bis 36 kV. Die Anordnung wird so gewählt, dass der Aufwand für Kabel und Kabelanschluss minimiert werden kann. Beispielsweise gibt es Stickleit zum Anschluss von fünf WKA, Ringkonzepte für zehn WKA und vermaschte Verkabelungen. Die über das interne Netz gesammelte Energie wird zwecks Energieübertragung in das örtliche Netz zunächst in AC 150 kV oder DC ± 150 kV gewandelt.

2 Gleichstromübertragung für große Windparks

Bild 1 zeigt die Übertragung der erzeugten Energie auf das Festland mit hochgespanntem Gleichstrom über Seekabel und die Energieeinspeisung in das deutsche 380-kV-Hochspannungsnetz. Kennzeichnend für dieses System sind die auf der Plattform und an Land installierten Gleich- und Wechselrichter für DC ± 150 kV. Dieses System schafft erhebliche Freiräume beispielsweise für das interne Mittelspannungsnetz. So kann im Windparknetz auch die Frequenz (beispielsweise im Bereich von 40 bis 60 Hz) frei gewählt werden. Dabei verringern niedrige Frequenzen die Verluste in dem ausgedehnten Windenergiekabelnetz. Andererseits verringern höhere Frequenzen die Baugrößen und damit Kosten der Windenergie – wie die der Stations- und der WKA-Transformatoren [1].

Autor

Dipl.-Ing. Helmut Kabisch ist freier Fachjournalist, Berlin.



1 Energieübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom (HVDC) beginnend bei der Zuführung der Windkraft über das interne 30-kV-System bis zur Ankopplung an das 400-kV-Verbusystem

Quelle: VDE

Sind größere elektrische Leistungen über längere Strecken zu überwinden, dann gibt es zur Gleichstromübertragung keine Alternative. Im Vergleich zu Drehstrom sind die Übertragungskapazität pro Trasse sowie die Verkabelung kostengünstiger. Gleichzeitig sind die Übertragungsverluste erheblich geringer. Vor allem diese Vorteile haben dazu geführt, dass die oben erwähnte leistungsstarke Anlage „Sandbank 24“ mit Gleichstromübertragung realisiert wird. Gleiches gilt für das mit 2195 MW drittstärkste Projekt „Nördlicher Grund“. Über die genannten Vorteile hinaus kann die Gleichstromübertragung noch wichtige Beiträge zum Betrieb des virtuellen Kraftwerks liefern. Es handelt sich dabei um Probleme, die mit den bisher installierten WKA nicht oder nur unzureichend gelöst werden. Voraussetzung ist der Einsatz von abschaltbaren leistungselektronischen Bauelementen wie Leistungstransistoren vom Typ IGBT oder hart bzw. weich abschaltbaren Thyristoren vom Typ GTO bzw. IGCT. Sie sind Basis einer 2. Generation von Hochspannungsgleichstromanlagen, die erstmalig zur Hannovermesse 2000 vorgestellt wurden [2]. Damit besteht die Möglichkeit, unabhängig vom Typ der WKA die Wirk- und Blindleistung des Systems zu regeln. Gleiches gilt für den Inselbetrieb und den so genannten Schwarzstart. Schließlich gehört

auch die Beeinflussung der Spannungsqualität der Vergangenheit an [3]. Drehstrom-Übertragungssysteme unterscheiden sich von der in Bild 1 vorgestellten Konfiguration im wesentlichen durch den Wegfall der Stromrichtertechnik und damit durch eine reduzierte Plattformfläche. Gleichzeitig wird das kostengünstigere Gleichstromkabel durch ein Drehstromkabel ersetzt. Mit zunehmender Übertragungslänge wird dieses Kabel allerdings durch einen immer größer werdenden kapazitiven Ladestrom belastet, der ohne zusätzliche Blindstromkompensation bereits ab etwa 100 km die Stromtragfähigkeit voll ausschöpft. Deshalb ist für größere Entfernungen die Gleichstromvariante die wirtschaftlich günstigste Variante.

