

# Wissenswertes rund um „Power Quality“ Maximale Energieeffizienz garantiert

## Die Definition von „Power Quality“

Die IEC – International Electrotechnical Commissioning, internationales Normierungsgremium mit Sitz in Genf – definiert den Begriff „Power Quality“ wie folgt:  
„Kennzeichnende Eigenschaften der Elektrizität an einer gegebenen Stelle des Elektroenergiesystems, wobei diese Eigenschaften gewissen technischen Kenngrößen gegenübergestellt werden“

Es gibt kaum ein Produkt, das ohne Strom produziert oder vermarktet werden kann – Strom ist die Basis unserer Weltwirtschaft. Der weltweite Energieverbrauch liegt heute fast doppelt so hoch wie in den 70er Jahren. Die größten Verbrauchersparten sind Industrie und Service.

**Seit 2001** lässt sich ein steiler Anstieg der Strompreise verzeichnen, somit stellen Stromkosten aus unternehmerischer Sicht einen immer beachtlicheren Teil der monatlichen Fixkosten dar.

**Doch nicht nur aus betriebswirtschaftlichem Interesse, sondern auch aus Umwelt- und Klimaschutzgründen sollte eine größtmögliche Energieeffizienz und -qualität bei gleichzeitiger Kostenminimierung immer mehr in den Vordergrund rücken, zumal es bei elektrischer Energie deutliche Qualitätsunterschiede gibt.**

Für die Produktgüte, also die Qualität der gelieferten Spannung bzw. elektrischen Energie, gibt es verschiedene und der Bedeutung nach unterschiedliche Bezeichnungen:

- Spannungsqualität
- Versorgungsqualität
- Power Quality

Die im deutschen Sprachraum übliche Bezeichnung „Netzspannungsqualität“ ist von der Bezeichnung her eingeschränkter, da der Bereich der Ströme sowie Wirk- bzw. Blindleistungen mit dieser Bezeichnung nicht erfasst wird.

Im Folgenden wird der Begriff „Netzspannungsqualität“ mit der umfassenderen Bedeutung von „Power Quality“ verwendet.

## Folgende Parameter sind entsprechend der Europanorm EN 50160 für die Netzspannungsqualität relevant:

- Spannungshöhe, langsame Spannungsänderungen
- Versorgungsunterbrechungen (kurz, lang)
- Spannungseinbrüche
- Schnelle Spannungsänderungen, Flicker
- Spannungsunsymmetrie
- Spannungsform (Oberschwingungen, Zwischenharmonische, Signalspannungen)
- Transiente und netzfrequente Überspannungen
- Frequenz

Eine hohe Netzqualität definiert sich über einen hohen Grad der Übereinstimmung gemäß den Normwerten.

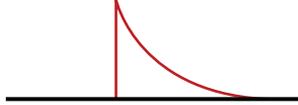
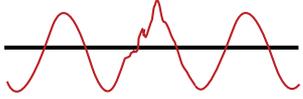
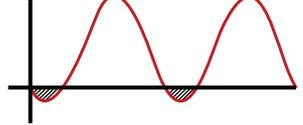
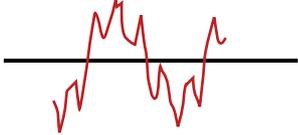
# Wissenswertes rund um „Power Quality“

## Die Ursachen mangelnder Netzspannungsqualität

Die **Ursachen** für mangelnde Netzspannungsqualität liegen sowohl auf der Seite der Netzbetreiber als auch der Anschlussnehmer. Bei Letzteren kommt es infolge von NetZRückwirkungen durch Kundenanlagen zu Spannungsverzerrungen und Flicker-

erscheinungen. Probleme im Übertragungs- oder Verteilernetz haben unter anderem kurze oder längere Unterbrechungen zur Folge. Auch die Erzeugungszuverlässigkeit spielt bei der Netzspannungsqualität eine wichtige Rolle.

Im Folgenden sind **wichtige Parameter** der Netzspannung sowie **bekannte Störfaktoren** aufgeführt.

Störquelle	Störphänomen	Auswirkung
<b>Schalter</b> 	<b>Rückzündung</b> 	<b>Burst</b> 
<b>atmosphärische Entladungen</b> 	<b>Spike</b> 	<b>Überspannungen</b> 
<b>Maschine</b> 	<b>Stromschwankungen</b> 	<b>Flicker (Spannungsschwankung)</b> 
<b>Motor</b> 	<b>Phasenverschiebung</b> 	<b>Blindleistung</b> 
<b>Frequenzumrichter</b> 	<b>Oberschwingungsstrom</b> 	<b>Oberschwingungsspannung</b> 

# Wissenswertes rund um „Power Quality“ Rechte und Pflichten der Netzanschlussnehmer und Netzbetreiber

Das **Energiewirtschaftsgesetz** definiert klare Vorgaben bezüglich des Betriebs von Energieversorgungsnetzen. Dieses muss u.a. sicher, zuverlässig und leistungsfähig sein.

Wesentlich bedeutsamer dürfte für Anschlussnehmer allerdings

§19 des Energiewirtschaftsgesetzes  
sein, welcher Anschlussnehmer verpflichtet, durch

„[...]geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass von Eigenanlagen keine schädlichen Rückwirkungen in das Elektrizitätsversorgungsnetz möglich sind“.

