

Verlustoptimierte Beseitigung von Oberschwingungen und Resonanzen

Lokales Energierecycling mit spannungsgeführten Aktivfiltern

Der Einsatz und die Auswahl von Filtersystemen zur Sicherstellung der Spannungsqualität in elektrischen Energieversorgungsnetzen ist stets daran gebunden, einen geeigneten Kompromiss zwischen den Stärken und Schwächen der einzelnen Methodiken zu finden. Wenn in Netzen neben niederfrequenten Oberschwingungen zusätzlich Netzresonanzen auftreten, schränkt das die Auswahl geeigneter Filtermaßnahmen weiter ein. In diesem Fall bietet das Prinzip eines spannungsgeführten Aktivfilters, welches die klassischen Oberschwingungen reduziert und mittels lokalen Energierecycling Resonanzen bedämpft, eine attraktive und verlustoptimierte Lösung.



Der stetig wachsende Energiebedarf in modernen Industrienetzen erfordert effiziente und nachhaltige Produktlösungen zur Sicherstellung der Spannungsqualität nach IEC 61000-2-4

Quelle: Adobe Stock



Katharina Figge, Technik Leistungselektronik, Condensator Dominit GmbH, Brilon



Oliver Kuhnhenne, Technik Leistungselektronik, Condensator Dominit GmbH, Brilon

Oberschwingungen sind ein ganzzahliges Vielfaches der Netzfrequenz und entstehen aufgrund von Betriebsmitteln mit nicht-linearer Strom-Spannungscharakteristik oder nicht stationärem Betriebsverhalten. Die Oberschwingungsströme dieser Verbraucher treffen im Netz auf die Impedanz des speisenden Transformators und bilden nach dem Ohmschen Gesetz Störpegel und verzerren die Netzspannung.

Als Produktleitnorm gibt die IEC 61000-2-4 fest definierte Grenzwerte

für die maximal zulässige Spannungsverzerrung vor. Bei Überschreitung dieser Grenzwerte dürfen Betriebsmittel und Prozesse gestört werden, ohne dass deren Hersteller in die Haftung genommen werden können. Der Kunde muss in solchen Fällen die Kosten für Reparaturen und Produktionsausfälle selbst tragen. Die finanziellen Zusatzbelastungen können sich dabei auf ein Vielfaches dessen belaufen, was geeignete Filtermaßnahmen zur Reduzierung der Spannungsverzerrung gekostet hätten.

Zunehmende Resonanzphänomene

Neben der gut bekannten Oberschwingungsproblematik hat in den letzten Jahren vor allem die Belastung durch Resonanzphänomene zugenommen. Eine Resonanz bezeichnet physikalisch ein schwingungsfähiges Gebilde, das bereits durch eine geringe äußere Kraft zu einer Schwingung mit hoher Amplitude angeregt werden kann. In elektrischen Systemen bildet eine Kombination aus Induktivitäten und Kapazitäten ein resonanzfähiges System, welches elektrisch gesehen zu einer überdurchschnittlichen Impedanzerhöhung führt. Bei welcher Frequenz die Resonanzstelle sich entwickelt, hängt davon ab, wie leistungsstark das Netz ist und wie viele Kondensatoren in Betrieb sind. Die resultierende Resonanzfrequenz berechnet sich nach der Formel:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Dabei bestimmt der speisende Transformator mit seiner ohmsch-induktiven Charakteristik maßgeblich die Induktivität. Der kapazitive Anteil setzt sich aus verschiedenen Betriebsmitteln zusammen, etwa aus EMV-Filtern von Umrichtern, unverdrosselten Kompensationsanlagen, ausgedehnten Kabelnetzen oder Glättungskondensatoren. Abbildung 1 zeigt die resultierende Im-

pedanzerhöhung aufgrund einer Resonanz in einem Industrienetz gespeist mit einem Transformator mit 1600 kVA und 6 % Kurzschlussspannung. Die vorgelagerte Netzebene wurde mit einer Kurzschlussleistung von 80 MVA berücksichtigt. In diesem Beispiel eines 400 V-Netzes bildet sich durch die Installation einer unverdrosselten kapazitiven Leistung von 40 kVAr (2,5 % der Transformatorleistung) eine Resonanzstelle bei der 23. Ordnung aus. Insgesamt wird die Netzimpedanz bis zur $\sqrt{2}$ -fachen der Resonanzfrequenz, also bis zur 32. Ordnung, verstärkt.

