

## Applications & Cases



Dynamische BLK – Beispiel Windkraftanlagen

November 2007

### Schnelle Reaktion

EPCOS führt alle Schlüsselkomponenten für dynamische Blindleistungskompensations-Systeme. Solche Systeme zeichnen sich durch schnelle Reaktionszeiten und weitgehende Wartungsfreiheit aus. Gerade die Windenergieanlagen werden so effizienter.

Herkömmliche Systeme zur Blindleistungskompensation (BLK) bestehen aus einem Controller zur Regelung des Leistungsfaktors, Kondensatoren, Schaltschützen, Sicherungen sowie einem Schaltschrank, in den alle diese

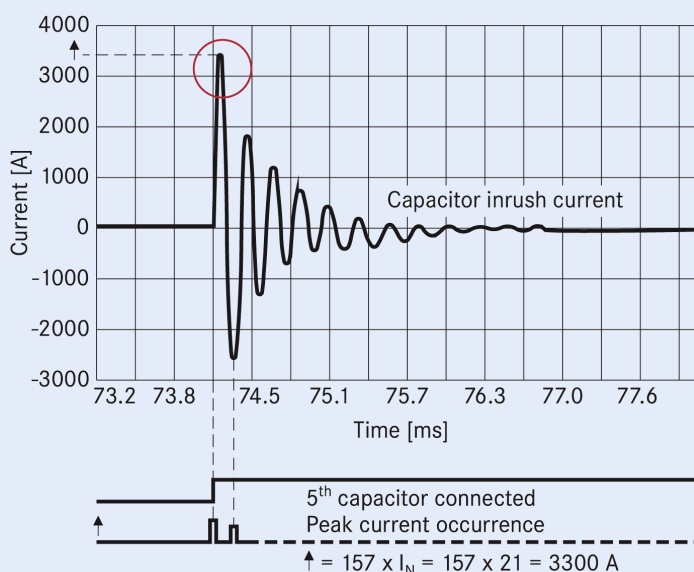
Bauelemente montiert werden. Die Integration von Filterkreisdrosseln im Falle vorliegender Oberschwingungen gehört ebenfalls zu den Standardverfahren für solche Systeme.

In derartigen konventionellen Systemen beträgt die Wiedereinschaltzeit der Kondensatoren mindestens 60 Sekunden, da die notwendige Entladung nach IEC60831 durchgeführt werden muss. Das relativ langsame Schaltverhalten mechanischer Relais, die in den meisten Fällen in Standard-BLK-Reglern eingesetzt werden, erfüllt ebenfalls nicht die Anforderungen sich schnell verändernder Lasten, bei denen eine Reaktion im Millisekunden-Bereich erforderlich ist. Das gleiche gilt für elektromechanische Kondensator-Schütze, denn sie sind für Schaltvorgänge im Millisekunden-Bereich nicht konzipiert.

Darüber hinaus ist selbst bei Nutzung spezieller Kondensator-Schütze die Anzahl der Schaltvorgänge eines Kondensators auf ungefähr 5000 Schaltvorgänge pro Jahr (ein Schaltvorgang ca. alle 105 Minuten) begrenzt und die auch die Lebensdauer der Schütze ist mit ca. 100 000 Schaltspielen unter Umständen zu gering. Abbildung 1 zeigt zudem, dass die Einschaltströme bei Verwendung von Standardschalterschützen bis über 150 mal so groß sein können wie die nominalen Kondensatorströme, was zu einer erheblichen Belastung des Kondensators führt und somit wiederum seine Abnutzung zur Folge hat. Selbst bei Verwendung der empfohlenen Kondensatorschütze mit integrierten Vorladewiderständen treten Einschaltströme bis über das 15-fache des Kondensatornennstromes auf.



