

Komponenten für Blindstromkompensation

MADE IN GERMANY

Komponenten zur Blindstromkompensation.



Blindleistung Grundlagen

Blindleistungsregler

Leistungskondensatoren

Filterkreisdrosseln

Kondensatorschütze

Thyristorschalter

Messgeräte

Aktive Filter, passive Filter

Stromwandler

Supercaps

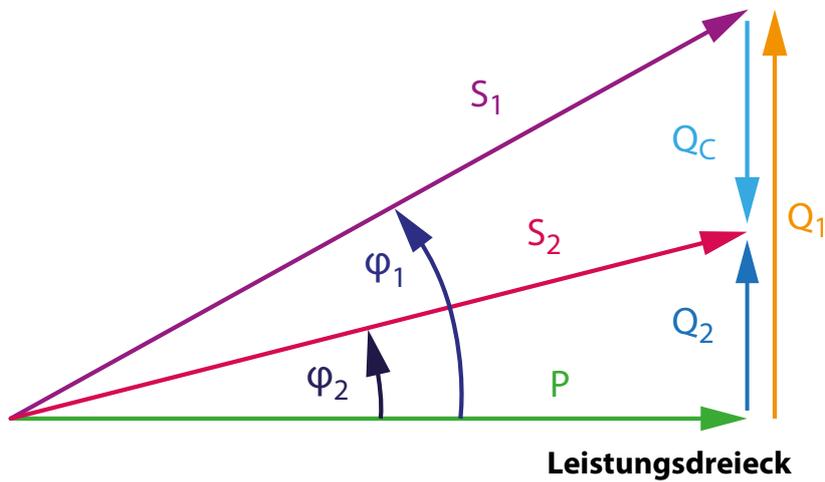


Blindleistung Grundlagen



Blindleistung ist die Leistung, die bei induktiven Verbrauchern, z. B. Motoren, Transformatoren, Vorschaltgeräten, Induktionsöfen, usw. also Spulen jeder Ausführung zur Erzeugung eines Magnetfeldes benötigt wird.

Die Blindleistung wird auch als Magnetisierungsleistung bezeichnet. Sie pendelt zwischen dem Verbraucher und dem Erzeuger (Energieversorger) mit dem Zweifachen der Netzfrequenz und belastet dabei Kabel, Sicherungen und Transformatoren.



- S_1 Scheinleistung ohne Kompensationsanlage
- S_2 Scheinleistung mit Kompensationsanlage
- Q_1 Blindleistung ohne Kompensationsanlage
- Q_2 Blindleistung mit Kompensationsanlage
- Q_c Kondensatorleistung
- P Wirkleistung
- φ_1 Leistungsfaktor unkompensiert
- φ_2 Leistungsfaktor kompensiert

Wie aus dem Leistungsdreieck zu ersehen ist, ergibt sich durch Einsatz einer Kompensationsanlage eine Senkung des Blindleistungsbedarfs (Blindarbeitskosten) und damit eine Scheinleistungsreduzierung.

Blindstromkompensation

In der Praxis tauchen oft viele Fragen in Bezug auf die Blindstromkompensation in den gewerblichen und industriellen Stromnetzen auf.

In der Technik versteht man unter dem Begriff Kompensation, dass verschiedene Größen gegeneinander wirken und sich möglichst aufheben. Ziel ist es einer störenden physikalischen Größe, durch entgegenstellen einer Zweiten, deren unerwünschten Effekt aufzuheben. In unserem Fall wollen wir die induktive durch eine kapazitive Blindleistung kompensieren.

Elektrische Energie, die durch Kraftwerke oder regenerative Methoden erzeugt werden, wird abhängig vom Verbraucher großteils in nutzbare Energie wie z. B. Licht, Wärme oder Bewegungsenergie umgewandelt. Ein Teil der Verbraucher entnehmen dem Energieversorgungsnetz induktive Blindleistung, die für die Erzeugung eines Magnetfeldes benötigt wird. Typische induktive Verbraucher sind Motoren und Transformatoren.

