Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 101 (2010)
Heft: (10)

Artikel: Die wachsende Bedeutung der Leistungselektronik
Autor: Baumberger, Hans / Steimer, Peter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856145

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die wachsende Bedeutung der Leistungselektronik

Stromerzeugung, -übertragung und Stromverteilung sind heute ohne Silizium kaum denkbar

Der Verbrauch von elektrischer Energie nimmt kontinuierlich zu, neue Stromerzeugungskapazitäten im klassischen Sinn sind immer schwieriger zu realisieren, und die Übertragungskapazitäten können auch nicht beliebig erweitert werden. Leistungselektronik erlangt bei der Überwindung dieser Herausforderungen – sei es im Bereich der Stromerzeugung/-übertragung oder zur Effizienzsteigerung auf Verbraucherseite – einen immer höheren Stellenwert.

Hans Baumberger, Peter Steimer

Die typischen Herausforderungen, die sich heute Stromversorgern und industriellen Stromkonsumenten stellen, sind die Einbindung der vielfältigen Quellen von erneuerbaren Energien, die selten netzfrequenten Wechselstrom liefern, den stabilen Betrieb vom Hochspannungs-Übertragungsnetz sowie die Erhaltung einer guten Stromqualität beim Verbraucher.

Die Anforderungen an die Leistungselektroniksysteme für diese Aufgaben sind dabei immer ähnlich:

- Unterstützung der Spannungsstabilität (Fähigkeit, im Bereich von wenigen Millisekunden Blindleistung abzugeben oder aufzunehmen).
- Umformung von elektrischer Energie von 50 Hz in eine beliebige Spannung von Gleichstrom bis Nennfrequenz oder umgekehrt im Falle einer Stromerzeugungsanlage.
- Einhaltung der Normen bezüglich Einspeisung von Harmonischen ins Netz. Hier sind spezielle Vorkehrungen zu treffen, da die Leistungshalbleiter beim schnellen Schalten Oberwellen erzeugen.

Weitere Anforderungen umfassen die Einhaltung eines vorgegebenen Leistungsfaktors, die Einhaltung der vorgegebenen Spannungsqualität bei Antriebsmaschinen – besonders wichtig bei bestehenden Motoren mit konstanter Drehzahl, die bisher direkt am Netz betrieben wurden und aus Effizienzgründen mit einem elektronischen Antrieb mit variabler Drehzahl ausgetauscht werden. Ein neuerer Trend, der direkte, transformatorlose Anschluss von Leistungselektronik ans Mittelspannungsnetz, stellt auch hohe Ansprüche: Die Leistungselektronik muss mit den Bedingungen des Mittelspannungsnetzes auskommen und darf weder Oberschwingungen noch Gleichstrom ans Netz abgeben.

Spezielle Anforderungen an die Leistungselektronik

Die Anforderungen an moderne Leistungselektronik lassen sich vier Kategorien zuordnen: Halbleiter, Steuerung, Schutz und Kühlung.

Halbleiter

Halbleiter, die im weitesten Sinn zur Regelung von Netzen eingesetzt werden, sind heute fast ausschliesslich abschaltbare Halbleiter. Hier stehen vor allem die IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor) oder die IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) im Vordergrund (Bild 1). Die Hauptkreise dieser Halbleiter sind auf dem gleichen Potenzial wie die Netzspannung, können also auf einigen kV Potenzial liegen. Eine weitere Schlüsselkomponente, die Gate Driver, die Ansteuerelektronik, auf der die Potenzialtrennung zwischen den Leistungskreisen und der Steuerung erfolgt, liegt üblicherweise auf Erdpotenzial.

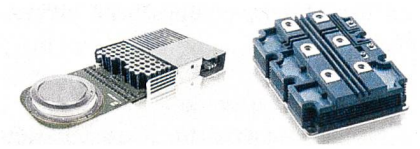


Bild 1 IGCT mit Gate Unit (links) und IGBT mit Gate Unit.

Steuerung

Erst die Steuerung haucht einer leistungselektronischen Anlage Leben ein. In den Steueralgorithmen wird die Hauptfunktion abgebildet. Die gleiche Leistungselektronik-Hardware kann verschiedene Funktionen erfüllen, z. B. Blindleistungskompensation oder Leistungsumwandlung für einen Batteriespeicher. Der Unterschied liegt in der Steuerung. Die zweite Aufgabe der Steuerung ist die stromrichternahe Regelung und der Schutz des Umrichters. IGBT-Umrichter werden mit bis zu 10 kHz getaktet, bei den IGCT-Umrichtern bewegt man sich im Bereich von einigen Hundert Hertz bis 1 kHz.