**Bei Zuwiderhandlungen greift die „Verordnung über Allgemeine Bedingungen für den Netzanschluss und dessen Nutzung für die Elektrizitätsversorgung in Niederspannung“ – kurz NAV.**

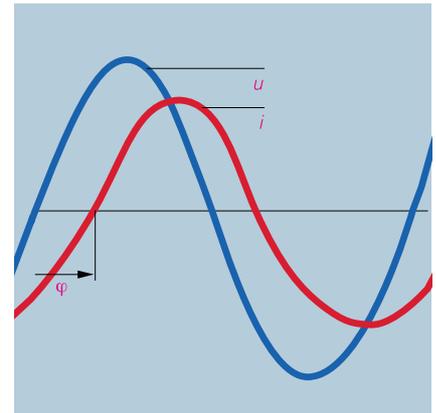
Die **Folgen** sind schwerwiegend:

- eine Unterbrechung des Anschlusses und der Anschlussnutzung (§24 NAV)
- fristlose Kündigung oder Beendigung bei wiederholten Verstößen (§27 NAV)

Auszüge der derzeit gültigen Gesetze und Normen finden Sie im Bereich „Normen & Gesetze rund um Power Quality“.

**Geeignete Maßnahmen zu einer nachhaltigen Optimierung der Power Quality stellen unter anderem Blindleistungs-Kompensationsanlagen und aktive Netzfilter dar.**

Weiterführende Informationen entnehmen Sie bitte den Ausführungen „Blindleistung – eine Leistung ohne Mehrwert“ und „Oberschwingungen – Störungen der (Netz)-Harmonie“. Diese stellen die zwei bekanntesten Verursacher von Power Quality-Problemen näher vor.



**Grafik 1**

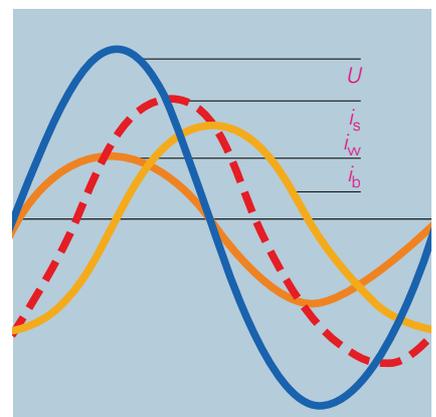
Phasenverschiebung von Strom und Spannung bei einem ohmsch-induktiven Verbraucher.

Die gesamte Leistung, die so genannte **Scheinleistung** eines Übertragungsnetzes setzt sich aus **Wirkleistung** und **Blindleistung** zusammen. Während die am Netz angeschlossenen elektrischen Verbraucher die Wirkenergie umsetzen, wird die Blindenergie nicht verbraucht. Die Blindleistung wird auf der Verbraucherseite lediglich dazu benutzt, ein Magnetfeld, zum Beispiel für den Betrieb von Elektromotoren, Pumpen oder Transformatoren aufzubauen.

Blindleistung ergibt sich, wenn Leistung aus dem Versorgungsnetz bezogen, dann aber zeitversetzt wieder in das Netz eingespeist wird – auf diese Weise pendelt sie zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her.

Dies stellt eine zusätzliche Belastung der Netze dar und erfordert eine größere Dimensionierung, um neben der zur Verfügung gestellten Wirkleistung auch noch die pendelnde Blindleistung aufzunehmen.

Die Folge: weniger Wirkstrom kann transportiert werden.



**Grafik 2**

Zerlegung des Stroms in Wirk- und Blindanteil. Der Wirkstrom  $i_w$  ist mit der Spannung phasengleich, der Blindstrom  $i_b$  eilt der Spannung um  $T/4 = 90^\circ$  nach.

### Legende

$u$	Spannung
$\varphi$	Phasenwinkel
$i_s$	Scheinstrom
$i_w$	Wirkstrom
$i_b$	Blindstrom

### Lösung

Durch eine verbrauchernahe Blindleistungskompensation mit Leistungskondensatoren direkt am Niederspannungsnetz können die Übertragungseinrichtungen entlastet werden, da die Blindleistung nicht mehr vom Netz geliefert, sondern von den Kondensatoren bereitgestellt wird (siehe Grafik 3).

Die Übertragungsverluste werden verringert, die Energieverbrauchskosten gesenkt und kostspielige Erweiterungen unnötig, denn mit den gleichen Betriebsmitteln kann man durch Blindleistungskompensation mehr Wirkleistung übertragen.

### Bestimmung der Kondensatorleistung

Eine Anlage mit der installierten Wirkleistung  $P$  soll vom Leistungsfaktor  $\cos \varphi_1$  auf einen Leistungsfaktor  $\cos \varphi_2$  kompensiert werden. Die hierfür notwendige Kondensatorleistung errechnet sich aus:

$$Q_C = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Durch die Kompensation verringert sich die übertragene Scheinleistung  $S$ . Die ohmschen Übertragungsverluste nehmen mit dem Quadrat der Ströme ab.