ABBILDUNG 1: EINSCHALTSTROM AM KONDENSATOR



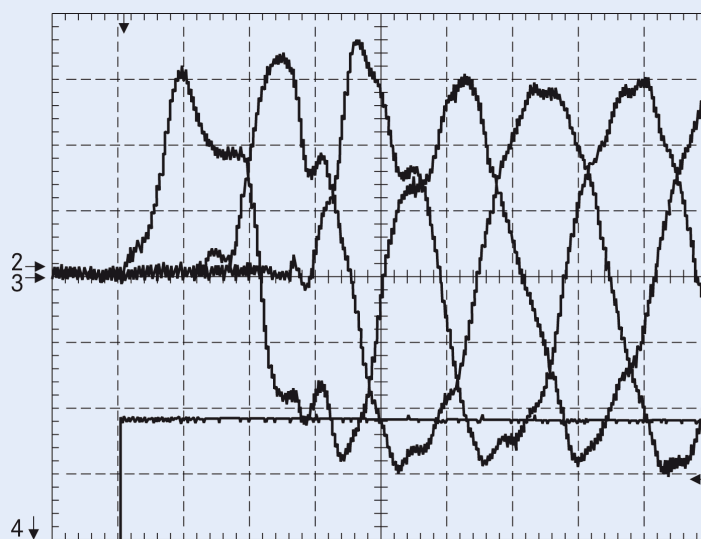
Der Einschaltstrom an BLK-Kondensatoren kann über 150 mal so groß sein wie der Nennstrom.

## Applications & Cases

Um ein dynamisches BLK-System zu realisieren, ist ein geeigneter schneller Controller mit Transistor-Ausgängen erforderlich. Der Thyristor ist das Schlüsselbauelement eines derartigen Systems. In Kombination mit dem Controller arbeiten Thyristormodule mit Reaktionszeiten von weniger als 20 ms bis hin zu 5 ms. Nur mit diesen kurzen Reaktionszeiten ist es möglich, schnelle Lastwechsel zu kompensieren. Darüber hinaus schalten Thyristoren im Nulldurchgang des Stroms, so dass die zuvor erwähnten hohen Ströme und eine hohe Belastung der Kondensatoren vermieden wird. Abbildung 2 zeigt das Schaltverhalten des EPCOS-Thyristors TSM-HV50 im Oszilloskopbild. Bei der TSM-Serie wird dieses Schalten im Nulldurchgang des Stroms dadurch erreicht, dass die Kondensatoren nach dem Abschalten auf dem maximalen Wert der Netzspannung gehalten werden. Wenn das Triggersignal für den Schaltvorgang erzeugt wird, schaltet der Thyristor erst, wenn die Netzspannung dieses Maximum erreicht hat, um so den Kondensator bei Spannungsgleichheit zu schalten.



**ABBILDUNG 2: AUFSCHALTEN DER KONDENSATOREN ÜBER THYRISTOREN**



Dargestellt ist eine dreiphasige Kompensation. Beim Aufschalten der Kondensatoren über Thyristoren treten keine Überströme auf.

Für die Anwendung Windkraftanlagen finden in Zusammenarbeit mit dem Schaltanlagenbauer Modl ([www.modl.de](http://www.modl.de)) EPCOS-Komponenten wie BLK-Regler, Thyristor-Schalter und Kondensatoren im System DynaWind 6000 ihre Anwendung (Abbildung 3). Verwendet wurde eine solche BLK-Anlage beispielsweise in einer Windturbine des Typs AN BONUS-AN68-1.3 MW. Die Eckdaten:

- 690 V/50 Hz auf der Niederspannungsseite,
- 21 kV/50 Hz auf der Mittelspannungsebene,
- 110 kV/50 Hz für das Hochspannungsnetz

Das System zur Korrektur des Leistungsfaktors stellt eine Gesamt-Blindleistungskompensation von 400 kvar zur Verfügung, die in acht Schritten zu je 50 kvar abgestuft ist. Dabei ist das System so programmiert, dass der Leistungsfaktor möglichst zwischen 0,98 und 1 liegt. Zum Schutz des Systems sind Halbleitersicherungen vorhanden. Sechs Entlüftungen auf dem Dach des Schaltschranks sowie entsprechend große Lufteinlass-Schlitze mit Filtern an der Unterseite der Türen dienen zur Kühlung des Schaltschranks. Filterkreisdrosseln wurden im Rahmen dieses ersten Schritts nicht integriert.