Die Ansteuerung und der Schutz des Stromrichters stellen extrem hohe Anforderungen an die Zykluszeiten der Steuerelektronik, da die Reaktionszeiten im Mikrosekunden-Bereich liegen können.

Schutz

Beim Schutz des Stromrichters kommt es darauf an, einen Fehler sehr rasch zu erkennen und die richtigen Massnahmen einzuleiten, um Folgeschäden im Stromrichter zu vermeiden. Das Schutzkonzept ist ein wichtiger Bestandteil der Auslegung eines Stromrichters und wird in aufwendigen Tests verifiziert. Bei IGCT-Stromrichtern werden bei einem erkannten Fehler alle Halbleiter durchgezündet. Hier macht man sich die hohen Stossstromeigenschaften zunutze, die die Presspack-Module aufweisen. IGBTs in Modulbauweise haben hingegen eine beschränkte Stossstromfestigkeit, können dafür aber grosse Ströme sehr schnell abschalten. Daher werden bei IGBT-Stromrichtern im Fehlerfall sämtliche Halbleiter ausgeschaltet. Der Grund für die ein-

geschränkte Stossstromfestigkeit ist die Kontaktierung der Chips mit Bonddrähten. Im Gegensatz dazu kommt der Kontakt bei der Presspack-Technologie durch Pressung zustande.

Kühlung

Die Kühlung ist ein weiteres wichtiges Element eines Leistungsstromrichters. Da die Leistungshalbleiter auf Potenzial sind, muss das Kühlmedium den Isolationsanforderungen gerecht werden.

Die drei häufigsten Kühlungsarten sind:

- Direkte Wasserkühlung. Hier dient eine sogenannte Kühldose gleichzeitig als Kühlung für den Halbleiter und als Stromableitung. Um die Isolationsanforderungen zu erfüllen, muss das Wasser deionisiert sein.
- Bei der Luftkühlung wird die Verlustwärme der Halbleiter an einen Luftkühler mit Rippen abgegeben, die in einem Luftstrom liegen. Hier übernimmt die Luft die Isolation.
- Die Brauchwasserkühlung wird bei IGBT-Modulen angewendet. Die IGBT-Module haben eine Grundplatte, die vom Halbleiter elektrisch isoliert ist. Somit kann ein IGBT-Modul auf einen Wasserkühler montiert werden, der von Brauchwasser durchflutet wird und auf Erdpotenzial liegt.

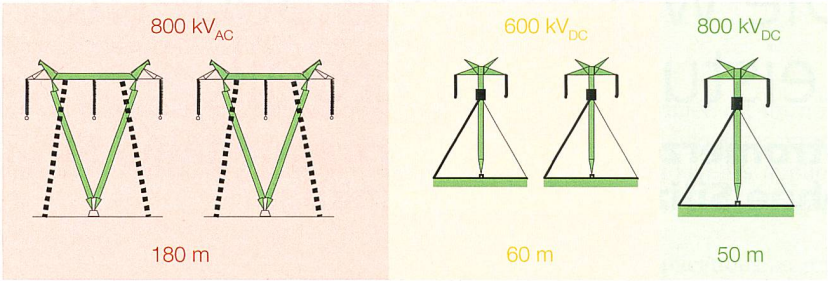


Bild 2 Landbedarf für die Übertragung von 6 GW. Der Vorteil der Gleichspannungsübertragung ist deutlich.

Leistungselektronik in der Stromerzeugung

Während in der konventionellen Stromerzeugung schon seit Längerem leistungselektronische Systeme eingesetzt werden, zum Beispiel für die Erregung der Generatoren oder Antriebe für die Speisewasserpumpen, wollen wir uns hier hauptsächlich auf die neueren Anwendungen konzentrieren.