### Ermittlung der Blindleistung in Betriebsnetzen

Bei Anlagen, die sich noch im Projektierungsstadium befinden, kann man näherungsweise davon ausgehen, dass die Blindleistungsverbraucher in erster Linie Asynchronmotoren sind, die mit einem mittleren Leistungsfaktor  $\cos \varphi \geq 0,7$  arbeiten. Zur Kompensation auf  $\cos \varphi = 0,9$  wird eine Kondensatorleistung von etwa 50 % der Wirkleistung benötigt:

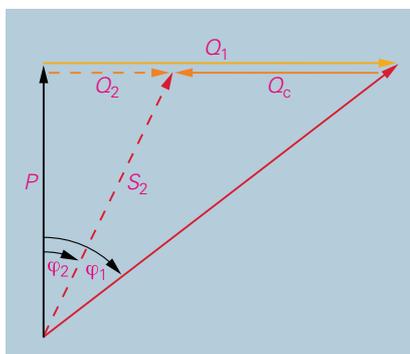
$$Q_C = 0,5 \cdot P$$

Bei Anlagen, die bereits in Betrieb sind, kann die erforderliche Kondensatorleistung durch Messungen festgestellt werden. Wenn Wirk- und Blindarbeitszähler vorhanden sind, kann der Bedarf an Kondensatorleistung aus den monatlichen Stromrechnungen entnommen werden. Er berechnet sich aus:

$$Q_C = \frac{A_B - (A_W \cdot \tan \varphi_2)}{t}$$

$\tan \varphi_2$  abhängig vom  $\cos \varphi_2$  nach Tabelle 1  
 $A_B$  Blindarbeit (kvarh)  
 $A_W$  Wirkarbeit (kWh)  
 $t$  Betriebszeit (h)

Sind keine Blindarbeitszähler vorhanden, kann die Kondensatorleistung durch den Einsatz von Blind- und Wirkleistungsschreibern ermittelt werden.

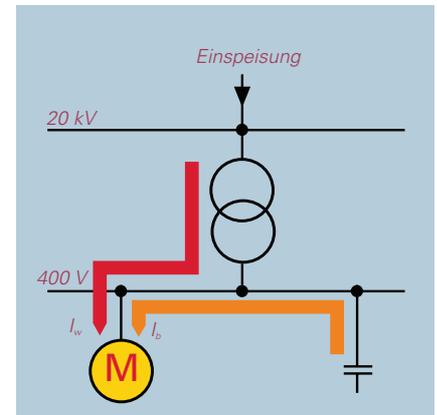


Grafik 4

Leistungsdiagramm für eine unkompenzierte (1) und eine kompenzierte (2) Anlage.

### Legende

- $P$  Wirkleistung
- $Q_1$  Blindleistung unkompenziert
- $S_1$  Scheinleistung vor Kompensation
- $\varphi$  Phasenwinkel
- $Q_2$  Restblindleistung nach Kompensation
- $S_2$  Scheinleistung nach Kompensation
- $Q_C$  eingeschaltete Kondensatorleistung



Grafik 3 Prinzip der Blindleistungskompensation mit Niederspannungs-Leistungskondensatoren

### Beispiel 1 - Unkompenzierte Anlage

Kompensation einer Anlage; Nennspannung 400 V von  $\cos \varphi_1 = 0,6$  auf  $\cos \varphi_2 = 0,9$

Wirkleistung $P$	550 kW
Leistungsfaktor $\cos \varphi_1$	0,6
daraus ergibt sich	
Scheinleistung $S_1$	920 kVA
Scheinstrom $I_1$	1330 A

$$S_1 = P \cdot \frac{1}{\cos \varphi_1} = 550 \text{ kW} \cdot 1,67 = 920 \text{ kVA}$$

$$I_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{S_1}{U} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{920 \text{ kVA}}{400 \text{ V}} = 1330 \text{ A}$$

### Beispiel 2 - Kompensierte Anlage

Leistungsfaktor $\cos \varphi_2$	0,9
dafür erforderliche	
Kondensatorleistung $Q_C$	920 kvar
Scheinleistung $S_2$	610 kVA
Scheinstrom $I_2$	880 A

$$Q_C = 550 \text{ kW} (1,33 - 0,48) = 470 \text{ kvar}$$

$$S_2 = P \cdot \frac{1}{\cos \varphi_2} = 550 \text{ kW} \cdot 1,11 = 610 \text{ kVA}$$

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{S_2}{U} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{610 \text{ kVA}}{400 \text{ V}} = 880 \text{ A}$$

Durch die Kompensation von  $\cos \varphi_1 = 0,6$  auf  $\cos \varphi_2 = 0,9$  kann 60 % mehr Wirkleistung übertragen werden. Die Übertragungsverluste verringern sich um 56 %.

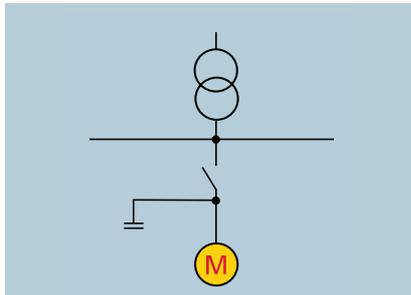
(siehe Grafik 4)

### Kompensationsarten

Kondensatoren können zur Einzel-, Gruppen- oder Zentralkompensation eingesetzt werden. Diese Kompensationsarten werden im Folgenden vorgestellt.

