

Blindstrom-Kompensations-Kondensatoren sanft schalten

Definition des Blindstroms

Blindstrom fließt zusätzlich zum Wirkstrom durch das Stromnetz, wenn induktive Verbraucher, wie Transformatoren oder Motoren, eingeschaltet werden. Diese müssen für ihren Betrieb ein Magnetfeld im Eisenkern aufbauen, wobei das Eisen ständig ummagnetisiert wird, und benötigen dazu Blindstrom. Mit der Spannung sowie der Größe des Eisenkerns steigt der Blindstrom. Der höchste Magnetisierungsstrom fließt immer erst am Ende einer Spannungshalbwelle, weil dann das Eisen – je nach Induktionsreserven – schon leicht gesättigt ist. Daher spricht man auch vom Nach-

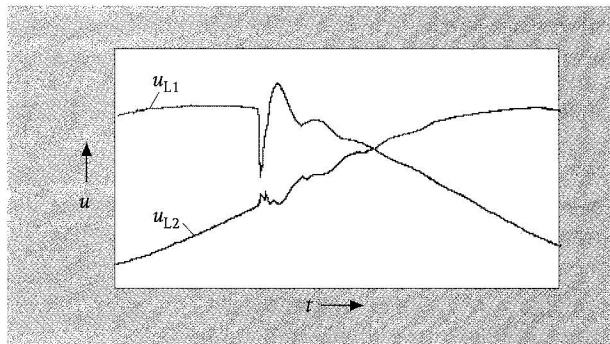


Bild 1. Spannungseinbruch beim Einschalten eines 30-kvar-Blindstrom-Kondensators ohne Drosselspule und Vorladung

eilen des induktiven Blindstroms, der den Namen der Tatsache verdankt, daß kWh-Zähler für Wirkstrom diesen nicht zählen können. Der Blindstrom fällt beim Betrieb dieser Geräte also zwangsläufig an.

Nach Angaben der deutschen Stromerzeuger erfordert die Bereitstellung des Blindstrombedarfs für induktive Leistung Investitionen im Stromverteilungsnetz von 3000 DM/kVA. Läßt sich die Übertragung von Blindstrom in den Verteilungsnetzen vermeiden, so nimmt deren Leistungsfähigkeit zu. Bei Stromfernübertragung in den USA wird das teilweise schon ausgenutzt, indem man die Blindströme an Anfang und Ende der Leitung kompensiert. Eine Kompensation des Blind-

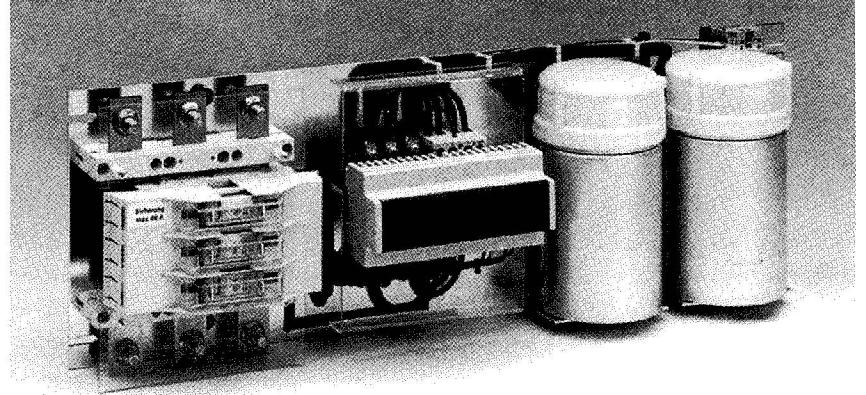


Bild 3. Der Kondensatorschalter KSE (Foto: KBR)

stroms mit Kondensatoren direkt am Entstehungsort behebt die Probleme an der Quelle.

Aus dem Netz entnommener Blindstrom bleibt für den Verbraucher in der Regel bis zur Hälfte des entnommenen Wirkstroms kostenfrei. Dieser belastet jedoch auch bei kleineren Arbeitswerten das Stromnetz und sollte möglichst *direkt* am induktiven Verbraucher oder *zentral* in einer gemeinsamen Station für mehrere Verbraucher kompensiert werden. Dabei entnimmt man den Blindstrom nicht aus dem Netz sondern aus dafür installierten Kondensatoren. Der Blindstrom fließt dann nicht mehr vom Stromerzeuger zum Verbraucher, sondern nur noch zwischen Kondensator und Verbraucher.