Die aufgenommene Wirkleistung, die sich aus dem Produkt von Spannung und Strom ergibt, wird vom Energieversorger als verbrauchte Energie in kWh verrechnet. Anders verhält es sich mit der Blindleistung. Diese pendelt zwischen Erzeuger und Verbraucher und wird in diesem Sinne nicht „verbraucht“.



Energieübertragung ohne Kompensation

Warum verrechnet der Energieversorger die Blindarbeit?

Das Maß der Belastung von Netztransformatoren, Freileitungen und Kraftwerken wird in Scheinleistung (S) ausgedrückt. Diese errechnet sich aus der Wirk- (P) und Blindleistung (Q).

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

Aus der Formel kann ersehen werden, dass die Übertragungseinrichtungen des Netzbetreibers durch die Blindleistung zusätzlich belastet werden. Um die stromabhängigen Verluste gering zu halten und einen ökonomischen Energietransport zu gewährleisten, schreiben die Netzbetreiber einen minimalen Leistungsfaktor $\cos\varphi$ vor. Dieser beschreibt das Verhältnis von Wirk- zu Scheinleistung.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

In den Energiezählern für Gewerbe und Industriebetriebe wird außer der Wirkarbeit auch die Blindarbeit gemessen und laut Stromlieferungsvertrag verrechnet. Bei den meisten Energieversorgungsnetzen wird ein $\cos\varphi$ von 0,9 vorgeschrieben. Hier kann die Hälfte der bezogenen Wirkarbeit im Abrechnungszeitraum als Blindarbeit dem Energieversorgungsnetz kostenfrei entnommen werden.

Weitere Gründe für die Blindstromkompensation

Die Hauptaufgabe einer Kompensation besteht also darin die Blindstromkosten, welche vom Energieversorger verrechnet werden auf „null“ zu senken.

Ein weiterer Grund ist die Stromentlastung durch die Blindleistungskompensation. Sehen wir uns die Formel für die Wirkleistung an:

$$P = U \times I \times \cos\varphi \times \sqrt{3}$$

Stellen wir diese auf den Strom um erhalten wir folgende Formel:

$$I = \frac{P}{U \times \cos\varphi \times \sqrt{3}}$$

Der Strom ist also abhängig vom Leistungsfaktor $\cos\varphi$. Berechnen wir die Stromreduzierung anhand eines Beispiels:

An einem 250 A NH-Abgang zu einer Unterverteilung soll ein weiterer Verbraucher mit einer Stromaufnahme von 35 A angeschlossen werden. Es wurden folgende Werte gemessen:

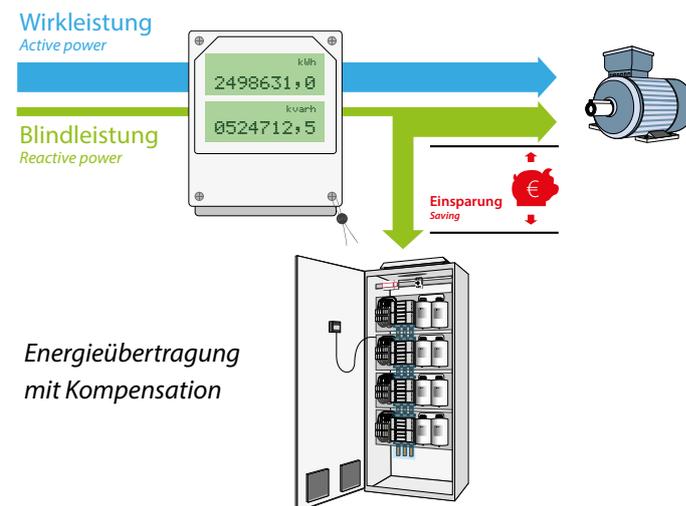
$$U = 400 \text{ V}$$

$$I = 238 \text{ A}$$

$$\cos\varphi = 0,72$$

$$P = U \times I \times \cos\varphi \times \sqrt{3} = 400 \text{ V} \times 238 \text{ A} \times 0,72 \times \sqrt{3} = 118.700 \text{ W}$$