#### Einzelkompensation (siehe Grafik 5)

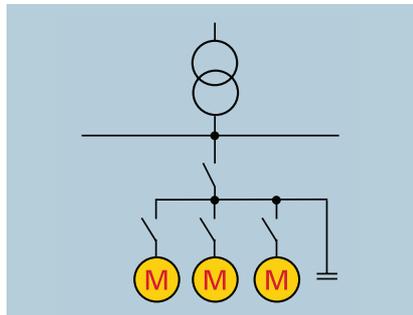
Bei der Einzelkompensation werden die Kondensatoren direkt an den Klemmen der einzelnen Verbraucher angeschlossen und zusammen mit diesen über ein gemeinsames Schaltgerät eingeschaltet. Hierbei muss die Kondensatorleistung genau an die jeweiligen Verbraucher angepasst werden. Die Einzelkompensation wird häufig bei Asynchronmotoren und Transformatoren angewendet.



Grafik 5 Einzelkompensation.

#### Gruppenkompensation (siehe Grafik 6)

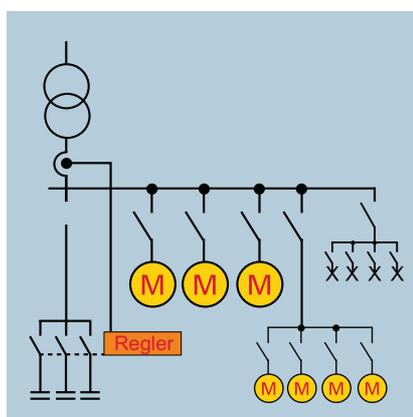
Bei der Gruppenkompensation wird die Kompensationseinrichtung jeweils einer Verbrauchergruppe zugeordnet. Diese kann z.B. aus Motoren oder auch aus Entladungslampen bestehen, die gemeinsam über ein Schütz oder einen Schalter ans Netz geschaltet werden. Hier sind zum Zuschalten der Kondensatoren keine gesonderten Schaltgeräte erforderlich.



Grafik 6 Gruppenkompensation.

#### Zentralkompensation (siehe Grafik 7)

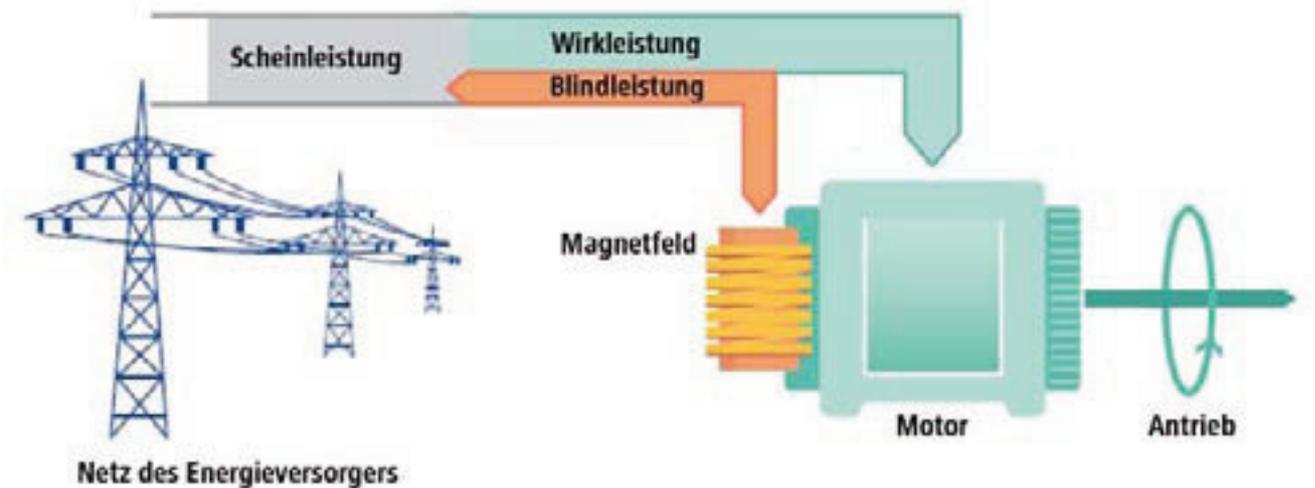
Zur Zentralkompensation werden Blindleistungsregelungen eingesetzt, die direkt einer Schaltanlage, Verteilung oder Unterverteilung zugeordnet sind und dort zentral installiert werden. Regeleinheiten enthalten außer schaltbaren Kondensatorabzweigen einen Regler, der die anstehende Blindleistung an der Einspeisestelle erfasst. Bei Abweichungen vom Sollwert schaltet er je nach Bedarf die Kondensatoren stufenweise über Schütze zu oder ab. Die Kondensatorleistung wird so gewählt, dass die gesamte Anlage im Mittel den gewünschten  $\cos \varphi$  erreicht.



Grafik 7 Zentralkompensation.

#### Legende

- $P$  Wirkleistung
- $Q_1$  Blindleistung unkompensiert
- $S_1$  Scheinleistung vor Kompensation
- $\varphi$  Phasenwinkel
- $Q_2$  Restblindleistung nach Kompensation
- $S_2$  Scheinleistung nach Kompensation
- $Q_C$  eingeschaltete Kondensatorleistung



## Wahl der Kompensationsart

Bei der Entscheidung, ob die einzelnen Verbraucher mit Kondensatorfeststufen oder mit zentralen Regeleinheiten kompensiert werden, müssen wirtschaftliche und anlagentechnische Überlegungen angestellt werden. Berücksichtigt man, dass in den meisten Betrieben nie alle Verbraucher gleichzeitig eingeschaltet sind, reicht bei der **Zentralkompensation** eine geringere installierte Kondensatorleistung aus.