Windenergie

Bei der Windnutzung ist die Abgabe von Energie ans Netz unstet und hängt im Wesentlichen von der Windstärke ab. Während früher Windgeneratoren meistens über ein Getriebe und einen Asynchronmotor ans Netz gekoppelt waren, werden heute doppelt gespeiste Asynchrongeneratoren eingesetzt, deren gewickelte Rotoren über Schleifringe und einen Stromrichter ans Netz gekoppelt sind. Dies erlaubt eine Verstellung der Drehzahl – die Windturbine kann so immer mit dem optimalen Wirkungsgrad betrieben werden. Allerdings genügen diese Systeme mittlerweile den gestiegenen Anforderungen der Netzbetreiber bezüglich Verhalten bei Netzfehlern nicht mehr. Daher werden neuerdings vermehrt Vollumrichter eingesetzt, d. h., die gesamte Leistung des Generators wird über einen Stromrichter ans Netz angeschlossen. Damit können sowohl die Anforderung an variable Drehzahl zur Optimierung des Wirkungsgrades sowie die Anforderungen im Fehlerfall (Fault Ride Through) erfüllt werden.

Die grössten heute eingesetzten Systeme gehen bis ca. 4 MW pro Turbine und sind meistens mit Niederspannungsgeneratoren ausgerüstet. Nun werden auch Turbinen bis 6 MW mit Mittelspannungsgeneratoren, meistens für den Offshore-Einsatz, gebaut.

Fotovoltaik

Fotovoltaik liefert, ähnlich wie die Windenergie, unstete Energie. Der Hauptfaktor ist hier die tageszeit- und wetterabhängige Sonneneinstrahlung. Fotozellen liefern eine Gleichspannung von wenigen Volt. Die einzelnen Zellen eines Panels werden normalerweise in Serie geschaltet, um ein höheres Spannungsniveau zu erreichen.

Kleinere Fotovoltaiksysteme bis einige kW werden über einphasige Umrichter ans Netz angeschlossen. Grössere Anlagen gehen heute bis in den Bereich von einigen MW und können ein Ausmass von mehreren Fussballfeldern annehmen. Hier muss darauf geachtet werden, dass die Verbindungsverluste im FV-Park nicht zu gross werden. Somit werden die Panels einer kleineren Fläche zusammengefasst und über zentrale Umrichter auf Netzfrequenz gewandelt und dann auf der Mittelspannungsebene verbunden.

Gezeitenkraftwerke

Neuere Ansätze für Gezeitenkraftwerke sehen vor, dass Turbinen mit z. T. sehr grossen Durchmessern an prädestinierten Stellen auf dem Meeresgrund frei aufgestellt werden und diese dann die durch die Gezeiten verursachte Meeresströmungen ausnutzen, um elektrischen Strom zu produzieren. Gezeitenkraftwerke haben gegenüber Wind- und Fotovoltaik den Vorteil, dass ihre Produktion sehr zuverlässig vorausgesagt werden kann. Allerdings ist auch hier eine über die Zeit in der Intensität wechselnde Energiequelle vorhanden. Um eine optimale Ausnutzung der installierten Leistung zu erzielen, müssen auch hier die Generatoren mit variabler Frequenz betrieben werden und können nicht direkt mit dem Netz synchronisiert werden. Auch hier kommen Frequenzumrichter zum Einsatz, die den Betrieb der Gezeitenkraftwerke optimieren helfen, und die Generatoren direkt ans Netz koppeln und gleichzeitig alle Netzanforderungen erfüllen.

Pumpspeicherkraftwerke mit variabler Drehzahl

Die bis auf Weiteres effizienteste Form der Speicherung elektrischer Energie ist der Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken, die in der Schweiz seit Langem im Einsatz sind. Meistens wird sowohl für den Turbinen- als auch den Pumpbetrieb dieselbe elektrische Maschine, manchmal sogar dieselbe hydraulische Maschine verwendet. Bei der elektrischen Maschine handelt es sich in der Regel um eine Synchronmaschine. Im Generatorbetrieb wird die Maschine mit der Turbine auf Nenndrehzahl gebracht und dann ans Netz synchronisiert. Im Pumpbetrieb wird die Maschine entweder mit einer Hilfsmaschine auf der gleichen Welle oder mit einem Umrichter auf Drehzahl gebracht und dann ans Netz geschaltet.