Wenn in dem Netz im Bereich der Resonanzfrequenz ein Oberschwingungsstrom auftritt, kann bereits eine geringe Amplitude eine ausgeprägte Resonanzschwingung anregen und erhebliche Spannungspegel verursachen. Aber nicht nur bei der Polstelle selbst, sondern im gesamten Band der Impedanzverstärkung werden etwaige Spannungspegel angehoben. Resonanzen lassen sich nur mit der Einbringung von verlustbehafteter Dämpfung ins Netz effektiv beseitigen.

Die Grenzen passiver und aktiver Filtertechnologien

Zur Verbesserung der Spannungsqualität existieren verschiedene Filtertechnologien, die sich grundsätzlich in aktive und passive Filter unterscheiden. Wenn in einem Netz

klassische Oberschwingungen und Resonanzprobleme gleichzeitig auftreten, kommen bisherige Filterlösungen an ihre Grenzen. Passive Filter bestehen aus einer Kombination eines Kondensators und einer Induktivität, die so abgestimmt ist, dass das Filter eine bestimmte Saugwirkung bei einer definierten Frequenz, der Abstimmfrequenz, liefert. Ein passives Filter verhält sich somit genau entgegengesetzt zu einer resonanzbedingten Polstelle, da es bei der Abstimmfrequenz ein Impedanzminimum aufweist.

Eine Resonanz kann allerdings mit einem Passivfilter nicht eliminiert werden, da das Filter keine Dämpfung in das Netz bringt. Mit den zusätzlich eingebrachten kapazitiven und induktiven Elementen verschiebt sich die Resonanzstelle lediglich zu einer höheren Frequenz. Das Resonanzproblem kann also nicht grundsätzlich beseitigt werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass in dem neuen Frequenzbereich ebenfalls eine anregende Störgröße auftritt, ist sehr groß.

Auch die zum Standard der Filtertechnologien gehörenden Aktivfilter kommen bei Resonanzphänomenen an ihre Grenzen. Ein herkömmliches stromgeführtes Aktivfilter misst den Netz- oder Laststrom und speist daraufhin einen um 180° phasenverschobenen Filterstrom ein, um den Oberschwingungsstrom am Netzverknüpfungspunkt im Idealfall komplett zu kompensieren. Wenn

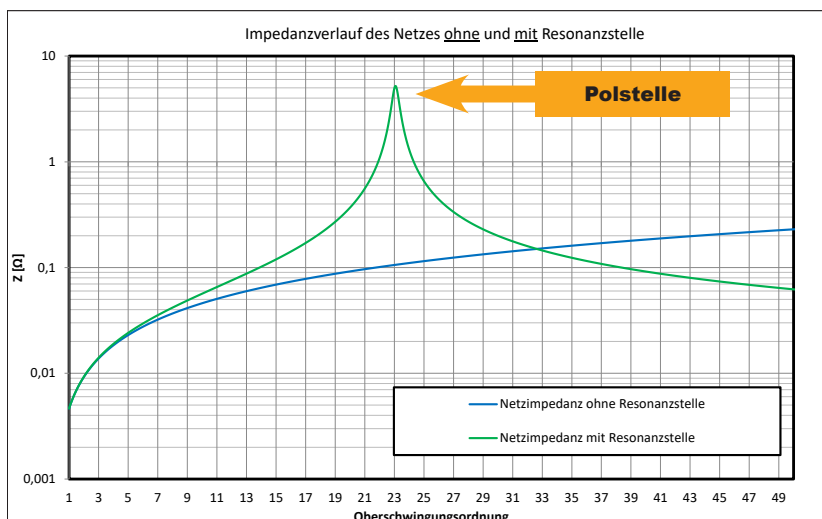


Abbildung 1. Impedanzverlauf des Beispielnetzes mit und ohne Resonanzstelle

Quelle: Condensator Dominit



Abbildung 2. Spannungsführendes Aktivfilter mit Siliziumkarbid in flexibler Modulbauweise

Quelle: Condensator Dominit

ein Aktivfilter einen Filterstrom bei oder in der Nähe einer Resonanzstelle einspeist, besteht jedoch die Gefahr, dass es selbst die Resonanzstelle zum Schwingen anregt oder eine bereits vorhandene Oszillation hinsichtlich der Störampplitude noch verstärkt.