Erhöht man durch eine Kompensation den Leistungsfaktor auf $\cos\varphi$ 0,97 so reduziert sich der Strom von 238 A auf:



Energieübertragung mit Kompensation

$$I = \frac{P}{U \times \cos\varphi \times \sqrt{3}} = \frac{118.700 \text{ W}}{400 \text{ V} \times 0,97 \times \sqrt{3}} = 176 \text{ A}$$

Durch die Kompensation der Blindleistung wurde die Stromaufnahme um 62 A verringert. Jetzt kann der noch benötigte Verbraucher mit 35 A angeschlossen werden.

Netzqualität verbessern

Die Blindleistungskompensation wird auch für die Verbesserung der Netzqualität eingesetzt. In modernen Industrieanlagen werden auf Grund von Energieeffizienzmaßnahmen Verbraucher mit Leistungselektronik (z. B. Frequenzumrichter) eingesetzt. Diese „nichtlinearen Verbraucher“ haben keine sinusförmige Stromaufnahme mehr. Dadurch werden Netzurückwirkungen in Form von Oberschwingungsspannungen induziert. An Verbrauchern, die am gleichen Netz angeschlossen sind können dadurch Störungen verursacht werden.

Durch den Einsatz einer Kompensationsanlage als abgestimmte Saugkreisanlage kann der Oberschwingungsspannungspegel reduziert und somit die Störungen an Verbrauchern beseitigt werden. Eine Saugkreisanlage ist im Grunde eine verdrosselte Blindstromkompensation in der die Resonanzfrequenz nahe an die störende Oberschwingungsfrequenz gelegt wird.

Ein weiterer Einsatz ist bei regenerativen Energieerzeugungsanlagen wie zum Beispiel Solaranlagen oder Windkraftanlagen. Laut Gesetz müssen Energieerzeugungsanlagen größer 100 kW, die in das öffentliche Energienetz einspeisen, zur Spannungskonstanzhaltung beitragen. Sinkt die Netzspannung, dann kann durch Zuschalten von Kondensatoren die Spannung angehoben werden. Man unterscheidet zwischen Mittel- und Niederspannungsanlagen. Auf der Niederspannung muss eine Q / P Kennlinie und auf der Mittelspannung eine Q / U Kennlinie kompensiert werden.

Berechnung der benötigten kapazitiven Blindleistung

Die Berechnung der kapazitiven Blindleistung erfolgt über folgende Formel:

$$Q_c = P \times (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

Q_c = Benötigte kapazitive Blindleistung

P = Wirkleistung

$\tan\varphi_1$ = Tangens des Leistungsfaktors $\cos\varphi$ vor der Kompensation

$\tan\varphi_2$ = Tangens des Leistungsfaktors $\cos\varphi$ nach der Kompensation

Bei der Berechnung einer **Zentralkompensation** fehlen uns die Werte, wie sie an einem Motor angegeben sind. Die Größe der benötigten Kompensationsleistung wird in der Praxis über aktuelle Stromabrechnungen berechnet oder durch eine Langzeitmessung (Netzanalyse) festgelegt.

In der **Stromabrechnung** werden vom Energieversorger monatlich folgende Werte zur Verfügung gestellt.

Hieraus kann die benötigte Blindleistung, mit Hilfe der bereits bekannten Formel, berechnet werden.

$$Q = P \times (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

P = Die in der Stromabrechnung aufgeführte Wirkleistung

$\tan\varphi_1$ = Tangens des Leistungsfaktors $\cos\varphi$ vor der Kompensation

$\tan\varphi_2$ = Tangens des Leistungsfaktors $\cos\varphi$ nach der Kompensation

Den gewünschten Leistungsfaktor legt der Betriebstechniker fest. Meist liegt dieser zwischen 0,92 und 0,97 induktiv. In unserem Fall berechnen wir (wie in der Praxis üblich) die Blindstromkompensation auf 0,95 induktiv.

$$Q = 498 \text{ kW} \times (0,7025 - 0,3287) = 186 \text{ kvar}$$

Wirkleistung aus der Stromabrechnung

$$I = \frac{\text{kvar}}{\text{kWh}} = \frac{166.023 \text{ kvar}}{(78.608 + 157.716) \text{ kWh}} = 0,7025 \text{ A}$$

(Werte aus der Stromabrechnung)

$\tan\varphi_2$ vom gewünschten $\cos\varphi$ 0,95

In diesem Beispiel wählen wir die nächste Größe einer Standardanlage mit 200 kvar aus.