Neuerdings werden aber Pumpspeicherkraftwerke mit sogenannten Varspeed-Maschinen ausgerüstet. Dabei

handelt es sich um doppelt gespeiste Asynchronmaschinen, ähnlich wie oben für die Windgeneratoren beschrieben. Allerdings liegen hier viel grössere Generatorleistungen im Bereich von 200 bis 300 MW vor. Die hier zum Einsatz kommende Umrichterleistung ist mit über 100 MW sehr beachtlich. ABB hat kürzlich eine solche Anlage für das Pumpspeicherwerk Avce in Slowenien ausgeliefert [1].

Erfüllung von Netzstandards bei erneuerbaren Energien

Während die erneuerbaren Energien früher im Vergleich zu der gesamten installierten Leistung eines Netzes nur einen verschwindend kleinen Teil ausmachten, sind heute Anteile von bis über 20 % in gewissen Netzen keine Seltenheit mehr. Die EU will bis ins Jahr 2020 einen Anteil von insgesamt 20 % erreichen. Für die Netzbetreiber stellt das eine grosse Herausforderung dar. Daher wurden in einigen Ländern sogenannte Gridcodes erlassen – Normen, die besagen, wie sich eine Anlage bei Netzfehlern verhalten soll. Insbesondere sei hier die deutsche E.On-Richtliche erwähnt, die folgende Charakteristiken festlegt:

- Die Anlagen müssen in der Lage sein, oberhalb einer definierten Frequenz-Zeit-Kurve die maximale Leistung abzugeben.
- Anforderungen an die Abgabeleistung für bestimmte Zeitdauern in Abhängigkeit von Netzfrequenz und Netzspannung.
- Die Anlagen müssen einen Netzkurzschluss bis zu einer bestimmten Dauer überstehen, ohne abzuschalten.

Diese Forderungen stellen ganz besonders an die Regelung der Leistungselektronik, die ja das Bindeglied zwischen der Energiequelle und dem Netz bildet, besondere Anforderungen. Die einfache Umwandlung der Wirkleistung von der Energiequelle ans Netz genügt also nicht mehr.

Stromübertragung und -verteilung

Die Leistungselektronik findet auch im Stromübertragungs- und -verteilungsbereich zahlreiche Einsatzmöglichkeiten.

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)

Schon relativ früh wurde erkannt, dass die Übertragung von grossen Energiemengen über eine Gleichstromleitung viele Vorteile hat: Kleinere Übertragungsverluste, die Möglichkeit, zwei asynchrone Netze miteinander zu verbinden, Begrenzung der Kurzschlussleistung. Bereits in der 1950er-Jahren ist in Schweden zwischen der Insel Gotland und dem Festland eine HGÜ in Betrieb genommen worden. Da damals noch keine Halbleiter zur Verfügung standen, wurde diese mit Quecksilberdampf-Gleichrichtern realisiert.

Später wurden die Gleichrichter mit Thyristoren realisiert – diese Technologie ist noch heute im Einsatz. Beim Stromrichter handelt es sich um einen sogenannten netzgeführten Stromrichter mit einem Stromzwischenkreis. Wie der Name besagt, muss ein AC-Netz vorhanden sein für die Funktion dieser Topologie. Diese Art HGÜ ist heute unter dem Namen HGÜ classic bekannt. Diese Technologie wird auch heute noch weiterentwickelt, und es werden mittlerweile Spannungen von $\pm 800\ kV_{DC}$ erreicht. Über eine Leitung werden bis zu 6 GW Leistung übertragen.

In den 1990er-Jahren hat ABB die sogenannte HGÜ-light-Technologie auf den Markt gebracht. Dabei handelt es sich um einen Spannungszwischenkreis-Umrichter mit IGBTs als Schaltelemente. Diese Technologie hat ein paar entscheidende Vorteile:

Der Aufwand für die Filterung gegenüber dem Netz wird drastisch reduziert. Der Stromrichter kann auf beiden Seiten mit Leistungsfaktor 1 betrieben werden, und die Spannungswelligkeit auf der Gleichstromleitung ist praktisch null. Dies erlaubt die Übertragung von grossen Mengen elektrischer Energie über eine lange Distanz über Kabel. Das ist speziell in stark überbauten Gebieten oder z. B. für die Anbindung von Offshore-Windparks über Seekabel interessant.

Kurzkupplungen, Lastflussregler, Kupplung asynchroner Netze

Die Kurzkupplung ist ein Spezialfall einer HGÜ ohne verbindende Leitung. Hier macht man sich die oben bei der HGÜ beschriebenen Vorteile zunutze, ohne Energie über eine längere Distanz zu übertragen. Eine solche Kurzkupplung eignet sich auch dazu, den Lastfluss zu regeln und die Spannung zu regulieren.