Somit kann fatalerweise das Einbringen eines Aktivfilters zur Bekämpfung von Oberschwingungen genau zum entgegengesetzten Effekt führen. Der Regelalgorithmus des Aktivfilters muss insofern unbedingt zulassen, dass Resonanzen zuverlässig erkannt werden und bei den entsprechenden Ordnungen vorsorglich kein Strom ins Netz eingespeist wird.

Dämpfung in das System bringen

Somit lassen sich mit den herkömmlichen Filtern zwar klassische Oberschwingungen bekämpfen, treten in einem Netz allerdings resonanzbedingte Störpegel auf, kommen beide Filtertechnologien an ihre Grenzen. Die einzige Möglichkeit, eine resonanzbedingte Impedanzerhöhung und die daraus resultierenden Störpegel zu reduzieren, ist Dämpfung in das System zu bringen. Dämpfung im elektrischen System ist gleichzusetzen mit dem Bauelement eines ohmschen Widerstandes. Ein passives bedämpftes Hochpassfilter entzieht der Resonanz die Schwingungsenergie, die zwischen den kapazitiven und induktiven Bauelementen pendelt, und setzt diese im Dämpfungswiderstand in Wärme um. Ein solches Filter hat gerade im höheren kHz-Bereich eine breitbandige Filterwirkung, wobei bei der Auslegung ein Kompromiss zwischen Verlusten und Filterwirkung gefunden werden muss. Für die Filterung von klassischen Oberschwingungen im unteren Frequenzbereich ist das Hochpassfilter nicht prädestiniert. Dafür würde unverhältnismäßig viel Filterleistung gebraucht. Damit einhergehend würden die Verluste deutlich ansteigen und es wäre keine effiziente Filterung gegeben.

Wenn in einem Netz klassische Oberschwingungen und resonanzbedingte Impedanzerhöhungen gleichzeitig auftreten, ließen sich bisher die Probleme nur mit einer

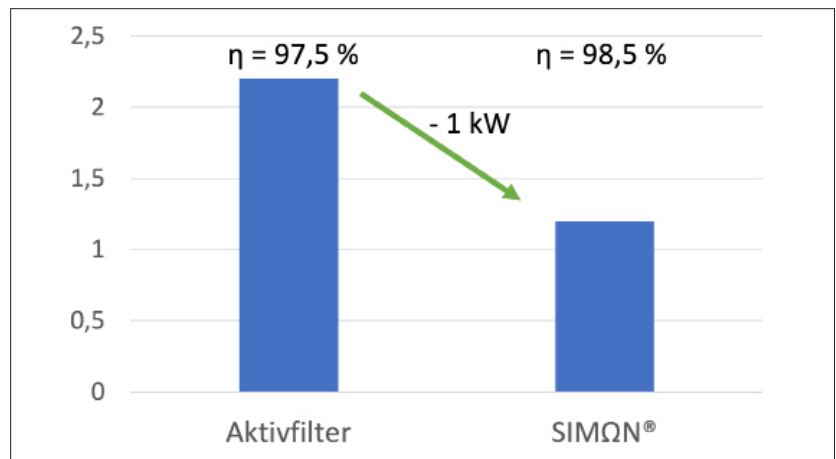


Abbildung 3. Leistungsvergleich eines stromgeführten Aktivfilters mit dem spannungsgeführten SIMON mit Siliziumkarbid Quelle: Condensator Dominitt

Kombination aus den bisher genannten Filtern ganzheitlich lösen, also ein aktives oder passives Filter in Kombination mit einem bedämpften Hochpassfilter. Die zwingend erforderliche Kombination aus Filtern führt in diesem Fall auch zu erhöhten Investitionskosten. Anders ist dies beim einem neuartigen spannungsgeführten Aktivfilter, wie das SIMON-Filter der Condensator Dominitt GmbH (Abbildung 2).