Unsere Broschüre

„Energiekosten senken durch Blindleistungskompensation“ als Download unter www.kbr.de/dienstleistungen/download-center

Blindleistung Grundlagen

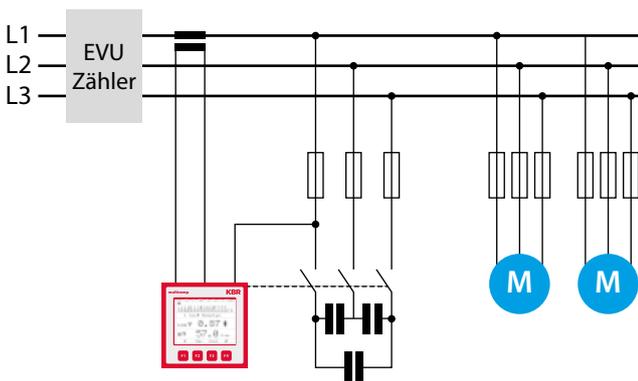
Messung zur Festlegung der Größe einer Kompensation

Die benötigte Leistung kann auch über eine Netzanalyse festgelegt werden. Hierzu wird ein geeignetes Messgerät über den Zeitraum von einer Woche in die Zuleitung des Energieversorgers eingebaut. Der Einbau erfolgt ohne dass die Energieversorgung unterbrochen werden muss. Das Einbringen des Messgerätes erfolgt durch einen Fachmann mit angelegter Schutzausrüstung unter Spannung.

Aus den gewonnen Messdaten kann nicht nur die benötigte Größe der Kompensationsanlage festgelegt, sondern auch die Netzqualität nach DIN EN 50001 beurteilt werden.

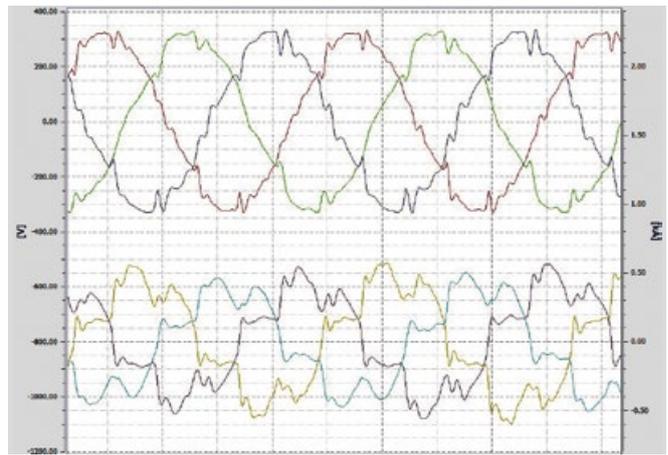
Installation einer Blindstromkompensation

Der Anschluss an die Verteilung erfolgt wie bei einem größeren Verbraucher. Der Kabelquerschnitt und die Vorsicherung werden passend zur gewählten Kompensation festgelegt. In unserem Beispiel nimmt die 200 kvar Anlage einen Strom von 288 A auf (1,44 A pro kvar). Der Kabelquerschnitt wird mit 3x240/120 mm² und die Vorsicherung mit 400 A gewählt.



Schematischer Einbau einer Blindstromkompensationsanlage

Damit eine automatische Regelung erfolgen kann benötigt der Regler den aktuellen $\cos\phi$. Dieser wird mit Hilfe einer Strom- und Spannungsmessung ermittelt. Die Messspannung entnimmt der Regler der Versorgungsspannung für die Kompensation. Über einen Stromwandler, der in die Zuleitung zu dem Energieverteiler eingebaut wird, kann der Regler jetzt die benötigte Blindleistung berechnen und die Kundenanlage auskompensieren.