Blindleistungskompensatoren SVC, Statcom

In ausgedehnten Netzen, wie sie speziell in dünn besiedelten Gegenden vorkommen oder auch dort, wo z. B. grosse Wasserkraftvorkommen weit entfernt von den Verbraucherzentren liegen, ist das Netzspannungsmanagement von grosser Bedeutung. Instabilitäten in der Spannung können zu grossflächigen Netzausfällen führen. Hier kommen die Blindleistungskompensatoren zum Einsatz.

Die einfachste Art, Blindleistung zu kompensieren, ist das zu- und wegschalten von Kondensatoren und Induktivitäten. Dies kann allerdings nur in diskreten Schritten geschehen und mit einer gewissen Verzögerung. Die nächstbessere Stufe sind die sogenannten SVCs (Static Var Compensators), die aus Kondensatoren und Induktivitäten bestehen, die über Thyristoren ans Netz geschaltet sind, auch TSC (Thyristor Switched Capacitors) und TCR (Thyristor Controlled Reactors) genannt. SVCs erlauben eine stufenlose Regelung der Blindleistung und sind heute weitverbreitet.

Statcom

Statcoms sind Spannungszwischenkreisumrichter, die am Netz mitlaufen und in Übertragungsnetzen eine sehr schnelle Spannungsregelung ermöglichen. Sie gehören zu der Gruppe von Facts (Flexible AC Transmission Systems). Weitere Anwendungen sind die Kompensation des Blindleistungsbedarfs in Industrienetzen, die Ausregelung von Flicker in Stahlwerken sowie die Erfüllung der Einspeisenormen von Windparks ins öffentliche Netz.

Ein Statcom besteht aus dem Transformator, dem Umrichter, beispielsweise einem 3-Level-IGCT-Umrichter, dem Zwischenkreis sowie der Kühleinrichtung.

Solche Anlagen werden üblicherweise draussen aufgestellt. Dazu werden sie in Containern aufgebaut. Dies hat einerseits den Vorteil des einfacheren Transports, andererseits kann das System so bei der Endkontrolle vollständig vorgeprüft werden, wodurch die Inbetriebsetzung vor Ort wesentlich verkürzt wird.

Energiespeicherung

Je mehr erneuerbare Energiequellen stochastisch ins Netz einspeisen, desto mehr stellt sich die Frage nach der Zwischenspeicherung der elektrischen Energie. Während Pumpspeicherkraftwerke die wichtigsten Energiespeicher in unseren Netzen sind, drängen mehr und mehr auch Batteriespeicher und Schwungräder auf den Markt. Sowohl bei Schwungrädern wie auch bei Batterien braucht es zwischen dem Speichermedium und dem Netz ein

Bindeglied, das auch in diesem Fall ein Leistungselektronik-Umrichter ist.

Getrieben durch die Fortschritte auf dem Gebiet der Elektromobile hat die Batterieentwicklung in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht. Heute werden für die Energiespeicherung hauptsächlich Bleiakkus (vor allem in USV-Anlagen), Natrium-Schwefel-Batterien (NaS) für Speicherzeiten bis zu 6 h sowie Lithiumionen-Batterien für bis zu 30 min Speicherzeiten eingesetzt. Beim Umrichter handelt es sich um Spannungszwischenkreis-Umrichter. Die Herausforderung bei der Auslegung solcher Umrichter ist die stark variierende Batteriespannung.

Am Netz können solche Batterieenergiespeicher zur kurzfristigen Frequenzregelung oder zur Einspeisung einer vorgegebenen Leistung eingesetzt werden. Die Umrichter sind in der Lage, wahlweise beide Betriebsmodi zu fahren. Zudem können solche Umrichter auch zur Blindleistungsregelung eingesetzt werden.

Leistungselektronik bei Verbrauchern

Bei Verbrauchern gibt es zahlreiche Einsatzmöglichkeiten von Leistungselektronik.

Drehzahlvariable Antriebe

Der vermutlich häufigste Einsatz von Leistungselektronik bei den Verbrauchern ist der in drehzahlvariablen Antrieben. In den allermeisten Fällen bestehen solche Antriebe aus einem netzseitigen Gleichrichter, einem Spannungszwischenkreis und einer frequenzvariablen Ausgangsstufe.