Wirtschaftlich vorteilhaft kann eine **Einzelkompensation** nur sein bei:

- **großen Verbrauchern**
- **konstantem Leistungsbedarf**
- **großer Einschaltdauer.**

Hierbei werden auch die Zuleitungen zu den Verbrauchern entlastet; eine kontinuierliche Anpassung der Kondensatorleistung an ihren Blindstrombedarf ist jedoch nicht möglich.

Eine **Zentralkompensation** ist empfehlenswert bei:

- **vielen kleineren Verbrauchern im Netz**
- **unterschiedlichem Leistungsbedarf und wechselnder Einschaltdauer der Verbraucher.**

Die Kondensatorleistung wird dem Blindstrombedarf der Anlage angepasst. Eine nachträgliche Erweiterung ist problemlos. Die Kompensationsanlage kann durch ihre zentrale Anordnung leicht überprüft werden.

# Wissenswertes rund um „Power Quality“

## Blindleistung - eine Leistung ohne Mehrwert

**Rundsteueranlagen** dienen zur Fernsteuerung von Verbrauchern im Energieversorgungsnetz. Letzteres fungiert gleichzeitig als Übertragungsweg. Die Übertragung der Steuerbefehle erfolgt durch Impulsfolgen im Bereich von 167 bis ca. 2000 Hz, die der 50-Hz-Spannung mit einer Amplitude von ca. 1–8 % der jeweiligen Netzennennspannung überlagert sind. Die Tonfrequenz (TF) wird zur Übertragung nach einem Code (Impulsraster) ein- und ausgeschaltet, wodurch ein „Telegramm“ entsteht. Dem fernzusteuerten Verbraucher ist ein spezieller Empfänger (Rundsteuerempfänger) vorgeschaltet, der die Impulstelegramme wieder aus dem Netz ausfiltert und daraus die gewünschte Steuerinformation ableitet.

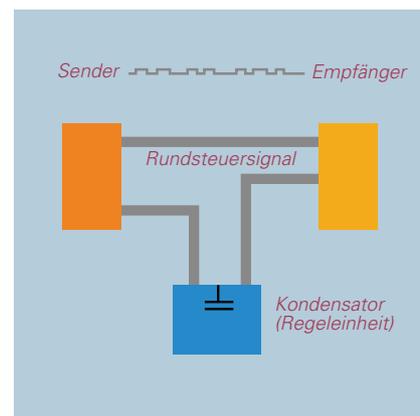
Die Wahl der Tonfrequenz ist stark vom Netz abhängig. Die VDEW (Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke) empfiehlt für Netze mit großer Ausdehnung und mehreren Spannungsebenen Frequenzen unter 250 Hz und für Netze begrenzter Ausdehnung Frequenzen über 250 Hz.

Eine vorhandene Rundsteuerfrequenz im Netz muss deshalb bei der Auswahl von Kompensationsanlagen unbedingt beachtet werden, denn eine Behinderung des Rundsteuerbetriebes ist nicht erlaubt.

Die Tonfrequenzen im Rundsteuerbetrieb sind maßgeblich entscheidend für die unterschiedlichen Blindleistungskompensations-Typen, welche im Folgenden vorgestellt werden.



Blindleistungs-Regeleinheit mit Tonfrequenzsperre.



Prinzipdarstellung eines Netzes mit Tonfrequenz-Rundsteuerung und Kompensationsanlagen



## Typen der Blindleistungskompensation

**Unverdrosselte Blindleistungskompensationsanlagen** können eingesetzt werden bei einem Anteil von nicht-linearen Verbrauchern (z.B. Beleuchtungsmittel, Heizungen, Transformatoren, Motoren) <15 % der Gesamtlast (Trafolast).

Hier müssen zwei Kriterien beachtet werden:

a) unverdrosselte Blindleistungskompensationen ohne Tonfrequenz-Sperrkreis können bei Rundsteuerfrequenzen <250 Hz bis zu einer Kondensatorleistung von 35 % der Trafoscheinleistung eingesetzt werden.

b) unverdrosselte Blindleistungskompensationen müssen mit Tonfrequenzsperrkreisen ausgerüstet sein, wenn die Tonfrequenz >250 Hz ist.

Entsprechend der induktiven Last werden mit Hilfe von Kondensatorschützen die Kondensatoren entsprechend zugeschaltet und liefern den benötigten Blindstrom.

**Verdrosselte Blindleistungskompensationsanlagen** kommen in Netzen bis zu einer Oberschwingungsbelastung von  $\text{THDI} = 8\%$  zum Einsatz und haben ab bestimmten Tonfrequenzen einen ausreichend hohen Impedanzfaktor, sie benötigen keinen Tonfrequenz-Sperrkreis. Abhängig von der Tonfrequenz ist der richtige Verdrosselungsgrad  $p$  zu wählen.

z.B.