Oszilloskopbild einer Netzmessung mit überlagerten Oberschwingungsspannungen

Amortisation

Die Amortisationszeit ist abhängig von den Benutzungsstunden des Betriebes. In der Regel liegt diese bei 2 – 4 Jahren.

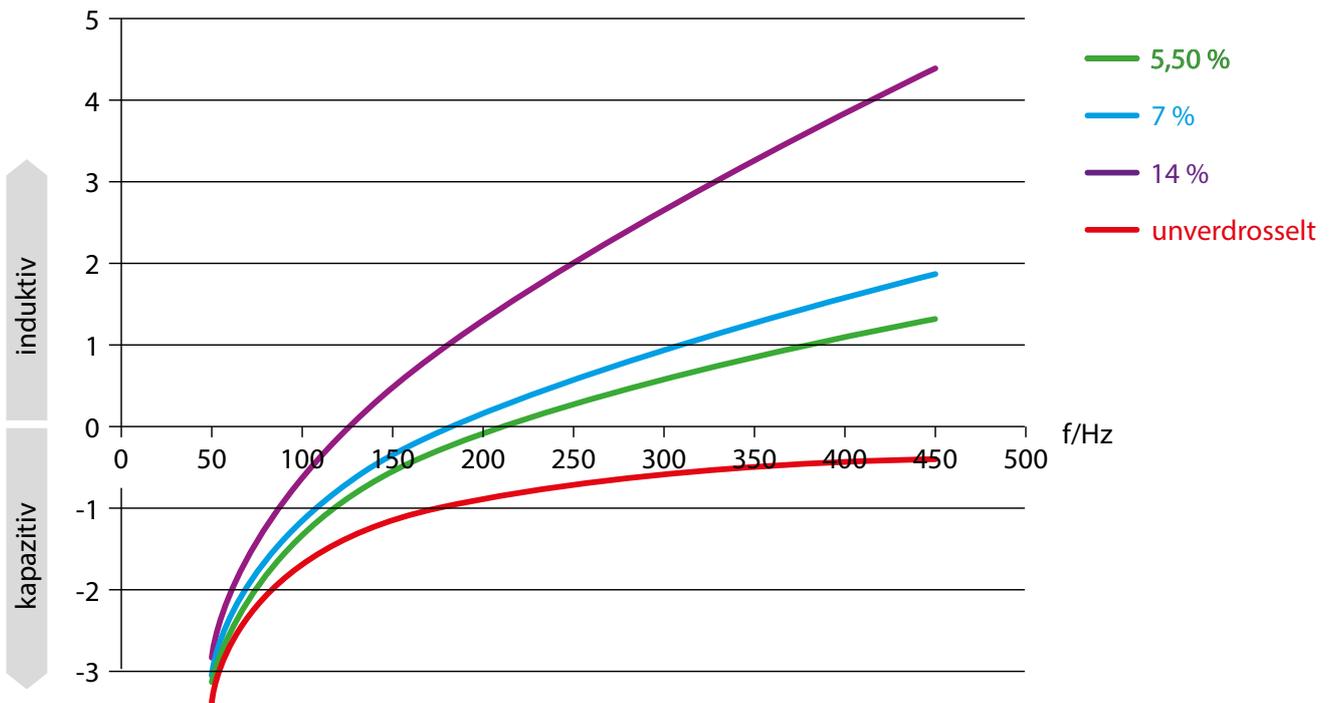
Störungen an Kompensationsanlagen

Die Verbraucher haben sich die letzten Jahre verändert. Zum Beispiel werden Motoren mit Frequenzumrichter betrieben, in den Beleuchtungsanlagen sind EVG's und in der Leistungselektronik sind getaktete Netzteile verbaut. Die Stromaufnahme dieser Lasten ist nicht mehr sinusförmig und erzeugt an den Netzimpedanzen einen Spannungsfall. Dieser ist sinusförmig, hat jedoch ein Vielfaches der Grundfrequenz. Diese sogenannten Oberschwingungsspannungen treten mit Frequenzen von 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz usw. auf.