Einer der Hauptgründe für den häufigen Einsatz in Antrieben ist neben der Prozessnotwendigkeit von variabler Drehzahl z. B. in Papiermaschinen die Energieeinsparung. Dort, wo heute noch häufig direkt am Netz betriebene Motoren für Anwendungen wie z. B. Pumpen und Ventilatoren eingesetzt werden, kann mit drehzahlvariablen Antrieben bis zu 50 % Energie eingespart werden.

Als Antriebsmaschine können alle Arten von Wechselstrommotoren angetrieben werden: Asynchron-, Synchron- und Permanentmagnetmotoren.

Auf der Netzseite kommen meistens Diodengleichrichter zum Einsatz, während auf der Maschinenseite IGBT- oder, bei höheren Leistungen, IGCT-basierte Umrichter eingesetzt werden. Falls ein aktiver Bremsbetrieb mit Energierückspeisung ans Netz gefordert ist, wird auch der netzseitige Umrichter mit abschaltbaren Bauelementen (IGBT oder IGCT) ausgerüstet. In einem solchen Fall hat man zusätzlich noch den Vorteil, dass der Leistungsfaktor am Netz geregelt werden kann und, bei Bedarf, auch die Blindleistung kompensiert werden kann. Dies erfordert dann allerdings auch die nötigen Vorkehrungen bei der Regelung.

Der Vollständigkeit halber sei hier auch der Gleichstromantrieb erwähnt, der aus einer Thyristorbrücke und einem Gleichstrommotor besteht. Obschon auch heute noch Gleichstromantriebe gebaut werden, hat die Bedeutung dieser Technologie mit dem Aufkommen der Wechselstromantriebe stark abgenommen.

Für höchste Antriebsleistungen (über 30 MW) wird auch heute noch die schon seit über 30 Jahren eingesetzte LCI-(Load Commutated Inverter)-Technologie eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen Thyristorumrichter mit einem Stromzwischenkreis. Damit der maschinenseitige Umrichter kommutieren kann, braucht es eine Gegenspannung von der Maschine. Deshalb kommen für diese Antriebsart nur Synchronmaschinen infrage. Die Technologie ist vergleichbar mit der oben beschriebenen HGÜ classic.

Spannungsstabilisierung

Da der Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze häufig nicht mit dem zunehmenden Bedarf Schritt halten kann, kommt es immer häufiger zu Störungen im Netz. Solche Störungen können ein-, zwei- oder dreiphasige Kurzeinbrüche der Netzspannung sein. Messungen haben gezeigt, dass komplette Spannungsunterbrüche relativ selten sind, aber Kurzeinbrüche sehr häufig auftreten können. Es gibt Industrieprozesse, die auf eine konstante und saubere Netzspannung angewiesen sind und in denen deshalb sogenannte Spannungskonstanthalter eingesetzt werden (Bild 3). Ein Spannungszwischenkreisumrichter addiert in einem Längstransformator die fehlenden oder subtrahiert die überschüssigen Spannungsanteile der Netzspannung und hält so die Spannung an der Last konstant. Die dazu benötigte Energie holt sich der Umrichter ebenfalls vom Netz. Eine solche Einrichtung kann zusätzlich zur Spannung am Ausgang auch noch den Leistungsfaktor in Richtung Netz beeinflussen. Solche Systeme können Einbrüche bis ca 40 % vollständig ausre-