$\text{TF} > 160 \text{ Hz}, p = 14\%$

$\text{TF} > 250 \text{ Hz}, p = 7\%$

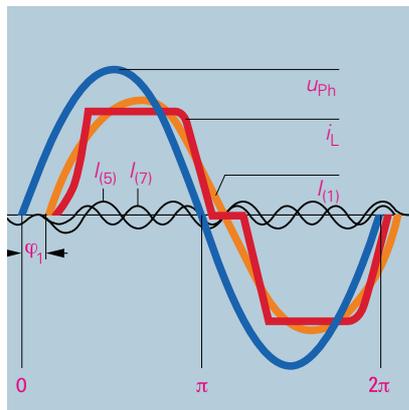
$\text{TF} > 350 \text{ Hz}, p = 5,67\%$

Weitere Beispiele siehe im Abschnitt „Produktkatalog“.

In Abhängigkeit der gewählten Reihenresonanzfrequenz wird ein Teil der Oberschwingungsströme von den verdrosselten Anlagen aufgenommen, der Rest hingegen fließt in das übergeordnete Netz.

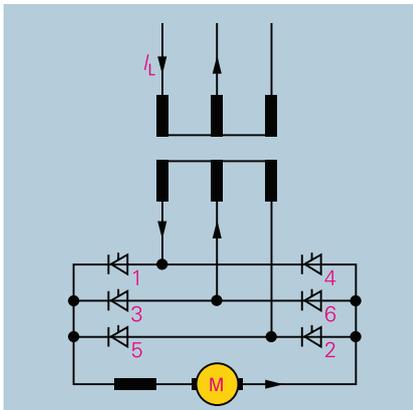
**Dynamische Kompensationsanlagen** werden überall dort eingesetzt, wo schnelle Laständerungen zu negativen Beeinflussungen der Spannung am Anschlusspunkt führen.

Wird zur dynamischen Kompensation ein aktives Filter eingesetzt, so bietet sich die Möglichkeit der kapazitiven als auch induktiven Blindleistungskompensation.



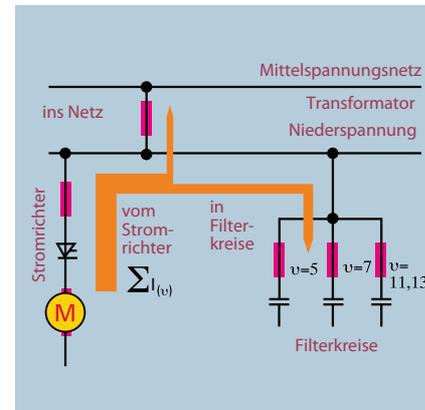
**Grafik 9**

Zerlegung des Stromrichterstroms in Grund- und Oberschwingungen.



**Grafik 10**

Drehstrom-Brückenschaltung.



**Grafik 11**

Absaugen der Oberschwingungsströme mit Filterkreisen.

### Resonanzerscheinungen beim Einsatz von unverdrosselten Kondensatoren

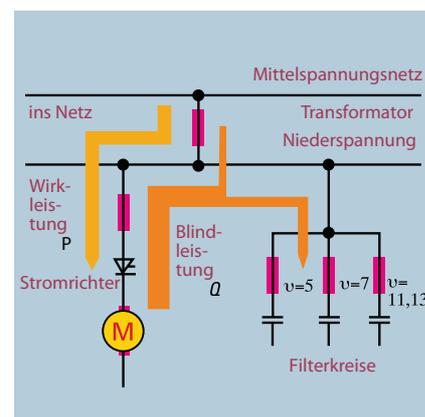
In vielen Fällen sind in Industrienetzen mit Stromrichtern noch keine Filterkreise erforderlich, die Blindleistung soll jedoch kompensiert werden. Beim Einsatz von Leistungskondensatoren ist hier Vorsicht geboten, da es leicht zu Resonanzerscheinungen kommen kann; denn die am Netz installierten Kondensatoren bilden mit der Induktivität des einspeisenden Transformators und den restlichen Netzinduktivitäten einen Schwingkreis. Fällt die Eigenfrequenz dieses Schwingkreises mit der Frequenz einer Stromüberschwingung zusammen, so wird der Schwingkreis angeregt. Es kommt zu hohen Überströmen, die zur Überlastung der Anlage und zum Ansprechen der Schutzeinrichtungen führen können (siehe **Grafik 13**).

### Blindleistungskompensation mit verdrosselten Kondensatoren

Um solche Resonanzen zu vermeiden, ist es notwendig, zur Blindleistungskompensation verdrosselte Kondensatoren einzusetzen. Diese sind ähnlich aufgebaut wie Filterkreise, ihre Resonanzfrequenz liegt jedoch

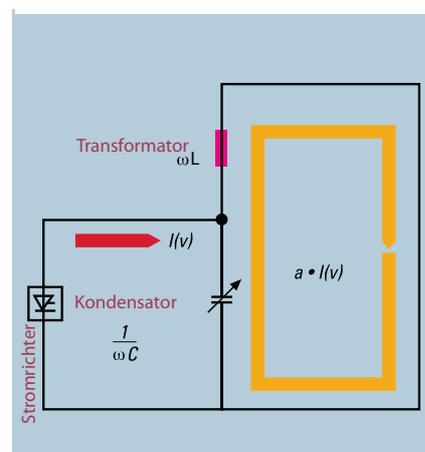
unter der 5. Harmonischen. Hierdurch wird die Kondensatoreinheit für alle im Stromrichterstrom auftretenden Oberschwingungen induktiv, Resonanzstellen können nicht mehr angeregt werden. Verdrosselte Kondensatoren und Blindleistungs-Regelungen sind nach den gleichen Kriterien einzusetzen und auszuwählen wie normale Kondensatoren und Regleinheiten.

