



**TRANSFORMER-LIFE-MANAGEMENT
CONFERENCE**

Blindleistungskompensation mit Drosseln im Verteil- und Übertragungsnetz

Franz Schatzl **SGB, Regensburg**



Franz Schatzl hat an der Technischen Universität Wien Elektrotechnik mit Schwerpunkt Energietechnik studiert. Seine berufliche Laufbahn hat er 1999 bei Siemens Transformers Austria (STA) AG als Berechnungsingenieur für Transformatoren begonnen.

In seiner Tätigkeit war er für spezielle Projekte wie die Entwicklung von Geräusch-reduktionsmaßnahmen bei Transformatoren und die Einführung von alternativen Isolierflüssigkeiten verantwortlich.

Im Zeitraum von 2007 bis 2009 hat er die Berechnungsabteilung geleitet. Seit 2010 ist Hr. Schatzl Technischer Leiter im Bereich Netztransformatoren der SGB in Regensburg.

Er ist Mitglied im DKE K321 sowie in IEC und CIGRE Arbeitsgruppen und Autor von verschiedenen Artikeln zum Thema Leistungstransformatoren





Blindleistungskompensation mit Drosseln im Verteil- und Übertragungsnetz

Blindleistungskompensation mit Drosseln im Verteil- und Übertragungsnetz

Franz Schatzl

Einführung [1]

In Verteil- und Übertragungsnetzen tritt meist keine rein ohmsche Last auf, sondern es kommt zusätzlich eine induktive Komponente durch Verbraucher, die für ihre Funktion ein magnetisches Feld benötigen wie z.B. Asynchronmotoren, Drosselspulen und Transformatoren oder eine kapazitive Komponente durch die Kapazitäten der Leitung hinzu. Auch Stromrichter benötigen zur Kommutierung Blindstrom.

Der zum Aufbau und Umpolen des magnetischen Feldes benutzte Strom verbraucht sich nicht, sondern pendelt als Blindstrom zwischen Generator und Verbraucher hin und her. Wie in Bild 1 gezeigt, decken sich die Nulldurchgänge von Spannung und Strom nicht mehr. Es tritt eine Phasenverschiebung auf. Bei induktiver Last eilt der Strom der Spannung nach, bei kapazitiver Last eilt der Strom der Spannung voraus. Berechnet man jetzt nach $(U) \cdot (I) = (P)$ die Augenblickswerte der Leistung, so erhält man immer dann negative Werte, wenn einer der beiden Faktoren negativ wird. Hier wurde als Beispiel eine Phasenverschiebung von $\phi = 45^\circ$ gewählt. Dies entspricht einem induktiven $\cos \phi$ von 0,707. Die Leistungskurve verläuft zum Teil im negativen Bereich. Die Wirkleistung errechnet sich in diesem Fall aus:

$$P = U \cdot I \cdot \cos(\phi)$$

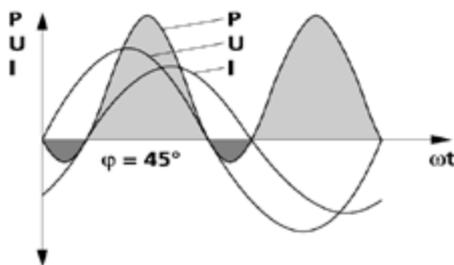


Bild 1: Phasenverschiebung zw. Strom und Spannung

Wenn Spannungs- und Stromkurve um 90° gegeneinander verschoben sind, verläuft die Leistungskurve zur einen Hälfte im positiven, zur anderen im negativen Bereich. Die Wirkleistung ist 0, da positive und negative Flächen sich gegenseitig aufheben.

Blindleistung ist die zum Auf- und Abbau des magnetischen bzw. des elektrischen Feldes zwischen Generator und Verbraucher im Takt der Netzfrequenz pendelnde Leistung.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(\phi)$$

Die Scheinleistung ist entscheidend für die Belastung der elektrischen Leitungsnetze. Generatoren, Transformatoren, Schaltanlagen, Sicherungen und Leitungsquerschnitte müssen für die auftretende Scheinleistung dimensioniert sein. Die Scheinleistung ist das ohne Berücksichtigung der Phasenverschiebung gewonnene Produkt aus Spannung und Strom.

$$S = U \cdot I$$

Die Scheinleistung ergibt sich aus der geometrischen Addition von Wirkleistung und Blindleistung (Bild 2):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

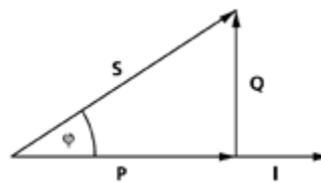


Bild 2: Leistungsreieck

Im Bereich der Energieübertragungs- und Verteilungsnetzen ist die Blindleistungskompensation aufgrund zweier Effekte notwendig.