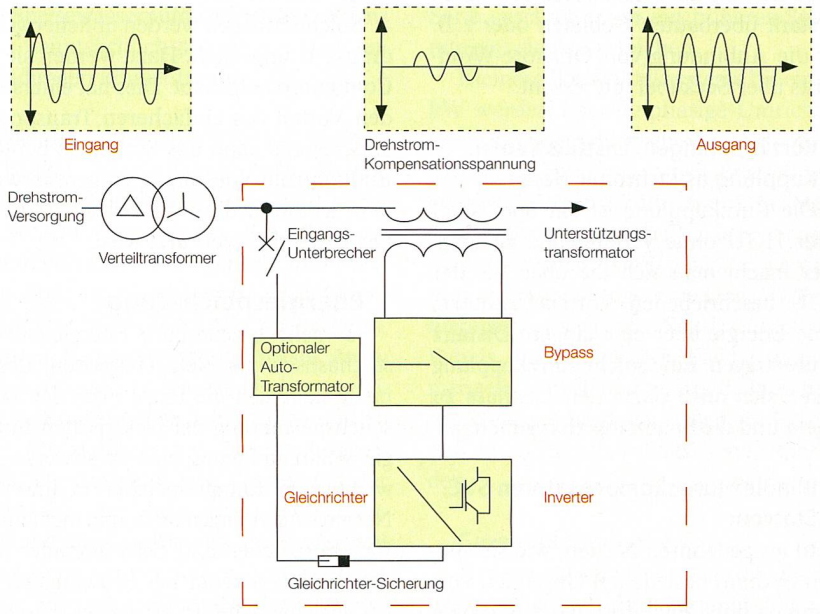


Bild 3 Blockdiagramm eines Spannungskonstanthalters.

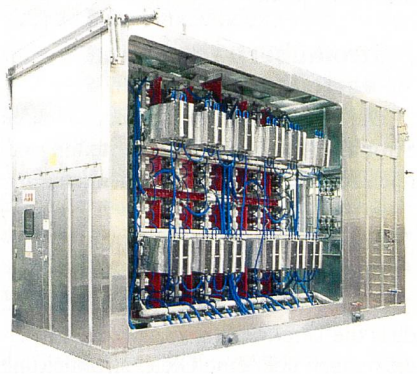
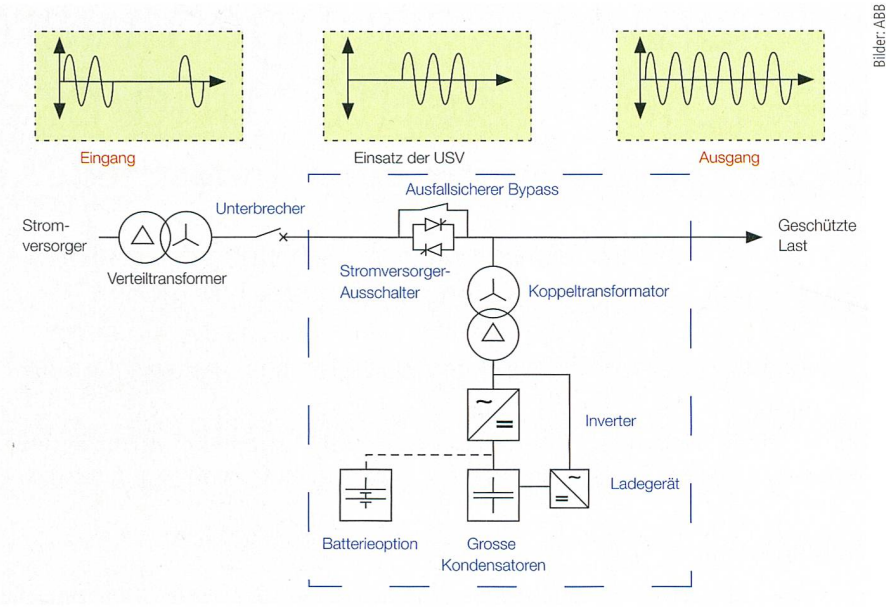


Bild 4 Rectibloc-Gleichrichter.

geln. Allerdings ist aus dem Blockschema ersichtlich, dass mit einer solchen Einrichtung Spannungsunterbrüche nicht ausgeregelt werden können, weil ja dann auch keine Ladeleistung mehr zur Verfügung steht. Falls auch Unterbrüche beherrscht werden sollen, sind USV-Anlagen (unterbrechungsfreie Stromversorgungen) erforderlich (Bild 5).



Bilder: ABB

Bild 5 Blockdiagramm einer Offline-USV.

Überbrückung von Spannungsausfällen

USV-Anlagen sind den meisten bekannt als sichere Speisung von Computernetzen und in Spitälern, wo man sich keinen Stromunterbruch leisten darf.