3 PV-Großanlagen am MS-Netz

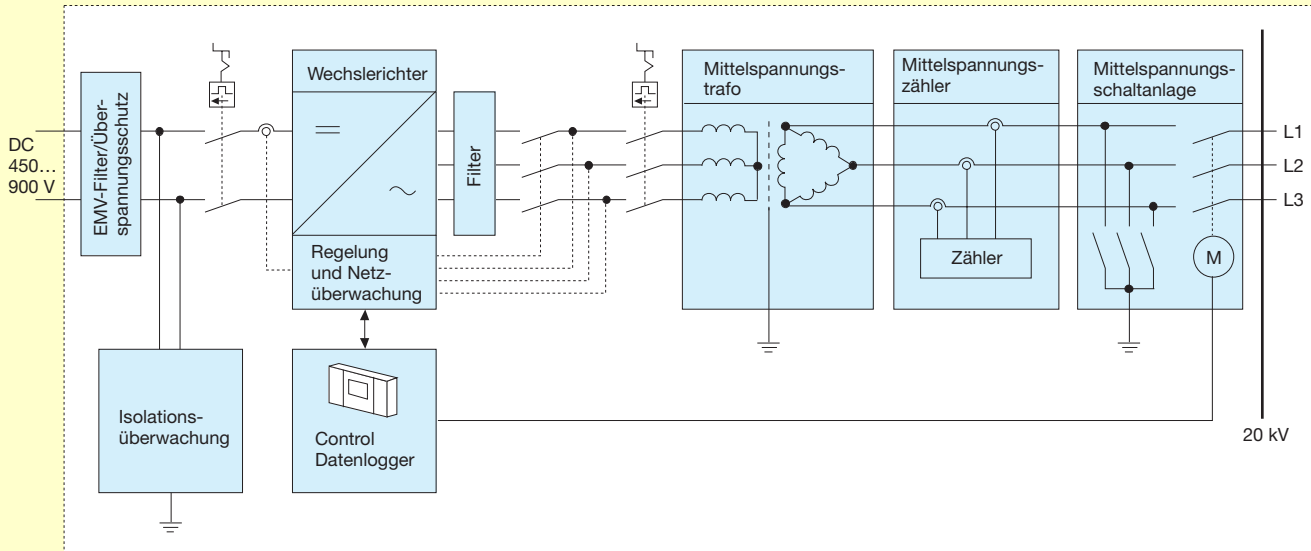
Mit Verabschiedung des Vorschaltgesetzes zum Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) am Jahresende hat der Bundestag nicht zuletzt auch grünes Licht zur Intensivierung des Baus von PV-Anlagen im MW-Bereich gegeben. Damit erweitert sich das Sortiment an dezentralen Energieerzeugern, die an das verbraucher-nahe regionale Mittelspannungsnetz ange-

schlossen werden. Bereits 1996 realisierte die Fa. SMA erstmalig einen Direktanschluss einer PV-Anlage an ein MS-Netz. Aufbauend auf den Testergebnissen wurden im vergangenen Jahr die ersten Umrichter vorgestellt, die für den direkten Anschluss an 10 oder 20 kV ausgelegt sind.

Basis dafür sind serienmäßig gefertigte 400- und 500-kW-Umrichter mit IGBT-Modulen, die auch in der NS-Antriebstechnik eingesetzt werden. Ihnen wird ein MS-Transformator mit Zähler und Schaltanlage nachgeschaltet. Verbunden damit ist der Verzicht auf einen NS-Transformator, der in PV-Anlagen geringerer Spannung die Potentialtrennung sichert. Nach Herstellerangaben reduzieren sich durch die kompakte Bauweise und den hohen Grad der Vorfertigung Kabelverluste und Anlagenkosten (Bild 2).

Auf die im Vorschaltgesetz festgelegten Vergütungssätze setzen immer mehr Hersteller. Deshalb planen potentielle Investoren noch leistungsfähigere PV-Anlagen und damit deutsche Weltrekorde. Mit 18,5 MW will u. a. der Berliner Hersteller für Solarmodule Solon den bayerischen Spitzenwert von 4 MW weit überbieten. Um den Ertrag zu optimieren, soll die ebenfalls für Bayern geplante Anlage mit Modulen bestückt werden, die zweiachsig dem Sonnenstand nachgeführt werden.