1. Ferranti-Effekt
2. Kompensation des kapazitiven Ladestroms

Ferranti-Effekt [2]

Dieser Effekt tritt auf, wenn lange Freileitungen oder Kabelstrecken mit hoher Betriebskapazität am abnahmeseitigen Ende durch Ausschalten des Leistungsschalters plötzlich entlastet werden, bzw. eine am Ende unbelastete Freileitung oder Kabelstrecke eingeschaltet wird.

Durch den Ferranti-Effekt treten betriebsfrequente Spannungsüberhöhung infolge des kapazitiven Ladestroms auf, die von dem Blindwiderstand (Reaktanz) der Freileitung oder der Kabelstrecke abhängen. Damit wird die Netzspannung U_E am unbelasteten Ende der Leitung um folgenden Faktor größer als die Netzspannung am Einspeisepunkt U_S :

Blindleistungskompensation mit Drosseln im Verteil- und Übertragungsnetz

$$\frac{U_E}{U_S} = \left(1 - \frac{L \cdot C \cdot \omega^2}{2}\right)^{-1}$$

Die Spannungserhöhungen nehmen zu, je länger die unbelastete Freileitung oder Kabelstrecke l und der damit steigende kapazitive Blindwiderstand der Leitung ist. Der induktive Blindwiderstand wirkt sich, wie auch der ohmsche Belag der Leitung, reduzierend aus. Beim Zuschalten einer unbelasteten Freileitung oder Kabelstrecke treten noch zusätzlich transiente Vorgänge (Schaltüberspannungen) auf.

Zur Reduzierung des Ferranti-Effektes werden Drosselspulen eingesetzt. Diese Drosseln werden je Leiter gegen Erde angeschaltet und vergrößern den induktiven Blindwiderstand der Leitung und wirken so reduzierend auf die Spannungsüberhöhung (Bild 3). Mit der Wahl der Spulenleistung kann die zeitweilige Spannungserhöhung bestimmt werden.

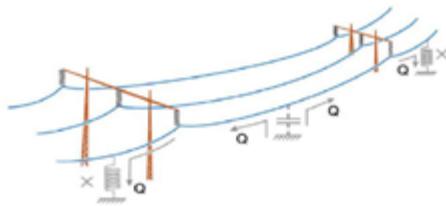


Bild 3: Übertragungsnetz mit Kompensationsdrosseln [3]

Kompensation des kapazitiven Ladestroms [3,4]

Der Einsatz von Drosselspulen am Anfang und am Ende der Leitung ergibt nicht nur eine Reduzierung des Ferranti-Effektes, sondern bewirkt auch eine Kompensation des kapazitiven Ladestromes bei Schwachlastbetrieb.

Ist eine Freileitung oder Kabelstrecke schwach belastet, steigt die Betriebsspannung am Ende an und kann kritische Werte erreichen (Bild 4). Mit Hilfe einer Drossel kann der kapazitive Ladestrom der Leitung kompensiert und die Spannung wieder in den Betriebsbereich reduziert werden (Bild 5).

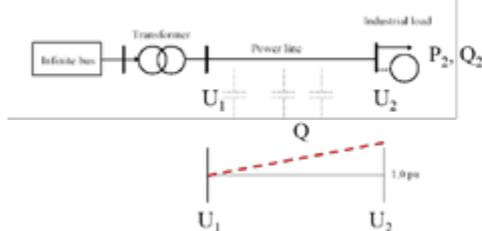


Bild 4: Spannungserhöhung entlang einer Leitung

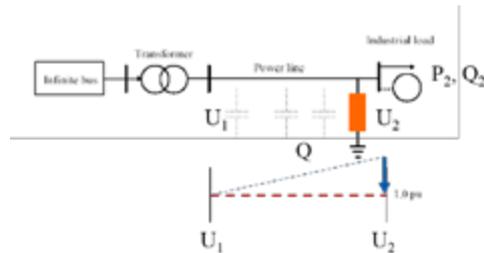


Bild 5: Reduktion der Spannung durch eine Kompensationsdrossel

Bauarten von Kompensationsdrosseln

Grundsätzlich unterscheidet man im Bereich der ölgekühlten Drosseln 2 Arten:

- Luftdrosseln
- Drosseln mit Eisenkern

Luftdrossel:

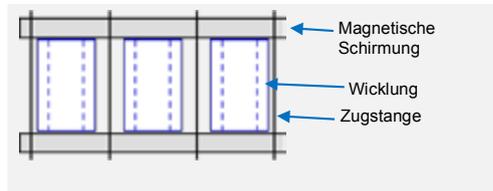


Bild 6: Aufbau einer Drossel ohne Eisenkern

Eine Luftdrossel besteht im Wesentlichen aus einer Wicklung je Phase und einer magnetischen Schirmung oben und unten um den Streufluss zu führen.