USV-Anlagen haben üblicherweise einen netzseitigen Stromrichter, der die Netzspannung gleichrichtet. An diesem Gleichstromzwischenkreis ist über einen DC/DC-Wandler eine Batterie angeschlossen. Die Batterie wird im Schwebeladezustand gehalten. Vom Gleichstromzwischenkreis speist meistens ein IGBT-Umrichter die Last. Wird nun die Einspeisung unterbrochen, so speist die Batterie über den DC/DC-Wandler den Zwischenkreis, und die Last wird von der Batterie gespeist. Solche USV-Systeme sind schon seit Längerem auf dem Markt und werden auch immer leistungsstärker, von einigen hundert kW bis in den MW-Bereich. Da die gesamte Leistung immer zweimal umgewandelt wird, sind die Verluste von solchen Systemen erheblich.

Eine Alternative dazu ist die sogenannte Offline-USV. Dieses System ist im ungestörten Betrieb passiv, der Laststrom geht nicht durch den Stromrichter. Im Falle einer Netzstörung wird der Thyristorschalter, der sich im Hauptpfad befindet, gesperrt, und der Stromrichter speist die Last von der Batterie oder einem Super-Kondensator (bis 3 s). Wenn die Störung vorbei ist, wird der Thyristorschalter wieder eingeschaltet und der Energiespeicher wieder geladen (Bild 4).

Industrienetze: Leistungsfaktor- und Blindleistungsregelung

Industriebetriebe bezahlen in der Regel nicht nur für die bezogene Wirkleistung, sondern auch für die Blindleistung, die das vertraglich Vereinbarte überschreitet. Ein Statcom am Einspeisepunkt kann hier wertvolle Dienste leisten. Von der Funktion her ist es ein Spannungszwischenkreisumrichter, der über einen Trafo am Netz angeschlossen ist. Die Regelung erlaubt es, entweder Blindleistung zu regeln, die Spannung konstant zu halten oder auch den Leistungsfaktor gegenüber dem Netz zu regeln. Es gibt Industrieprozesse, die unerwünschte Effekte auf das speisende Netz haben, z. B. Flicker im Falle von Elektroöfen. Statcoms können auch solche Effekte mit der entsprechenden Regelung herausfiltern.

Gleichrichter

Eine der ältesten leistungselektronischen Anwendungen sind Gleichrichter. Schon vor dem Elektronikzeitalter hat es mechanische Gleichrichter gegeben. Das waren nockenwellengesteuerte Schalter, wobei sich die Nockenwelle netzsynchron bewegt hat. Später kamen die Quecksilberdampf-Gleichrichter, bevor dann die Halbleiterdioden und Thyristoren auf den Markt kamen. Grosse Gleichströme werden heute hauptsächlich beim Schweissen, zur Aluminiumgewinnung, in der Elektrochemie und bei Gleichstromlichtbogenöfen verwendet.

Beim Schweissen sind zwar die Ströme sehr hoch, aber die Spannung ist praktisch null, also ist auch die Leistung vergleichsweise klein. Anders verhält es sich bei den Gleichrichtern für die Aluminiumherstellung. Dort kommen Gleichrichter von über 100 kA und 2 kV_{DC} zum Einsatz.

Referenzen

[1] A. Hämmerli, B. Odegard, AC-Erregung mit ANPC-Stromrichtertechnologie, Bulletin SEV/VSE 5/2010, 57–59.

Angaben zu den Autoren

Hans Baumberger hat an der Ingenieurschule Burgdorf (FH) Elektrotechnik studiert und ist bei ABB Technology Manager der Business Unit Power Electronics and Medium Voltage Drives.
ABB Schweiz AG, 5300 Turgi,
hans.baumberger@ch.abb.com

Dr. **Peter Steimer** hat an der ETH Zürich Elektrotechnik studiert und ist Verantwortlicher für Innovation bei ABB BU Power Electronics and Medium Voltage Drives.
ABB Schweiz AG, 5300 Turgi,
peter.steimer@ch.abb.com

Résumé

L'importance croissante de l'électronique de puissance

La production, le transport et la distribution du courant sont aujourd'hui quasi-impensables sans silicium

L'électronique de puissance a connu un développement effréné ces dernières années. De nouveaux composants toujours plus puissants permettent d'intégrer l'électronique de puissance dans tous les domaines de la production, de la distribution et de l'exploitation industrielle d'énergie électrique. Cette évolution est d'autant plus importante aujourd'hui que la consommation d'électricité augmente en permanence et qu'il devient difficile de garantir la qualité du courant. L'électronique de puissance contribue de manière essentielle à améliorer l'efficacité énergétique chez les consommateurs et à repousser les limites actuelles des capacités de transport du courant. No