**Es ist empfehlenswert, mit verdrosselten Einheiten überall dort zu kompensieren, wo der Anteil der überschwingungserzeugenden Verbraucher mehr als 15% der Gesamtlast beträgt.**



**Grafik 12**

Blindleistungskompensation mit Filterkreisen.



**Grafik 13**

Resonanzerscheinungen beim Einsatz von unverdrosselten Kondensatoren;  $a$  = Verstärkungsfaktor durch Resonanz.

### Blindleistungskompensation senkt die Energiekosten und den Investitionsaufwand.

#### Einsparen der Blindenergiekosten

Die Musterfirma sei ein Industriebetrieb mit einer mittleren Leistung von 500 kW, einem durchschnittlichen  $\cos \varphi$  von 0,7 und 4000 Stunden pro Jahr Einsatzdauer. Der Energieversorgungsstarif gestattet, 50 % der Wirkarbeit als Blindarbeit kostenlos zu beziehen, dies entspricht einem geforderten  $\cos \varphi$  von 0,9. Die „Payback Period“ von unter einem Jahr zeigt die enorme Wirtschaftlichkeit der Blindleistungskompensation.

#### Energieabrechnung (Auszug der Jahreswerte)

Arbeit Tagestarif	2.000.000 kWh
Blindarbeit Tagestarif	2.040.408 kvarh
Blindarbeit frei	1.000.000 kvarh
Blindarbeit Rest	1.040.408 kvarh

$$1.040.408 \times 0,013 \text{ €/kvarh} = \text{€ } 13.525,-$$

#### Blindleistungskompensation 268 kvar

Gewählte Anlage 300 kvar

Invest inkl. Installation = ca. € 8.000,-

Payback Period = ca. 7 Monate

#### Zusätzliche Einsparung von Wirkenergiekosten für Verluste

Die Musterfirma hat, wie jeder Energieverbraucher, Verluste im eigenen Netz und bezahlt dafür Wirkenergiekosten.

Durch Blindleistungskompensation wird die Scheinleistung im Netz der Firma gesenkt und damit auch Verluste und Wirkenergiekosten. Neben dem Einsparen von Blindenergiekosten senkt die Blindleistungskompensationsanlage in diesem Beispiel zusätzlich auch die Wirkarbeitskosten für Verluste um mehrere hundert Euro pro Jahr.

#### Senken von Investitionskosten

Die Musterfirma plant, die vorhandenen Verbraucher von 500 kW um 200 kW zu erweitern. Der installierte Transformator mit einer Leistung von 800 kVA hat bisher ausgereicht, wäre nach der Erweiterung jedoch überlastet und somit ein Netzausbau mit Transformator, Schaltanlage, Kabel, Verteilung usw. erforderlich. In diesem Fall kann

die Scheinleistung durch Blindleistungskompensation so weit gesenkt werden, dass der bisherige Netzausbau ausreicht. Eine Blindleistungskompensationsanlage ist hier deutlich kostengünstiger als ein Netzausbau.

#### Investition für Netzausbau

installierte Wirkleistung	500 kW
Leistungsfaktor	0,7
installierte Scheinleistung	714 kVA
Transformatorleistung	800 kVA
Transformatorbelastung	89 %
Wirkleistung nach Erweiterung	700 kW
Leistungsfaktor	0,7
Scheinleistung nach Erweiterung	1000 kVA
Transformatorleistung	800 kVA
Transformatorbelastung	125 %
Invest für Netzausbau	40.000 EUR

#### Blindleistungskompensation 375 kvar

Wirkleistung nach Erweiterung	700 kW
Scheinleistung nach Erweiterung	778 kVA
Transformatorbelastung	97 %
BLK-Anlage	400 kvar
Invest inkl. Installation	10.000 EUR

**Invest-Senkung gegenüber Netzausbau 30.000 EUR**

**Gewerbliche Anschlussnehmer** sind gesetzlich verpflichtet, den Energieversorgungsunternehmen die Kosten für verursachte Blindleistung zu erstatten.

Für Sie als Anschlussnehmer ist es sehr einfach festzustellen, ob monatliche Blindleistungskosten anfallen oder nicht. Meist hilft bereits der genaue Blick auf die Stromrechnung. Finden Sie dort den Posten „zu entrichtende Blindleistung“ – besteht Handlungsbedarf.

# Wissenswertes rund um „Power Quality“ Oberschwingungen – Störungen der (Netz-)Harmonie



Der Stromrichterstrom setzt sich aus einem Gemisch von sinusförmigen Strömen zusammen, einem Grundschwingungsanteil mit Netzfrequenz und einer Reihe von Oberschwingungen. Alle ganzzahligen Vielfachen einer Grundschwingung werden als „Oberschwingung“ oder „Harmonische“ bezeichnet. Meist steht der betreffenden Oberschwingung noch die entsprechende Ordnungszahl „Y“ voran.

Ausgehend von der Frequenz der Netzspannung von 50 Hz hat damit z.B. die 5. Oberschwingung eine Frequenz von 250 Hz. Grundlage dieser Darstellung ist der von Fourier geführte Beweis, dass jede Schwingung, egal welcher Kurvenform, in eine sinusförmige Grundschwingung und eine Summe von sinusförmigen Oberschwingungen zerlegt werden kann.