Ein weiterer Sonderfall

Beim Starten von Transformatoren oder Motoren fließen außerdem größere Spitzen-Blindströme weil das Transformator-Eisen anfangs in Sättigung geht. Dabei überschreiten die Stromstöße für einige Netzhalbwellen den bis zu 50fachen Wert des Nennstroms. Die dem Netz entnommene Wirk- und Blindleistung, wird bei In-

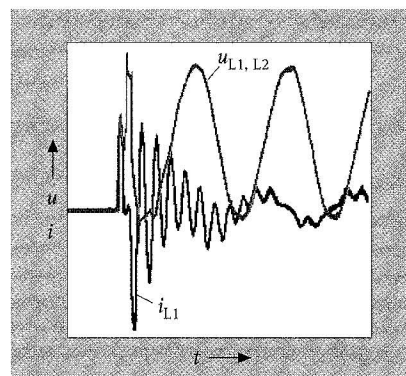


Bild 2. Verdrosselter Blindstrom-Kompensator mit Widerstandsvorladung über Schütz eingeschaltet

dustrieverbrauchern zur Messung in viertelstündlichen Perioden aufintegriert und darf nicht über einen bestellten Wert steigen. Daher wirken sich die kurzzeitigen Einschalt-Blindstromstöße nicht auf die Leistungsmessung aus, müssen also nicht bezahlt werden obwohl diese das Netz stark belasten. Einschaltstromstöße belasten die Netzqualität, weil dadurch Netzspannungseinbrüche entstehen, die andere Verbraucher stören können.

Es gibt inzwischen verschiedene Transformator-Sanfteinschalter die jeden Ein- oder Dreiphasen-Transformator bis 400 V und bis 500 A ohne Stromstoß einschalten. „Motorsoftstarter“ zahlreicher Hersteller vermeiden Einschaltstromstöße bei Motoren.

Seit kurzem lassen sich nicht nur Betriebs-Blindströme sondern auch Einschalt-Blindstromstöße mit Hilfe kurzzeitig wirkender erhöhter kapazitiver Kompensation direkt am Entstehungsort ausgleichen. Die Voraussetzung hierfür stellen schnell schaltende Kompensationen dar, die bisher noch nicht erhältlich waren.

Bisher gebräuchliche Blindstromkompensation

Zur Magnetisierungsarbeit benötigten, dauernd fließenden Blindstrom, der durch den Betrieb von Motoren hervorgerufen wird, kompensiert man durch Parallelschaltung geeigneter Kondensatoren zum induktiven Verbraucher. Diese erzeugen einen kapazitiven Blindstrom – um 180° phasenverschoben gegenüber dem induktiven Strom.

Der Mittelwert des Blindstroms mehrerer induktiver Verbraucher ändert sich nicht sprunghaft. Daher genügt es, zentral aufgestellte Blindstromkompensationskondensatoren in passenden Stufen, entsprechend der Kostenverrechnungs-Meßzeit, mit einer Pe-

riode > 1 min durch einen Regler zu überwachen sowie zu- oder wegzuschalten.

Soll aber ein einzelner großer Motor oder ein Transformator zum Punktschweißen mit kürzerer Schaltfrequenz als 1/min direkt mit einem Blindstromkondensator beschaltet werden, um den Betriebs-Blindstrom oder sogar den Einschaltstromstoß zu kompensieren, erfordert dies den Kompensator so oft wie den Motor verzögerungsfrei zu- und wegzuschalten.

Schaltet man Kondensatoren mit herkömmlichen mechanischen Schützen an das Netz, werden große ka-

Stand der Technik war bisher die Blindstromkondensatoren zu verdrosseln und mit speziellen Kondensatorschützen zu schalten. Diese haben einen voreilend schließenden Kontaktsatz über den mit Vorladewiderständen von wenigen Ω , die Kondensatoren bis zum Schließen der Hauptkontakte in einigen ms auf halbe Netzspannung vorgeladen werden. Der Einschaltstromstoß beträgt dann noch etwa das zehnfache des Nennstroms (Bild 2).

Die Kondensatoren müssen jedoch vor dem Einschalten immer entladen sein. Um Schütze, Kondensatoren und Vorladewiderstände nicht zu überla-

Der Anfang des Spannungsverlaufs am Kondensator – $U_{L1,L2}$ bei 0 V in der Mitte der Spannungskurve – zeigt, daß der Kondensator vor dem Einschalten entladen war. Auch bei halb oder ganz geladenem Kondensatorpaket fließt beim Einschalten immer nur der Nennstrom.