Drossel mit Eisenkern:

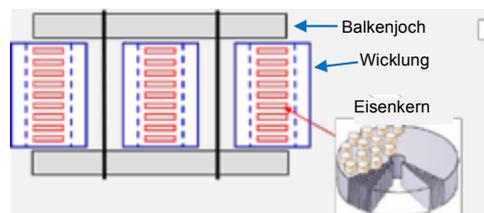


Bild 7: Aufbau einer Drossel mit Eisenkern

Eine Drossel mit Eisenkern ist ähnlich aufgebaut wie eine Luftdrossel, mit dem Unterschied, dass sie einen Eisenkern aus Paketen mit radialgeschichteten Kernblechen und Luftspalten aus Porzellan besitzt. Mit dieser Bauweise ist ein kompakteres Design möglich.

Blindleistungskompensation mit Drosseln im Verteil- und Übertragungsnetz

Variable Kompensationsdrossel(VSR)

Die Lastgangschwankungen über Saison, Tag und Tageszeit führen zu Spannungsänderungen über den Leitungen. Speziell durch die volatile Erzeugung durch Wind und Solarenergie kommt es zu sehr großen Änderungen der Energieflüsse in den Übertragungs- und Verteilungssystemen und daher zu Spannungsschwankungen. Vereinfacht ist dies in Bild 8 dargestellt. Mit steigender Belastung des Netzes sinkt die Spannung am Verbraucher und die Leitung ist induktiv überkompensiert.

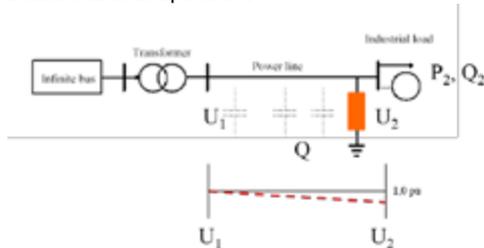


Bild 8: Überkompensation bei steigender Belastung des Netzes

Um diese ausgleichen zu können, ist es notwendig, dass die induktive Blindleistung variabel dem Netz zur Verfügung gestellt wird. Dies kann durch eine sogenannte variable Kompensationsdrossel (Variable Shunt Reactor VSR) erreicht werden. Eine VSR hat zusätzlich zur Hauptwicklung noch eine Regelwicklung deren Windungen mit Hilfe eines Stufenschalters variiert werden können und somit die Induktivität verändert wird. Die Änderung der Impedanz ist verkehrt proportional zum Quadrat der Windungszahl. Die Größe des Regelbereichs ist durch den verwendeten Stufenschalter aufgrund der Stufenspannung und der transienten Beanspruchung begrenzt. In Bild 9 ist der mögliche Regelbereich für VSR angegeben.

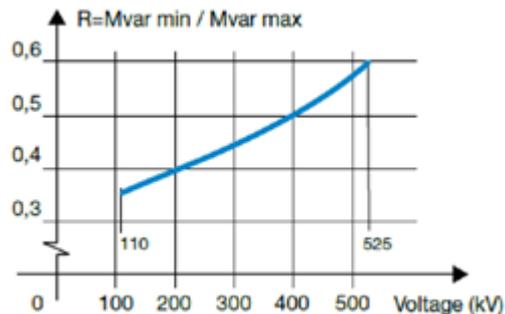


Bild 9: Regelbereich von Drosseln unterschiedlicher Spannungsebenen [3]

Zusammenfassung

Blindleistungskompensation mittels Drosseln ist eine kostengünstige Art die Netzeffizienz zu steigern. Durch eine optimale Kompensation des kapazitiven Ladestroms von Übertragungsleitungen ist es möglich die übertragbare Leistung zu erhöhen und die Verluste zu reduzieren.

Literaturhinweise

- [1] H.G. Mall Handbuch der Blindstrom-Kompensation.
- [2] H. Koettnitz, G. Winkler, K. Weißnigk: Grundlagen elektrischer Betriebsvorgänge in Elektroenergiesystemen. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig.
- [3] ABB, Variable Shunt Reactors
- [4] Abdulaziz M. S. Alboaijan. Reactive Power Compensation and Control via Shunt Reactors and Under Ground Power Cables
- [5] Siemens, Variable Shunt Reactors for flexible grids
- [6] Jakob Kepka, Reactive Power compensation, Master Thesis

Autorenanschrift

Franz Schatzl
Starkstrom Geräte Bau GmbH
Ohmstr.10
93055 Regensburg
Tel.: +49(0)941 7841 6574
Fax.: +49(0)941 7841 517
Email: franz.schatzl@sgb-trafo.de
www.sgb-smit.com