## Definition

Oberschwingungen entstehen beim Betrieb von Verbrauchern mit nicht sinusförmiger Stromaufnahme und werden dem Drehstromnetz aufgezwungen. Die Kurvenform der Stromaufnahme der Verbraucher ist maßgebend für Anzahl und Amplitude der Oberschwingungen.

Hierdurch entstehen an den Netzimpedanzen Oberschwingungsspannungen, die sich die Grundschwingung überlagern und eine Verzerrung der Netzspannung zur Folge haben. Das kann zu Störungen im Netz und zum Ausfall anderer Verbraucher führen. Nach Fourier sind die Amplituden der Oberschwingungen umso höher, je schneller sich die Kurvenform ändert. Je schneller ein Schaltvorgang abläuft, desto höhere Frequenzen sind enthalten.

Die Zerlegung einer Kurvenform erfolgt durch die sogenannte Fourier-Analyse, bei der jeder Oberschwingung die entsprechende Ordnungszahl und Amplitude zugeordnet wird.

## Ursachen & Folgen

Als Hauptverursacher von Oberschwingungen sind Gleichrichterschaltungen zu nennen. Diese kommen in Wandlernetzteilen und Frequenzumrichtern vor. Hierzu zählen auch elektronische Vorschaltgeräte von Beleuchtungskörpern wie z.B. Leuchtstoffröhren und Energiesparlampen.

Durch Oberschwingungen treten zusätzliche Ströme auf, für die der Stromkreis nicht ausgelegt ist. Dies verursacht nicht nur im Stromnetz, sondern auch innerhalb elektrischer Anlagen Probleme.

## Symptome

- unpräzises Arbeiten elektronisch gesteuerter Maschinen
- Abschalten von Anlagen
- Durchbrennen von Netzteilen
- Abstürze von Rechnern
- Überlastung des N-Leiters
- Wicklungs- und Lagerschäden an Motoren

# Wissenswertes rund um „Power Quality“ Oberschwingungen – Störungen der (Netz-)Harmonie

Die Beurteilung von Oberschwingungen erfordert eine genaue Analyse der dort installierten Betriebsmittel. Hierbei ist eine Netzanalyse mit entsprechender Erfassung der Oberschwingungen zur richtigen Diagnose maßgeblich erforderlich. Mögliche Lösungen lassen sich in **passive** und **aktive Maßnahmen** unterscheiden.

## Aufbau und Wirkung von passiven Filtern

Durch direkt an der Niederspannungsseite angeordnete Filterkreise können die Oberschwingungsströme weitgehend vom übergeordneten Netz ferngehalten werden.

Filterkreise sind aus Reihenschwingkreisen aufgebaut, die aus Kondensatoren mit vorgeschalteten Drosseln bestehen. Die Schwingkreise werden so abgestimmt, dass sie für die einzelnen Oberschwingungsströme Widerstände darstellen, die annähernd Null sind und somit kleiner als die Widerstände des übrigen Netzes.

Die Oberschwingungsströme der Stromrichter werden daher weitgehend von den Filterkreisen aufgenommen (siehe Grafik 11). Nur noch ein kleiner Rest fließt ins übergeordnete Drehstromnetz, wodurch die Spannung kaum noch verzerrt und eine störende Beeinflussung anderer Verbraucher ausgeschlossen wird.

Da Filterkreise für die Grundschwingung des Drehstromnetzes stets einen kapazitiven

Widerstand darstellen, nehmen sie neben den Oberschwingungsströmen auch einen kapazitiven Grundschwingungsstrom auf. Hierdurch tragen sie gleichzeitig zur Blindleistungskompensation der Stromrichter und anderer am Netz installierter Verbraucher bei (siehe Grafik 12).

Zu den **passiven Lösungen** zählen beispielsweise spezifisch wirkende Saugkreise, welche jedoch in bestehenden Systemen sehr schwierig umzusetzen sind.

## Praktischer Einsatz von Filterkreisen

**Filterkreise** müssen immer von der niedrigsten Ordnungszahl aufwärts aufgebaut sein. Sie werden für die 5., 7. sowie 11. und 13. Oberschwingung eingesetzt. In vielen Fällen sind Filterkreise allein für die 5. Oberschwingung bereits ausreichend.

## Aktive harmonische Filter

Diese berechnen auf Basis einer permanenten Messung der Netzströme die Komplementäre zu den vorhandenen Oberschwingungen und speisen diese anschließend mit einer aktiven Stromquelle gezielt ein, so dass sich in der Summe wieder die sinusförmige Stromform ergibt.

Die Phasenlage des Einspeisestroms ist jedoch um 180° gegenüber dem Verbraucherstrom verschoben. Somit heben sich die harmonischen Ströme gegenseitig auf, das speisende Netz muss nur die Grundschwingung liefern und wird nicht mit Harmonischen belastet.

Dadurch lassen sich die ins Netz fließenden Oberschwingungsströme bis zu 90 % reduzieren. Die Dimensionierung der Filterkreise muss nach

- den Oberschwingungsströmen der Verbraucher
- dem Oberschwingungsgehalt der Spannung des übergeordneten Netzes
- der Kurzschlussreaktanz an der Anschlussstelle erfolgen.

**Ein neuer Weg wird mit dem Einsatz von aktiven harmonischen Filtern beschritten.**