Damit an den elektronischen Leistungsschaltern keine Wärme entsteht, die im Schaltschrank abgeführt werden muß, schaltet man bei längerdauerndem Betrieb und ab einer Temperatur von etwa 45 °C an den Leistungsschaltern, ein Schütz in AC1-Klasse parallel. Dieses Schütz schaltet

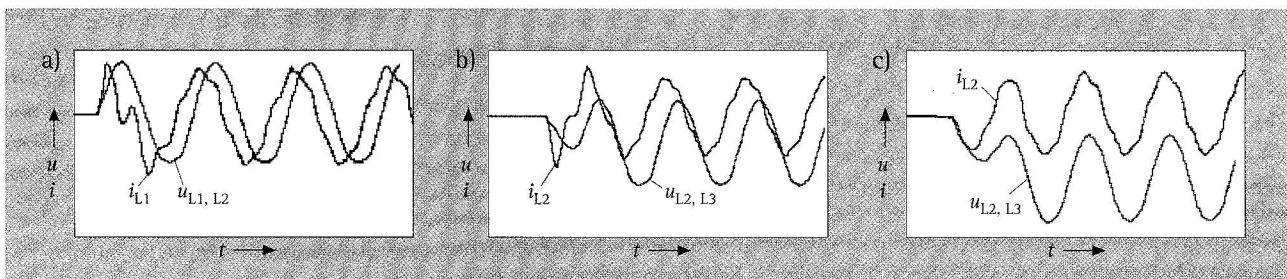


Bild 4. Mit dem Kondensatorschalter KSE eingeschaltener Blindstrom-Kondensator
a) leer
b) halbvoll
c) voll

pazitive Einschaltstromstöße erzeugt. Denn ein Schütz kann nicht reproduzierbar und verlässlich im Spannungsnulldurchgang schalten. Außerdem ist der Blindstromkondensator nicht entladen wenn dieser in schneller Folge dazugeschaltet wird. Folglich fließt ein großer Ausgleichsstrom durch den Kondensator. Dies belastet die Schützkontakte und den Kondensator. Darüber hinaus führen die großen Stromstöße im Netz zu Spannungseinbrüchen oder Überspannungsspitzen, was andere Verbraucher empfindlich stören kann.

Bereits ein unverdrosseltes und entladenes 30-kvar-Blindstromkondensatorpaket, das alle 5 Minuten eingeschaltet wurde, führte im Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF), Freiburg, zu großen Spannungseinbrüchen (Bild 1) von mehr als 300 V über 100 μ s, die andere Geräte, wie Computer-Monitore, beschädigten. Das Verdrosseln der Kondensatoren verringerte die Spannungseinbrüche sowie die Belastung der Schützkontakte durch große Stromstöße, beseitigt diese aber nicht.

sten, wird die Einschalthäufigkeit auf etwa 30/h begrenzt. Daher eignet sich diese Methode nicht zur Direktkompensation häufig geschalteter induktiver Verbraucher.

Schnell schaltende Kompensatoren

Bei weiten Entfernungen zwischen einem großen Motor und der Netzeinspeisestelle bricht die Spannung beim Einschalten des Motors für Verbraucher in der Umgebung weniger stark ein, wenn der entstehende Blindstrom direkt kompensiert wird. Dafür benötigt man schnell schaltende Kompensatoren.

Daher hat das IAF in Zusammenarbeit mit Emeko-Ingenieurbüro, Freiburg, und KBR GmbH, Schwabach, einem Hersteller von Blindstromkompensatoren, den schnellen Kondensatorschalter KSE entwickelt (Bild 3), der die Kondensatoren ohne Stromstoß einschaltet, auch wenn diese teilweise oder ganz aufgeladen sind. Die maximale Ein- und Ausschaltverzögerung beträgt < 20 ms. Bild 4 dokumentiert das Einschaltverhalten.

erst nach dem Einschalten ein sowie vor dem Ausschalten der elektronischen Leistungsschalter aus und hat somit keine Kontakt-Abbrandbelastung.

Außerdem können die großen und trägen Schmelzsicherungsätze zum Absichern der Kompensationsgruppe entfallen. Es genügt schnell schaltende Schutzschalter der B-Klasse zu verwenden, die in 10 ms beim fünffachen Nennstrom ausschalten. Damit lassen sich die Kondensatoren wesentlich besser als bisher vor Überlastung sowie Explosion schützen.

Die neuen Kompensationen ermöglichen, schnell und verschleißfrei zu schalten, ohne dabei Netzstörungen durch Stromstöße zu erzeugen.

M. Konstanzer ■

Innovative Lösungen mit traditioneller Technik

Die Mikrosystemtechnik wird sich nach Ansicht von Dr.-Ing. Tom Sommerlatte, Europadirektor und Senior