Gehäuse IP 21 (IP 54 optional für Außenmontage)



② Zentral-Wechselrichter 400 bzw. 500 kW mit integrierter Schaltanlage zum Anschluss an 10 oder 20 kV

Quelle: SMA

4 Kurzschlussbegrenzung spart Kosten

Im Zeitalter eines liberalisierten Strommarktes und einer durch dezentrale Stromerzeugung ergänzten Versorgung gewinnt der Schutz vor unzulässig hohen Kurzschlussströmen im Mittelspannungsbereich zunehmend an Bedeutung. Zur Vermeidung gefährlicher dynamischer und thermischer Überlastungen muss entweder die gesamte Schaltanlage verstärkt oder die Impedanz im Kurzschlusspfad verringert werden. Um die damit verbundenen Mehraufwendungen für Neuanlagen und vor allem auch bei Umbauten/Erweiterungen zu minimieren, ist allerdings ein strombegrenzendes Schaltgerät die effektivste Lösung. Auch der beste Leistungsschalter ist dafür ungeeignet, denn der Kurzschlussstrom muss bereits im ersten Anstieg, also in weniger als einer Millisekunde erfasst und begrenzt werden. Notwendig ist ein i_s -Begrenzer – ein spezieller Schnellschalter, der einen hohen Nennstrom führen kann und gleichzeitig über ein hohes Abschaltvermögen verfügt.

Es gibt verschiedene Versuche, dieses Problem zufrieden stellend zu lösen. Dazu gehören elektronische, leistungselektronische und auf Supraleitfähigkeit basierende Systeme. Durchgesetzt hat sich bis heute lediglich das nachstehend beschriebene, das pro Phase aus zwei parallelschalteten Strompfaden besteht, nämlich einem speziellen Schalter und einer parallel angeordneten Sicherung. Der Schalter ist Hauptstrompfad und führt den Nennstrom, bis eine separate Mess- und Auslöseeinheit einen unzulässig großen Kurzschlussstrom signalisiert und eine Sprengladung zündet. Dadurch wird der Hauptstrompfad in der Mitte aufgetrennt und der Strom kommutiert auf die parallel liegende Sicherung. Ihr Schmelzleiter schmilzt und begrenzt den weiteren Stromanstieg. Der

Stromkreis wird dabei noch während des ersten Anstiegs des Kurzschlußstromes unterbrochen [4]. Die i_s -Begrenzer werden im Spannungsbereich von 12 bis 36 kV und für Nennströme bis 2000 A (für 12 und 17,5 kV auch 3000 A) gefertigt und sind parallelschaltbar (Bild ③).

Nach Auslösung des Schutzes muss das Betriebsmittel unverzüglich wieder funktionsfähig gemacht werden. Das bedeutet bei fester Installation der i_s -Begrenzer die Auswechslung der drei Sprengkapseln und Sprengbrücken sowie den Einsatz einer neuen Sicherung. Sind diese Aufrüstzeiten zu lang, kann der in Bild ③ gezeigte Wagen alternativ des Prozess beschleunigen.

Auf der Suche nach Alternativen arbeiten vor allem Forscher in USA, Japan und Deutschland an der Realisierung eines i_s -Begrenzers auf Basis eines Supraleiters. Im September ist es der Fa. Nexans im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung initiierten Verbundprojekts gelungen, ein erstes funktionsfähiges Versuchsmuster zu entwickeln. Das Wirkprinzip ist relativ einfach und beruht auf einer bei Bedarf schlagartigen Veränderung des vorher durch Kühlung auf Null reduzierten ohmschen Widerstandes bei Stromdurchgang. Bei dem Supraleiter handelt es sich um rohrförmige Bauteile auf Basis einer Keramik aus Wismut (Bi), Strontium (Sr), Calcium (Ca) und Kupfer (Cu).

Das Muster wurde u. a. mit Kurzschlussströmen von bis zu 18000 A und einem künstlichen Blitzstoß von 75000 V getestet. In allen Fällen konnte laut Herstellerinformation eine effektive Strombegrenzung ohne Schädigung des Supraleiters nachgewiesen werden. Die von neun Komponenten in Serie geschaltete Gesamtleistung betrug 1,2 MVA. Nach diesem Erfolg wurde mit Hochdruck an der Fertigstellung des für Ende vergangenen Jahres geplanten 10-MVA-Versuchsmusters

für die 10-kV-Netzebene gearbeitet, das bei RWE unter echten Bedingungen getestet wird.

5 Wachstumsmarkt Großantriebe

An das Mittelspannungsnetz angeschlossene Großantriebe sind vor allem unverzichtbarer Bestandteil in der Industrie. Dazu gehören auch viele, die im In- und Ausland Pumpen oder Ventilatoren antreiben und die Volumenströme verlustbehaftet mit mechanischen Systemen verstellen. Es sind dies einfache Antriebe ohne Drehzahlverstellung und nur für eine Drehrichtung geeignet und gleichzeitig auch Stromverschwender (Bild ④).