## Applications & Cases



ABBILDUNG 3: DynaWind 6000 im Einsatz



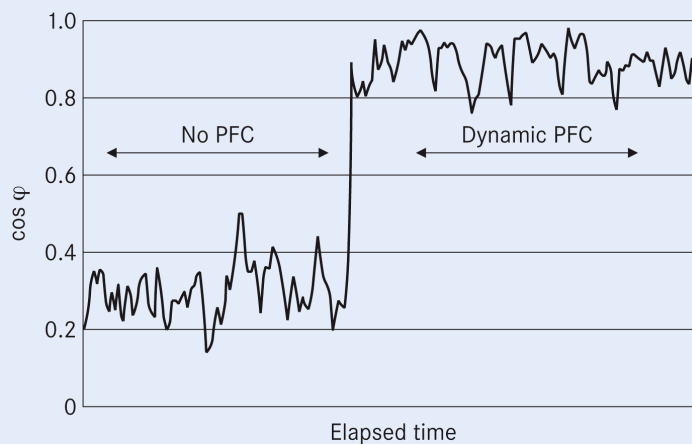
DynaWind 6000 besteht aus dem BLK-Regler BR6000T in Kombination mit Thyristorschaltern des Typs TSM-HV690 die bei 690 V jeweils 50 kvar schalten können. Bei den Kondensatoren handelt es sich um die WindCap-Serie von EPCOS.

Der Controller liefert schnelle Triggersignale für die Thyristorschalter und ist mit einer RS232-Schnittstelle ausgerüstet, die eine Fernsteuerung und ein Fernauslesen der Daten ermöglicht.

Abbildung 4 zeigt den gemessenen Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  vor und nach dem Einschalten der dynamischen BLK in der Musterinstallation des nahe Hannover gelegenen »Windpark Oelirse«. Während der Leistungsfaktor zuvor im Bereich zwischen 0,2 und 0,4 lag, verbesserte er sich auf Werte im Bereich zwischen 0,8 und 1,0.



ABBILDUNG 4: LEISTUNGSFAKTORVERGLEICH



Nach Inbetriebnahme der DynaWind 6000 konnte der Leistungsfaktor auf Werte zwischen 0,8 und 1 gesteigert werden.

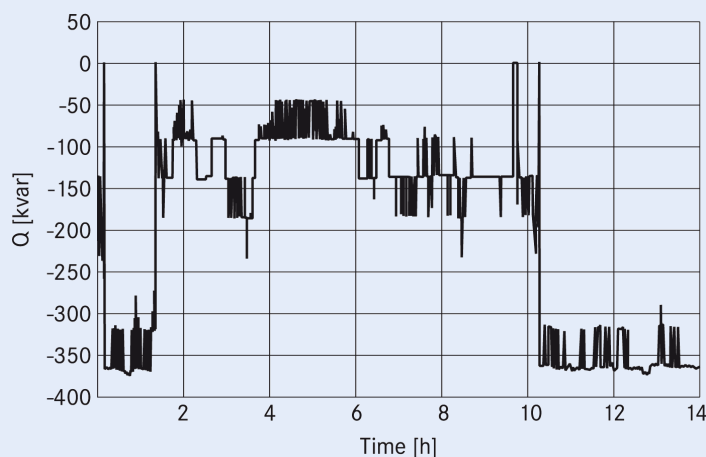
Der gemessene Leistungsfaktor lag aus zwei Gründen mehrfach unter 0,98. Zunächst ermöglicht die kleinste Stufe von 50 kvar nicht immer eine Feinabstimmung des Leistungsfaktors. Da eine Überkompensation vermieden werden muss, bleibt der erzielte Leistungsfaktor teilweise unter der Zielvorgabe. Außerdem stellte sich heraus, dass die installierte Kompensationsleistung für den Generator unter Vollast zu klein dimensioniert ist, obwohl die ursprüngliche Installation ebenfalls zu 400 kvar dimensioniert war. Aus diesem Grund war keine vollständige Kompensation der Anlage bei Vollast möglich. Allerdings trat der Zustand Vollast während der Messungen sehr selten auf.