Wie verhält sich ein Kondensator der an einem Netz betrieben wird, in dem Oberschwingungsspannungen vorhanden sind? Der Blindwiderstand X_C eines Kondensators ist abhängig von der Frequenz.

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$$

Aus der Formel erkennen wir, dass bei höheren Frequenzen der Widerstand X_C des Kondensators kleiner wird. Was bedeutet dies für uns in der Praxis? Ein Kondensator nimmt je nach Belastung durch Oberschwingungsspannungen einen höheren Strom auf. Dieser wiederum verursacht im Kondensator eine höhere thermische Belastung, was in Folge zu einer verringerten Lebensdauer führt. Der ZVEI (Zentralverband der Elektroindustrie) gibt in einer Informationsbroschüre für die Lebensdauer von Leistungskondensatoren an, dass bei einer Überschreitung der maximalen



Verlauf von verdrosselten Kompensationsanlagen

Temperatur an der Kondensatoroberfläche um 7 °C sich die Lebensdauer halbiert.

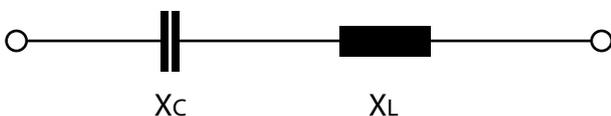
Ein weiteres Problem ist die mögliche **Resonanz** im Niederspannungsnetz. In diesem Fall ist der Blindwiderstand der Induktivität und der Kapazität bei der resultierenden Resonanzfrequenz gleich groß. Die Resonanzfrequenz f_r kann mit folgender Formel errechnet werden:

$$f_r = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L \times C}}$$

Verdrosselte Kompensationsanlagen

Welche Maßnahmen können ergriffen werden um mögliche Resonanzen zu verhindern? Seit vielen Jahren werden wegen der stetig ansteigenden Oberschwingungen Kompensationsanlagen verdrosselt. Doch was steckt hinter dem Begriff „Verdrosselung“?

Bei einer Verdrosselung wird jede Kondensatorstufe als Reihenschwingkreis mit in Reihe geschalteter Drossel aufgebaut.



Ersatzschaltbild einer verdrosselten Kompensationsstufe

Durch die Drossel, die der Kondensatorstufe vorgeschaltet wird erreicht man eine definierte Reihenresonanzfrequenz.

Gängige Verdrosselungsfaktoren sind:

Verdrosselung	5,5 %	7 %	12,5 %	14 %
Resultierende Frequenz	214 Hz	189 Hz	141 Hz	134 Hz

Unterhalb der resultierenden Frequenz der Verdrosselung wirkt die Kondensatorstufe wie ein reiner Kondensator. Darüber wirkt die Stufe wie eine Induktivität. Legt man die Reihenresonanzfrequenz der verdrosselten Kompensationsanlage unterhalb der kleinsten möglichen Oberschwingungsspannung (z. B. 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz usw.) können keine Resonanzen auftreten, da zwei Induktivitäten keinen Schwingkreis bilden können.

KBR ist ein zuverlässiger Partner in Sachen Energiemanagement. Mit Präzisionstechnik, effizienten Lösungen und einem umfangreichen Angebot an Dienstleistungen sichert das KBR System Unternehmen aus Anlagenbau, Industrie und Handwerk den technischen Vorsprung. Für eine nachhaltige und zukunftssichere Energieversorgung.

Unsere Leistungen:

- Planung und Beratung
- Energiemessgeräte
- Analysesoftware
- Systemintegration
- Seminare & Workshops
- Erstklassige Services aus einer Hand



KBR Kompensationsanlagenbau GmbH

Am Kieferschlag 7
D-91126 Schwabach,
Germany

T +49 (0) 9122 6373-0
F +49 (0) 9122 6373-83
E info@kbr.de

www.kbr.de