Kein Umsatz in Verlustleistung

Der aktive Gleichrichter simuliert das Verhalten eines Widerstands für alle Frequenzen außer der Grundschwingung. Dieses patentierte Regelverfahren führt Dämpfung in das Energieversorgungssystem ein und kann so Resonanzen eliminieren und breitbandig Spannungspegel reduzieren. Im Vergleich zu einem realen Widerstand, wie in einem bedämpften Hochpassfilter, setzt das SIMON-Filter in seiner Funktion als Widerstand die aufgenommene Wirkleistung nicht in Verlustleistung – also Wärme – um. Der aktive Widerstand ist somit bei weitem nicht so verlustbehaftet wie ein realer Widerstand gleichen Ohm-Wertes.

Durch das Regelverfahren wird die aufgenommene Wirkleistung aus den Oberschwingungen entnommen und in Form von Grundschwingungswirkleistung in den Netzknoten zurückgespeist. Der patentierte Algorithmus realisiert somit ein lokales Energierecycling am Netzknoten. Um einen hohen Anteil der

aufgenommenen Wirkleistung zurückspeisen zu können und somit die Verluste, die mit einer Dämpfung einhergehen, klein zu halten, wurde das Filter hinsichtlich seiner Verlustleistung optimiert.

Halbleiter auf Basis von Siliziumkarbid

Dazu kommen Halbleiter auf Basis von Siliziumkarbid zum Einsatz. Siliziumkarbid unterscheidet sich im Vergleich zu Silizium durch einen höheren Temperaturarbeitsbereich, sowie geringere Leit- und Schaltverluste. Von der Leistungsklasse vergleichbare stromgeführte Aktivfilter liefern momentan Verluste in Höhe von ca. 2,2 kW bei einem Filterstrom von 125 A. Dies entspricht einem Wirkungsgrad von 97,5 %.

Mit dem Einsatz von Siliziumkarbid können die Verluste in einem vergleichbaren SIMON-Filter auf 1,2 kW reduziert werden, was eine Verbesserung im Wirkungsgrad von 1 % auf 98,5 % bedeutet. Abbildung 3 veranschaulicht den Leistungsvergleich. Neben der eingesparten Verlustleistung resultiert die reduzierte Verlustleistung auch in einem deutlich geringeren Aufwand für die Klimatechnik. Jedes eingesparte Watt, spart auch Wärme und somit Klimatechnik.

Weiterhin werden im Vergleich zu einem stromgeführten Aktivfilter aufgrund des spannungsgeführten Filterprinzips keine Stromwandlersignale benötigt. Die aufwändige Installation von Stromwandlern im Netz kann dadurch umgangen

werden. Neben der Funktion der Resonanzbedämpfung sind im SIMON-Filter zusätzlich weitere Filterfunktionen integriert, sodass auch klassische Oberschwingungen der 5., 7., 11. und 13. Ordnung gezielt diskret befiltert werden können. So kann das Filter flexibel je nach Bedarf im Netz eingesetzt werden und dabei sowohl klassische Oberschwingungen als auch resonanzbedingte Störpegel effektiv und verlustoptimiert reduzieren.

Fazit

Die Belastung von Stromnetzen mit Oberschwingungen und Resonanzen nimmt stetig zu, wodurch der Einsatz von geeigneten Gegenmaßnahmen auch künftig ein vorrangiger Bestandteil zur Verbesserung und Sicherstellung der Spannungsqualität bleiben wird. Das spannungsgeführte Aktivfilter SIMON kann mittels lokalem Energierecycling von Oberschwingungen resonanzbedingte Impedanzerhöhungen effektiv und verlustoptimiert bedämpfen. Es kommt vornehmlich da zum Einsatz, wo herkömmliche passive und aktive Filter an ihre Grenzen stoßen. Weiterhin kann das Filter ergänzend die Aufgaben dieser herkömmlichen Filter übernehmen und auch klassische Oberschwingungen diskret befiltern.

Weitere Informationen erhalten Sie auch auf unserem Stand auf der Hannover Messe, Halle 13, Stand E83

katharina.figge@dominit.eu

oliver.kuhnhenne@dominit.eu

www.condensator-dominit.de