## Applications & Cases

Abbildung 5 zeigt die netzseitig auftretende Blindleistung. Zu Beginn und am Ende der Messung ergab sich eine Blindleistung im Bereich von -350 kvar bei abgeschalteter BLK. Das negative Vorzeichen zeigt dabei an, dass es sich in diesem Fall um eine induktive Blindleistung handelt. Mit dem Einschalten der Blindleistungskompensation verringerte sich die Blindleistung sofort auf erheblich kleinere Werte. Bereits aus der Messung des Leistungsfaktors ging hervor, dass die Blindleistung aus den vorher genannten Gründen nicht auf konstant Null verblieb. Die schnellen Reaktionen auf Lastveränderungen des DynaWind-Systems sind in der Messung klar erkennbar.



ABBILDUNG 5: NETZSEITIGE BLINDLEISTUNG



Jeder Schritt in diesem Diagramm repräsentiert einen Schaltvorgang, der in der Regel 50 kvar schaltet.

### Schnelle Thyristormodule

EPCOS-Kondensatoren sind beim Einsatz von Kondensatorschützen für maximal 5000 Schaltvorgänge pro Jahr spezifiziert. Diese Anzahl entspricht ungefähr acht Schaltvorgängen innerhalb der dargestellten Zeitdauer von 14 Stunden (Abbildung 5). Es lässt sich leicht erkennen, dass in Windkraftanlagen eine erheblich höhere Anzahl von Schaltvorgängen notwendig ist. In der Praxis können bis zu 150 000 Schaltprozesse pro Jahr erreicht werden, und die Gefahr eines Ausfalls der Kondensatoren beziehungsweise der elektromechanischen Schütze mit entsprechenden Konsequenzen ist nicht zu vernachlässigen. Der Thyristorschalter löst dieses Problem durch belastungsfreies Schalten der Kondensatoren und ermöglicht so nicht nur schnelle, sondern auch eine nahezu beliebige Anzahl von Schaltvorgängen.

### Optimale Kühlung

Von großer Bedeutung ist zudem die Kühlung der Installationen. Die verwendeten elektronischen Bauelemente, wie z.B. Thyristoren oder Kondensatoren erzeugen Verlustwärme. Zusätzlich kann es im Inneren von Windkraftanlagen durch Ihre Exposition zum Sonnenlicht zu hohen Temperaturen kommen. Vor allem im Sommer können Mittelwerte über 40 °C und Spitzenwerte über 60 °C in solchen Anlagen erreicht werden. Standard-MKK- und -MKP-Kondensatoren sind in der nach IEC 60831 höchsten Temperaturklasse für Kondensatoren -40/D definiert und damit für eine mittlere Dauertemperatur von 35 °C ausgelegt. Ein Überschreiten dieser Temperaturgrenzen verringert ihre Lebensdauer ganz wesentlich: Eine pauschale Regel besagt, dass für jeweils 7 K Temperaturanstieg die Lebenserwartung eines Kondensators um den Faktor 0,5 sinkt.

Dieses Problem lässt sich durch eine optimierte Kühlung oder durch Verwendung eines anderen Kondensator-Typs lösen, der für höhere Betriebstemperaturen ausgelegt ist, wie beispielsweise die MKV-Kondensatoren von EPCOS mit einer erlaubten Dauerbetriebstemperatur von 45 °C bzw. kurzfristig 70 °C. Dieser Kondensator-Typ weist darüber hinaus auch eine höhere Impulsfestigkeit bis zum 300fachen des Nennstromes auf, so dass er in der Lage ist, höheren Einschaltstrom-Belastungen stand zu halten als MKK- oder MKP-Kondensatoren. Dank dieser Eigenschaften sind MKV-Kondensatoren von EPCOS besonders auch für konventionelle BLK-Systeme geeignet, bei denen keine schonende Aufschaltung über Thyristoren erfolgt.

---

## Applications & Cases

---

Alle erwähnten Kondensatortypen sind selbstheilend, das heißt, bei einem Durchschlag des Dielektrikums verdampft die Metallisierung an der Schadstelle, wodurch kein bleibender Kurzschluss entsteht. Sie verfügen zusätzlich über eine interne Abreißsicherung. Diese löst aus, wenn der Kondensator sich dem Ende seiner Lebensdauer nähert und im Inneren ein unzulässig hoher Druck entsteht.

EPCOS bietet für dynamische wie auch konventionelle und statische BLK-Systeme alle wichtigen Schlüsselbauelemente.

Autor: Peter Goldstrass, Product Marketing Manager Power Factor Correction