Nicht anders als im NS-Bereich seit langem üblich kann der Stromverbrauch auch der Großantriebe durch einen zusätzlichen Umrichter zwecks Drehzahlverstellung erheblich reduziert werden – ein- bis zweijährige Amortisationszeiten sind möglich.

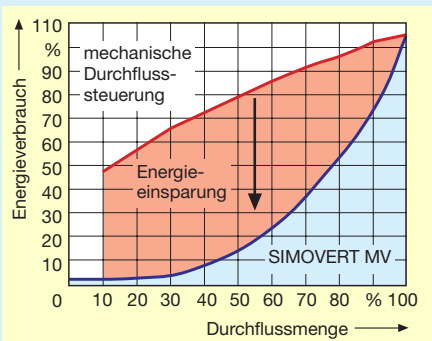
Obwohl die Realisierung von 10-kV-Antrieben technisch nicht unmöglich ist, konzentriert sich das Umrichterangebot auf die weltweiten Normspannungen von 2,3; 3,3; 4,16 und 6 kV. Da nur eine Drehrichtung gefordert ist, kann der netzseitige Gleichrichter relativ einfach mit Dioden realisiert werden. Schwieriger ist der anschließende Teil des Umrichters, der Wechselrichter. Das erfordert die Reihenschaltung der eingangs erwähnten IGBT oder IGCT. Der Leistungsbereich dieser Umrichter liegt beispielsweise zwischen 0,315...5 MW mit IGCT von ABB und 0,65...5 MW mit IGBT von Siemens.

Die Umrichter sind in Serie gefertigte Erzeugnisse und nicht nur zum Antrieb von Pumpen und Ventilatoren geeignet. Auch Walzwerk-Hauptantriebe, Fördermaschinen, Extruder, Kompressoren und Strangpressen sind mög-



③ i-Begrenzer-Einrichtung bestehend aus drei auf einem Schaltwagen fest montierten 15-Begrenzer-Einsatzhaltern

Quelle: ABB



④ Mit Übergang auf Drehzahlregelung lässt sich bei Strömungsmaschinen viel Energie einsparen

Quelle: Siemens

liche Einsatzgebiete. Der Betreiber dieser Ausrüstungen sucht allerdings in der Regel keinen in Serie gefertigten Umrichter, sondern die Lösung eines technologischen Problems. Das setzt zunächst eine Kundenberatung voraus. Wie in vielen anderen Fällen ist hier das Einschalten eines Ingenieur-Büros etc. mit entsprechenden Spezialkenntnissen unverzichtbar.

Zu diesen Unternehmen gehört auch die Berliner Transresch Antriebstechnik. Sie konnte 2003 den ersten Auftrag zur Umstellung eines 2-MW-Antriebssystems für eine kostengünstige Belüftung in einer kubanischen Zementfabrik realisieren. Zu den Eigenleistungen gehörte u. a. die Erarbeitung einer Aufgabenstellung für einen 2,2-MVA-Transformator und seine Beschaffung. Er wandelt die 6 kV des MS-Netzes in 2 x 1,9 kV um und speist damit den zwölfpulsigen Netzgleichrichter des Umrichters. Zusätzlich wurde zwischen dem 6-kV-Netz und dem Motor eine Direktverbindung vorgesehen, damit auch bei gestörtem Umrichtersystem die zwingend erforderliche Belüftung aufrecht erhalten werden kann. Aufgrund der Spannungsunterschiede zur Umrichterspeisung wird bei Betrieb über die Direktverbindung gleichzeitig die Stern/Dreieck-Motorwicklung umgeschaltet.

Schließlich wurde ein Energiemanagementsystem entworfen und die zugehörigen Baugruppen in einem selbst gefertigten Geräteschrank integriert. Das System überwacht und steuert die Anlage beginnend bei der Netzeinspeisung bis zum Motor.

Literatur

- [1] Kling, W. L. u. a.: Einbindung großer Windleistungen in das europäische Verbundnetz. Tagungsband 1 VDE-Kongress 2002, S.315-323, VDE-Verlag
- [2] Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen. ETG-Fachbericht 88 der Fachtagung 23.-24.4.02, VDE-Verlag
- [3] Kabisch, H.: Innovationen bei Mittelspannung. Elektropraktiker Berlin 57(2003)4, S.290-293
- [4] ABB: i5-Begrenzer, Handbuch der ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH ■