

Energiekosten senken

durch Blindleistungskompensation
und Energiekontrollsysteme

Energiemanagement mit System

Richtlinien für die Auslegung



KBR Serviceleistungen:

- Anlagenauslegung und Beratung vor Ort
- Messung der Oberschwingungsbelastung im Netz, Power Quality
- Aufzeichnung der Leistungsspitze
- Leihgeräte
- Seminare und Schulungen

Fragen sie die Spezialisten.

Wir haben auch in Ihrer Nähe einen KBR-Stützpunkt, der sich persönlich um Ihre Probleme kümmert.

Unsere Vertriebsingenieure verfügen über das notwendige Know-how und sind mit allen erforderlichen Analysegeräten, wie z. B. Netzmessgeräten, sowie Vorführgeräten ausgerüstet.



KBR-Fertigungsstätte in Schwabach

Es betreut Sie:

Das rote Heft von KBR – das Original

Seit 1976 begleitet uns dieses kleine Heft und hilft Ihnen und uns bei der täglichen Arbeit. Der Inhalt dieses Heftchens soll dem Praktiker den Einsatz von Blindleistungskompensationsanlagen und Energiekontrollsystemen näher bringen.

„Energiekosten senken“ und „Netzqualität“ sind Themen die immer aktueller werden. Durch den verstärkten Einsatz von Kompensationsanlagen und Energiekontrollsystemen werden nicht nur Kosten reduziert, sondern auch die eigenen Leitungen und Verteilungen, sowie die Energieerzeuger und Verteilungsnetze entlastet.

Dieses Heft beinhaltet die wichtigsten Hinweise von der Auslegung bis zum Anschluss unserer Systeme. Dabei wurde auch besonderes Augenmerk auf die Thematik Oberschwingungen gelegt.

Sollten weitere Fragen auftauchen, die Ihnen diese Broschüre nicht beantworten kann, so stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Für die Bearbeitung Ihrer Fragen und Probleme stehen Ihnen unsere Vertriebsingenieure mit Rat und Tat zur Seite.

Ihr KBR-TEAM

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|------------------------|--|
| KBR Serviceleistungen: | 2 |
| 1 | Fachbegriffe (in alphabetischer Reihenfolge) 6 |
| 2 | Netzqualität 9 |
| 2.1 | EN 50160 – Europäische Norm zur Beschreibung der Netzqualität 9 |
| 2.2 | Darstellung der EN 50160 in graphischer Form10 |
| 2.3 | Störung – Ursache – Auswirkung - Abhilfe11 |
| 2.4 | Technische Informationen – Netzformen12 |
| 3 | Blindleistung - Grundlagen13 |
| 3.1 | Was ist Blindleistung?13 |
| 3.2 | Welche Verbraucher benötigen Blindleistung?13 |
| 3.3 | Verschiebungsfaktor $\cos\phi$ unterschiedlicher Industriezweige14 |
| 3.4 | Warum wird kompensiert?14 |
| 3.5 | Auswirkung einer Kompensationsanlage15 |
| 3.6 | Leistungsdreieck15 |
| 3.7 | Berechnungsbeispiele zur Veranschaulichung der Kostensenkung16 |
| 3.8 | Wo wird kompensiert?16 |
| 3.9 | Womit wird kompensiert?17 |
| 3.10 | Wie wird eine Kompensationsanlage ausgelegt?17 |
| 4 | Kompensationsarten19 |
| 4.1 | Einzelkompensationen19 |
| 4.1.1 | Einzel- und Gruppenkompensation von Leuchtstofflampen19 |
| 4.1.1.1 | Parallelkompensation 230 V19 |
| 4.1.1.3 | Quecksilberdampf- Hochdrucklampen 230 V19 |
| 4.1.1.2 | Reihenkompensation (Duoschaltung, 420 V)19 |
| 4.1.1.4 | Natrium-Dampflampen19 |
| 4.1.2 | Einzelkompensation von Drehstrom-Asynchronmotoren20 |
| 4.1.2.1 | Schaltbilder für die Einzelkompensation von Motoren21 |
| 4.1.3 | Einzelkompensation von Aufzug- und Kranmotoren22 |
| 4.1.4 | Einzelkompensation von Asynchrongeneratoren22 |
| 4.1.5 | Einzelkompensation von Transformatoren22 |
| 4.2 | Zentrale Kompensationsanlagen mit Automatikbetrieb24 |
| 4.3 | Blindleistungsregler25 |
| 4.3.1 | 4-Quadrantenbetrieb26 |
| 5 | Kompensationsanlagen in Netzen mit Oberschwingungen27 |
| 5.1 | Was sind Oberschwingungen?27 |
| 5.2 | Wie entstehen Oberschwingungen?28 |
| 5.3 | Welche Verbraucher erzeugen Oberschwingungen?28 |
| 5.4 | Folgen von Oberschwingungen30 |
| 5.4.1 | Warum sind Oberschwingungen gefährlich für den Neutralleiter?30 |
| 5.4.2 | Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Leitungen?33 |
| 5.4.3 | Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Sicherungsautomaten?33 |
| 5.4.4 | Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Motoren?33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.4.5 | Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Transformatoren?..... | 33 |
| 5.4.6 | Warum sind Oberschwingungen gefährlich für elektronische Verbraucher? | 33 |
| 5.4.7 | Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Kondensatoren? | 33 |
| 5.5 | Resonanzen | 34 |
| 5.6 | Was bedeutet „Verdrosselung“ einer Kompensationsanlage? | 37 |
| 6 | Tonfrequenzsperreinrichtung | 38 |
| 7 | Kombifilter | 39 |
| 8 | Was ist beim Betrieb von Kompensationsanlagen zu beachten? | 40 |
| 9 | Die Aufgaben einer Kompensationsanlage | 41 |
| 10 | Leistungskondensatoren | 42 |
| 11 | Formeln rund um den Kondensator | 43 |
| 12 | Auswahl der Stromwandler | 47 |
| 13 | Einbau des Stromwandlers | 47 |
| 15 | Empfehlungen zur Auswahl von Leitungen und Sicherungen | 48 |
| 16 | Warum Energieoptimierung? | 49 |
| 17 | Lohnt der Einsatz eines Energiekontrollsystems? | 52 |
| 17.1 | EVU-Rechnung prüfen | 52 |
| 17.2 | Einsatz eines KBR-multilog Messgerätes | 52 |
| 18 | Welche Verbraucher können abgeschaltet werden? | 52 |
| 19 | Wie funktioniert ein Energiekontrollsystem? | 53 |
| 20 | Welches Energieoptimierungssystem kommt zum Einsatz? | 54 |
| 21 | Unterstation für thermische Verbraucher | 54 |
| | Unser Programm | 55 |

1 Fachbegriffe (in alphabetischer Reihenfolge)

Blindleistung

Die Blindleistung Q wird z.B. bei Motoren und Transformatoren als Magnetisierungsenergie und bei Stromrichtern für die Kommutierung benötigt. Die Blindleistung bewirkt, im Gegensatz zur Wirkleistung, keine nutzbare Arbeit. Für die Blindleistung wird die Einheit var bzw. kvar verwendet.

Blindleistungskompensation

Um einen unwirtschaftlichen Energietransport zu vermeiden, schreiben die Energieversorgungsunternehmen einen minimalen $\cos\phi$ vor. Ist der $\cos\phi$ des Betriebes kleiner, muss dieser Anteil der Blindleistung bezahlt werden. Anstelle der Bezahlung ist es günstiger den $\cos\phi$ durch den Einsatz von Kompensationsmaßnahmen zu verbessern. Dabei werden Kondensatoren parallel zu den anderen Verbrauchern angeschlossen.

cos-phi

Der Verschiebungsfaktor ($\cos\phi$) stellt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung (nur Grundschiwingung 50Hz) dar. Dabei unterscheidet man zwischen einem induktiven und kapazitiven $\cos\phi$. Mit Hilfe des $\cos\phi$ kann der Blindleistungsanteil der Grundschiwingung im Netz bestimmt werden.

Fourier-Analyse

Mit der Fourier-Analyse lässt sich eine nicht sinusförmige Funktion in ihre harmonischen Bestandteile zerlegen. Die Schwingung mit der Kreisfrequenz ω_0 wird als Grundschiwingung bezeichnet. Die Schwingungen der Kreisfrequenz $n \times \omega_0$ nennt man harmonische Oberschwingungen.

Impedanz

Resultierende Impedanz (Widerstand) in einem Punkt des Verteilernetzes bei einer bestimmten Frequenz. Die Impedanz wird durch die im Netz angeschlossenen Verbraucher, die vorhandenen Verteilertransformatoren, die Leitungsquerschnitte und Leitungslängen bestimmt.

Impedanzfaktor

Der Impedanzfaktor α ist das Verhältnis der Tonfrequenzimpedanz zur 50 Hz-Impedanz.

Kombifilter

Parallelschaltung von zwei unterschiedlichen Verdrosselungsfaktoren zur Sperrung von Rundsteuersignalen und zur kostengünstigen Netzreinigung.

Leistungsfaktor λ

Lambda - Der Leistungsfaktor stellt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung dar. Dabei sind neben der Grundschiwingung auch die Oberschwingungsanteile beinhaltet.

Oberschwingungen

Sinusförmige Schwingungen, deren Frequenz ein Vielfaches der Netzfrequenz ist. Jeder Oberschwingung ist eine Ordnungszahl n (3., 5., 7. usw.) zugeordnet. Eine Ursache für die Oberschwingungen sind die nichtlinearen Magnetisierungskennlinien der Eisenkerne von Transformatoren. Besondere Betrachtung bedarf dabei die 3. Oberschwingung, diese hat in allen Leitern gleiche Phasenlage und hebt sich dadurch im Sternpunkt nicht auf.

Oberschwingungsströme

Oberschwingungsströme entstehen durch einen nichtsinusförmigen Strombezug von Geräten und Anlagen. Die Oberschwingungsströme werden dem Stromversorgungsnetz aufgezwungen.

Oberschwingungsspannungen

Oberschwingungsspannungen entstehen durch den Spannungsabfall an den Netzimpedanzen, verursacht durch die im Netz fließenden Oberschwingungsströme.

Parallelresonanzfrequenz

Frequenz, bei welcher der Betrag der Impedanz eines Netzwerkes ein Maximum aufweist. Beim Parallelschwingkreis sind die Teilströme I_L und I_C größer als der Gesamtstrom I .

Reihen- oder Serienresonanzfrequenz

Frequenz, bei welcher der Betrag der Impedanz eines Netzwerkes ein Minimum aufweist. Beim Reihenschwingkreis werden die Teilspannungen U_L und U_C größer als die Gesamtspannung U .

Reihenschwingkreis

Serienschaltung von Induktivität (Drossel) und Kapazität (Kondensator).

Resonanzen

Die im Netz eingesetzten Betriebsmittel bilden mit ihren Kapazitäten (Kabel, Kompensationskondensatoren usw.) und den Induktivitäten (Transformatoren, Drosselspulen usw.) Schwingkreise. Diese können durch Netzoberschwingungen in Resonanz ange regt werden.

Resonanzfrequenz

Jede Zusammenschaltung von Induktivitäten und Kapazitäten bildet einen Schwingkreis mit einer bestimmten Resonanzfrequenz. In einem Netzwerk mit mehreren Induktivitäten und Kapazitäten treten mehrere Resonanzfrequenzen auf.

Saugkreis, abgestimmt

Serienschwingkreis, der aus einer Drosselspule und einem Kondensator aufgebaut ist, die so abgestimmt sind, dass sie für Oberschwingungsströme sehr kleine Impedanzen darstellen. Abgestimmte Schwingkreise werden speziell für die Netzreinigung einer Netzharmonischen eingesetzt.

Saugkreis, verstümmt

Serienschwingkreis aus Drossel und Kondensator, abgestimmt auf eine Frequenz unterhalb der niedrigsten Oberschwingung zur Verhinderung von Resonanzen.

THD-I

Das Verhältnis des Effektivwertes der Summe aller Oberschwingungen des Stroms zum Effektivwert der Grundschiwingung. Meistens werden in die Berechnung die Oberschwingungen bis zur 40. Ordnung einbezogen. Da sich die Oberschwingungen nur auf die Grundschiwingung beziehen, können hier Werte größer 100 % auftreten.

THD-U

Das Verhältnis des Effektivwertes der Summe aller Oberschwingungen der Spannung zum Effektivwert der Grundschiwingung. Meistens werden in die Berechnung die Oberschwingungen bis zur 40. Ordnung einbezogen.

Tonfrequenz

Höherfrequentes, der Netzspannung aufmoduliertes Signal zur Steuerung von Straßenlampen, HT/NT-Umschaltung und Nachtspeicherheizungen.

Tonfrequenzsperrkreis

Bauelement, welches aus einer Primär-Drosselspule und einem dazu parallel geschalteten Parallelschwingkreis (Sekundär-Drosselspule und Kondensator) besteht. Die Tonfrequenzsperrung wird zur Sperrung des EVU-Tonfrequenzsignals eingesetzt.

Verdrosselung

Schaltung von Drosselspulen in Serie mit Kondensatoren.

Verdrosselungsfaktor

Prozentuales Verhältnis (p) der Reaktanz der Drossel X_L zu Reaktanz des Kondensators X_C . Standardverdrosselungsfaktoren sind z.B. 5,5 %, 7 % und 14 %.

Verdrosselungsfrequenz

Serien- bzw. Reihenresonanzfrequenz, auf welche die Reihenschaltung von Drossel und Kondensator abgestimmt ist.

Zwischenharmonische

Sinusförmige Schwingung, deren Frequenz kein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.

2 Netzqualität

Unter Netzqualität versteht man die Versorgungssicherheit der Abnehmer mit einer unverzerrten, sinusförmigen Netzspannung mit konstanter Amplitude und Frequenz. Die Netzqualität kann durch Fehler im Versorgungsnetz (Kurzunterbrechungen, Spannungseinbrüche, Überspannungen) oder durch Störungen (Flicker, Oberschwingungen, Unsymmetrien, Spannungsschwankungen), welche durch Lasten erzeugt werden, beeinträchtigt werden.

2.1 EN 50160 – Europäische Norm zur Beschreibung der Netzqualität

In der Norm EN 50160 werden unter anderem Parameter wie Netzfrequenz, Spannungsänderungen, Spannungseinbrüche, Unterbrechungen der Versorgungsspannung, Flicker usw. festgelegt. Im Folgenden werden einige der Forderungen näher beschrieben.

Grenzwerte für Netzharmonische

| für ungeradzahlige und nicht durch 3 teilbare Oberschwingungen | | für ungeradzahlige und durch 3 teilbare Oberschwingungen | | für geradzahlige Oberschwingungen | |
|--|------|--|-----|-----------------------------------|-----|
| n | % | n | % | n | % |
| 5 | 6 | 3 | 5 | 2 | 2 |
| 7 | 5 | 9 | 1.5 | 4 | 1 |
| 11 | 3.5 | 15 | 0.5 | 6 | 0.5 |
| 13 | 3 | 21 | 0.5 | 8 | |
| 17 | 2 | >21 | 0.5 | 10 | 0.5 |
| 19 | 1.5 | | | 12 | |
| 23 | 1.5 | | | 14 | 0.5 |
| 25 | 1.5 | | | 16 | |
| 29 | 1.05 | | | >18 | 0.5 |
| 31 | 0.92 | | | | |
| 35 | 0.76 | | | | |
| 37 | 0.7 | | | | |

Netzfrequenz

Die Netzfrequenz von 50 Hz darf höchstens um $\pm 1\%$ variieren.

Langsame Spannungsänderungen

Über einen Messzeitraum von einer Woche müssen 95 % der gemessenen 10-Minuten Mittelwerte der Spannung in einem Bereich von $\pm 10\%$ der Versorgungsspannung liegen.

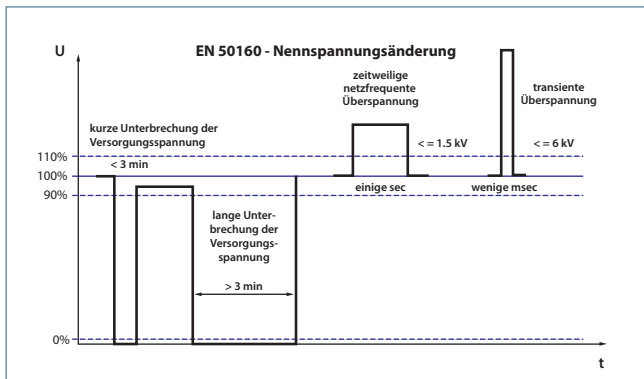
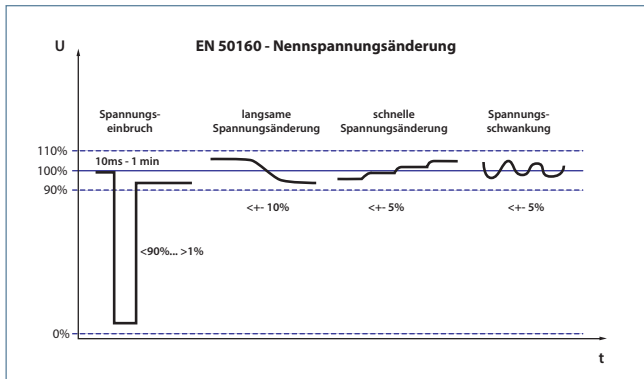
Spannungseinbrüche

Über- oder unterschreitet der 10 ms-Effektivwert der Spannung ein Band von $\pm 10\%$ der Nennspannung, spricht man von einem Spannungseinbruch oder einer Spannungsüberhöhung.

Unterbrechung der Versorgungsspannung

Unterbrechungen der Versorgungsspannung dürfen bis zu 50mal im Jahr entstehen. Ein Absinken der Spannung auf unter 1% der Versorgungsspannung wird als Unterbrechung bezeichnet.

2.2 Darstellung der EN 50160 in graphischer Form



2.3 Störung – Ursache – Auswirkung – Abhilfe

| Störung | Ursache | Auswirkung | Abhilfe |
|---------------------------------|--|---|---|
| Spannungsschwankungen | <ul style="list-style-type: none"> - Änderung des Spannungsabfalls an der Netzimpedanz - Ein-/Aussschalten großer Lasten - Anlauf von großen Motoren - Schweißmaschinen - Schmelzöfen | Änderung im Effektivwert der Versorgungsspannung | Verkleinern der Netzimpedanz, Vermindern der zugeschalteten Leistung, Spannungsstabilisator, Dynamische Kompensation, Motoranlauf Kompensation. |
| Spannungseinbrüche | Hohe Einschaltströme | Ausfall von elektronischen Geräten | Begrenzung des Anlaufstroms |
| Spannungsunterbrechungen | <ul style="list-style-type: none"> - Erdschlüsse - Kurzschlüsse | Ausfall der Verbraucher, der Anlage oder der Produktion | USV-Anlagen, Notstromaggregate |
| Flicker | <ul style="list-style-type: none"> - Kopiergeräte - Schwingungspaketsteuerungen - Lichtbogenöfen - Pressen - Schweißgeräte | <ul style="list-style-type: none"> - Leuchtlichteänderungen an Glühlampen - Ermüdung der Augen - Schwindelgefühl - Schwächung von Bauteilen | Verkleinern der Netzimpedanz, Vermindern der Last, Verändern des Betriebsverhaltens, Flickerkompensation. |
| Oberschwingungen | <ul style="list-style-type: none"> - Stromrichter - Gleichrichter - Frequenzumrichter - Schaltmetzeile - Eisenkernsättigung | Thermische Überlastung von Motoren und Transformatoren, Schäden an elektronischen Verbrauchern, Fehlfunktionen, Produktionsausfall, Resonanzanregung. | Saugkreisanlagen, Aktive Oberschwingungsfilter, Passive Oberschwingungsfilter. |
| Unsymmetrie | <ul style="list-style-type: none"> - Unsymmetrische Lastenaufteilung - Ein- bzw. Zweiphasenlasten - Induktionsöfen - Wiederstandsschweißmaschinen - Schmelzöfen | Ungleichmäßige Trafobelastung, Trafoverluste, Trafobrummen, Motoren laufen ungleichmäßig, Verschleiß an Lagern, thermische Überbelastung von Motoren. | Gleichmäßige Lastverteilung, Stromrichter oder Umformersätze, Symmetrieeinrichtungen, Aktive Oberschwingungsfilter |
| Transienten | <ul style="list-style-type: none"> - Blitzeinschläge - Schaltmanöver von Kondensatoren oder Induktivitäten - Auslösen von Schutzorganen (Sicherungen, Schalter..) | Fehlfunktionen von Steuerungen, Geräteausfall, Gerätezerstörung, Zerstörung von Motorwicklungen. | Überspannungsschutzorgane |

2.4 Technische Informationen – Netzformen

1. Buchstabe Erdungsart des Trafos

- T direkte Erdung des Sternpunktes
- I Isolierung des Sternpunktes

2. Buchstabe Erdungsart des Verbrauchers

- T direkte Erdung des Verbrauchers
- I direkte Verbindung der Körper (Verbraucher) zum Sternpunkt

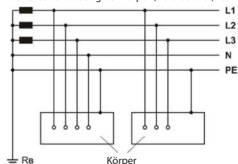


Bild 1, TN-S-System

- Transformatorsternpunkt direkt über den Netzbetriebsender RB geerdet
- Körper über Schutzleiter mit dem Netzbetriebsender verbunden
- Schutz- und Neutralleiter im gesamten System als zwei separate Leiter ausgeführt

Es wird zwischen 3 Varianten des TN-Netzes unterschieden:

TN-S PE und N sind getrennte Leiter

TN-C Ein kombinierter PEN Leiter erfüllt die Funktion von PE und N Leiter

TN-C-S Ein Teil des Netzes nutzt den PEN Leiter, während im weiteren Verlauf des Netzes PE und N getrennt sind

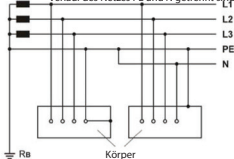


Bild 2, TN-C-S-System

- Transformatorsternpunkt direkt über den Netzbetriebsender RB geerdet
- Körper über PEN bzw. Schutzleiter mit dem Netzbetriebsender verbunden
- Schutz- und Neutralleiter teils zum PEN-Leiter kombiniert, teils als separate Leiter ausgeführt

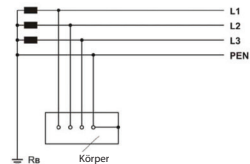


Bild 3, TN-C-System

- Transformatorsternpunkt direkt über den Netzbetriebsender RB geerdet
- Körper über Schutzleiter mit dem Netzbetriebsender verbunden
- Schutz- und Neutralleiter im gesamten System PEN-Leiter kombiniert

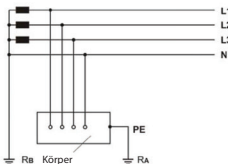


Bild 4, TT-System

- Transformatorsternpunkt direkt über den Netzbetriebsender RB geerdet
- Körper direkt über den Netzbetriebsender RA geerdet

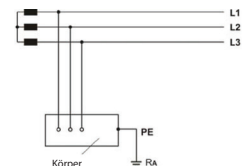


Bild 5, IT-System

- Isolierung aller aktiven Teile gegenüber Erde
- Körper direkt über den Anlagenerder RA geerdet

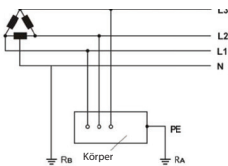


Bild 6, Unsymmetrisches System

- Eine Phase über den Anlagenerder RB geerdet
- Körper direkt über den Anlagenerder RA geerdet

Die Netzform ist für die Ausführung der Kompensationsanlage wichtig. Deswegen sollte die Netzform bei Projekten immer aufgeführt werden. Kompensationsanlagen sind standardmäßig für das TN-C-System ausgelegt, d.h. es gibt eine gemeinsame PEN-Schiene. Wird die Kompensationsanlage im TN-S-System eingesetzt, so wird für den N- und PE-Leiter jeweils eine Anschlusschiene eingebaut.

3 Blindleistung - Grundlagen

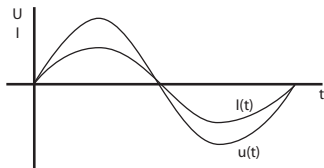
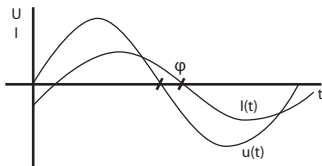
3.1 Was ist Blindleistung?

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.

Phasenverschiebung

In einem Wechselstromnetz bei rein ohmschen Verbrauchern (z. B. Glühlampen, Bügeleisen, Heizwiderstände) befinden sich Strom und Spannung in Phase.

$$\cos\text{-}\phi = 1$$



Befinden sich dagegen induktive Verbraucher (z.B. Transformatoren, Motoren, Vorschaltgeräte) im Netz, so ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, dabei eilt der Strom der Spannung um den Winkel ϕ nach.

$\cos\text{-}\phi$ ist induktiv

3.2 Welche Verbraucher benötigen Blindleistung?

Induktive Verbraucher, wie z.B.

- Asynchronmotoren
- Stromrichter
- Transformatoren
- Schweißgeräte
- Leuchtstofflampen
- Leuchtröhren
- Anlagen mit sonstigen Entladungseinrichtungen
- Stromversorgungsleitungen

also Spulen jeder Ausführung.

3.3 Verschiebungsfaktor cos-phi unterschiedlicher Industriezweige

| Art der Anlage bzw. Anlagenart | Mittlerer Verschiebungsfaktor cos-phi mittel (unkompensiert) |
|---|--|
| Nahrungsmittelbetriebe | |
| Fleischereien | 0.6 ... 0.7 |
| Bäckereien | 0.6 ... 0.7 |
| Molkerei | 0.6 ... 0.8 |
| Mühlen | 0.6 ... 0.7 |
| Brauereien | 0.6 ... 0.7 |
| Tabakfabriken | 0.6 ... 0.7 |
| Zuckerherstellung | 0.8 ... 0.85 |
| Kühlager | 0.6 ... 0.7 |
| Holzindustrie | |
| Sägewerke | 0.6 ... 0.7 |
| Trockenanlagen | 0.8 ... 0.9 |
| Sperrholzfabriken | 0.6 ... 0.7 |
| Möbel- und Bautischlereien | 0.6 ... 0.7 |
| Metallverarbeitung | |
| Werkzeugmaschinen für Kleinserienproduktion | 0.4 ... 0.5 |
| Werkzeugmaschinen für Großserienproduktion | 0.5 ... 0.6 |
| Schweißmaschinen | 0.5 ... 0.7 |
| Schweißtransformatoren | 0.4 ... 0.5 |
| Krananlagen | 0.5 ... 0.6 |
| Größere Werkzeugmaschinen | |
| Einschließlich Pressen | 0.65 ... 0.7 |
| Wasserpumpen | 0.8 ... 0.85 |
| Mechanische Werkstätten | 0.5 ... 0.6 |
| Ventilatoren | 0.7 ... 0.8 |
| Kompressoren | 0.7 ... 0.8 |
| Gießereien | 0.6 ... 0.7 |
| Kfz.-Reparaturwerkstätten | 0.7 ... 0.8 |

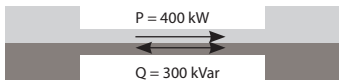
3.4 Warum wird kompensiert?

- Um die Blindenergiekosten, die von den meisten Energieversorgungsunternehmen (EVU's) berechnet werden, einzusparen.
- Um elektrische Einrichtungen wie Leitungen, Schaltorgane, Trafos, Generatoren von Blindleistung zu entlasten und dadurch die Übertragungsverluste zu reduzieren.
- Um im günstigsten Fall Kosten für eine neue Zuleitung oder die Anschaffung eines neuen Transformators einzusparen.
- Um den eigenen Generator wirtschaftlicher auszunutzen, d.h. möglichst wenig Fremdenergie zu beziehen.

In den Tarifverträgen des EVU's wird der geforderte Verschiebungsfaktor $\cos \phi$, der vom Verbraucher einzuhalten ist, vorgeschrieben.

3.5 Auswirkung einer Kompensationsanlage

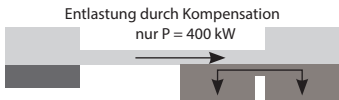
EVU Trafo ohne Kondensator Verbraucher
 oder Generator
 500 kVA



$\cos \phi$ 0.8

Anlage ohne Kompensation

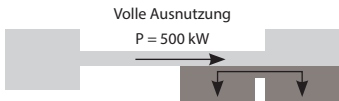
Die Netzzuleitung und der Transformator wird mit einer Blindleistung von 300 kVar belastet



Reserve 100 kVA
 $\cos \phi$ 1.0

Anlage mit Kompensation

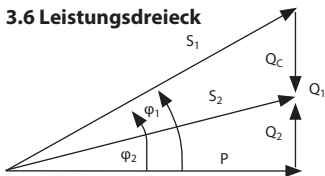
Entlastung des Transformators und der Netzzuleitung. Dadurch ergibt sich beim Transformator eine Leistungsreserve.



500 kVA=500kW
 $\cos \phi$ 1.0

Volle Ausnutzung des Transformators und der Zuleitung durch Vergrößerung der Kompensationsleistung möglich.

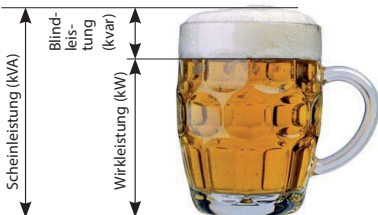
3.6 Leistungsdreieck



- 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.

In der Praxis sieht das auch schon mal so aus:



3.7 Berechnungsbeispiele zur Veranschaulichung der Kostensenkung

Einsparen der jährlichen Blindenergiekosten in einem Industriebetrieb

Mittlerer Leistungsbezug von 400 kW

Verschiebungsfaktor $\cos\phi$ 0,7

Jahresarbeitszeit 2500 Stunden

Kosten für die Blindenergie pro Jahr 5.800.- Euro

Zum Erreichen eines Ziel $\cos\phi$ von 0,9 sind 216 kvar notwendig.

Gewählt wird eine verdrosselte Anlage mit 250 kvar.

Die Investition incl. Installation beläuft sich auf ca. 8.000.- Euro.

Die Amortisationsdauer beläuft sich auf 1 Jahr und 5 Monate.

Einsparen von jährlich anfallenden Wirkenergiekosten für Leitungsverluste

Durch die Reduzierung des Scheinstromes, bzw. Scheinleistung reduzieren sich auch die Wirkenergiekosten. Bei obigem Beispiel ergibt sich folgende Reduzierung.

Transformatorleistung 630 kVA.

Im unkompensierten Betrieb ergeben sich bei Vollaustattung des Transformators Leitungsverluste von 10kW. Dies entspricht im Leistungs-dreieck einem Winkel von $89,09^\circ$.

$$\cos \alpha = P/S = 10 \text{ kW} / 630 \text{ kVA} = 89,09^\circ$$

Nach Einbau der Kompensationsanlage sinkt die Blindleistung auf 236 kvar.

Somit ergibt sich die jetzt bezogene Scheinleistung

$$S^2 = P^2 + Q^2 = (400 \text{ kW})^2 + (236 \text{ kvar})^2 = (464 \text{ kVA})^2.$$

Die Leitungsverluste mit Kompensation betragen dann:

$$P = S \times \cos \alpha = 464 \text{ kVA} \times \cos 89,09 = 7,37 \text{ kW}$$

Natürlich hat eine Kompensationsanlage auch Verluste, in diesem Beispiel 1250W.

Es bleibt somit folgende Reduzierung der Leistungsverluste.

$$P = 10 \text{ kW} - 7,37 \text{ kW} - 1,25 \text{ kW} = 1,38 \text{ kW}$$

Bei einer Jahresarbeitszeit von 2500 Stunden ergibt sich eine Reduzierung der Wirkenergie um 3.450 kWh. Bei Kosten in Höhe von 0,08 €/kWh ergibt sich eine jährliche Einsparung von 276.-€.

Einsparen von Investitionskosten

In diesem Beispiel sinkt die Transformatorbelastung von 630 kVA (100%) auf 464 kVA (74%). Es besteht somit die Möglichkeit weitere Verbraucher zu installieren, ohne den Transformator tauschen zu müssen. Ein neuer Transformator mit 800kVA kostet incl. Installation ca. 30.000.- Euro. Bei der Installation von neuen Verbrauchern muss die Kompensation in der Regel erweitert werden, dennoch sind die Kosten für eine Blindleistungskompensationsanlage um den Faktor 2-3 niedriger als die Kosten für einen neuen Transformator.

3.8 Wo wird kompensiert?

- Direkt am Motor, wenn der Motor eine gute Ausnutzung hat, d.h. eine lange Einschaltzeit.
- Am Transformator, wenn eine hochspannungsseitige Messung erfolgt.
- Vorschaltgeräte von Leuchtstofflampen, wenn Leitungen und Vorschaltgeräte entlastet werden sollen.
- An der Hauptverteilung, wenn viele Verbraucher mit unterschiedlichen Laufzeiten und kleinem Gleichzeitigkeitsfaktor in der Anlage betrieben werden müssen.

3.9 Womit wird kompensiert?

- Festkondensatoren ohne zusätzliche Schaltglieder für Direktkompensation an Transformatoren und Motoren.
- Parallel- oder Reihen-kondensatoren an Vorschaltgeräten bei Leuchtstofflampen.
- Kondensator mit Scheinstromrelais und Schalteinrichtung an Unterverteilung zur Kabelentlastung oder zur Kompensation in kleineren Betrieben.
- Automatisch arbeitende Kompensationsanlagen die in der Stufenleistung den Betriebsverhältnissen angepasst sind.

3.10 Wie wird eine Kompensationsanlage ausgelegt?

Die überschlägige Bestimmung der Kompensationsanlagengröße wird mittels einer EVU-Stromrechnung durchgeführt. Aus dieser Rechnung kann die zwischen dem EVU und dem Endabnehmer vereinbarte Tarifart entnommen werden.

kW-Tarif: Hierbei wird vom EVU z. B. ein $\cos \varphi$ von mindestens 0,9 gefordert. Die zu bezahlenden Blind-kvarh sind aufgeführt. Für die Berechnung des $\tan \varphi_1$ muss die gemessene Blindarbeit herangezogen werden.

$\tan \varphi_1$ = Blindarbeit in kvarh / Wirkarbeit in kWh

Aus der Tabelle den Multiplikator entnehmen und mit Leistungsspitze (kW-Spitze) multiplizieren.

| | | | |
|------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Beispiel: | Leistungsspitze in kW | = 62 kW | |
| | Blindverbrauch | = 15.600 kvarh | Wirkverbrauch = 13.000 kWh |
| | gewünschter Ziel-cos φ_2 | = 0,92 | |
| | $\tan \varphi_1$ | = 15.600 / 13.000 = 1,2 | -> siehe Seite 18 |
| | aus Tabelle-Multiplikator | = 0,77 | -> siehe Seite 18 |
| | Anlagengröße : 62 x 0,77 | = 47,7 kvar | |

Gewählte Anlage aus dem Standardprogramm:

verdrosselt: **multicab-R 050/05-1220-14-SWSB**

Amortisationszeit: Kosten der Kompensationsanlage / monatliche Einsparung = ca. Monate

| Definition of $\tan \varphi_1$ | $\cos \varphi_1$ | $\cos \varphi_2$ = 0.90 | $\cos \varphi_2$ = 0.92 | $\cos \varphi_2$ = 0.95 | $\cos \varphi_2$ = 0.97 | $\cos \varphi_2$ = 1.00 |
|-----------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 4.90 | 0.20 | 4.41 | 4.57 | 4.57 | 4.65 | 4.90 |
| 3.87 | 0.25 | 3.39 | 3.45 | 3.54 | 3.62 | 3.87 |
| 3.18 | 0.30 | 2.70 | 2.75 | 2.85 | 2.93 | 3.18 |
| 2.68 | 0.35 | 2.19 | 2.25 | 2.35 | 2.43 | 2.68 |
| 2.29 | 0.40 | 1.81 | 1.87 | 1.96 | 2.04 | 2.29 |
| 2.16 | 0.42 | 1.68 | 1.74 | 1.83 | 1.91 | 2.16 |
| 2.04 | 0.44 | 1.56 | 1.62 | 1.71 | 1.79 | 2.04 |
| 1.93 | 0.46 | 1.45 | 1.50 | 1.60 | 1.68 | 1.93 |
| 1.83 | 0.48 | 1.34 | 1.40 | 1.50 | 1.58 | 1.83 |
| 1.73 | 0.50 | 1.25 | 1.31 | 1.40 | 1.48 | 1.73 |
| 1.64 | 0.52 | 1.16 | 1.22 | 1.31 | 1.39 | 1.64 |
| 1.56 | 0.54 | 1.07 | 1.13 | 1.23 | 1.31 | 1.56 |
| 1.48 | 0.56 | 1.00 | 1.05 | 1.15 | 1.23 | 1.48 |
| 1.40 | 0.58 | 0.92 | 0.98 | 1.08 | 1.15 | 1.40 |
| 1.33 | 0.60 | 0.85 | 0.91 | 1.00 | 1.08 | 1.33 |
| 1.27 | 0.62 | 0.78 | 0.84 | 0.94 | 1.01 | 1.27 |
| 1.20 | 0.64 | 0.72 | 0.77 | 0.87 | 0.95 | 1.20 |
| 1.14 | 0.66 | 0.65 | 0.71 | 0.81 | 0.89 | 1.14 |
| 1.08 | 0.68 | 0.59 | 0.65 | 0.75 | 0.83 | 1.08 |
| 1.02 | 0.70 | 0.54 | 0.59 | 0.69 | 0.77 | 1.02 |
| 0.96 | 0.72 | 0.48 | 0.54 | 0.63 | 0.71 | 0.96 |
| 0.91 | 0.74 | 0.42 | 0.48 | 0.58 | 0.66 | 0.91 |
| 0.86 | 0.76 | 0.37 | 0.43 | 0.53 | 0.60 | 0.86 |
| 0.80 | 0.78 | 0.32 | 0.38 | 0.47 | 0.55 | 0.80 |
| 0.75 | 0.80 | 0.27 | 0.32 | 0.42 | 0.50 | 0.75 |
| 0.70 | 0.82 | 0.21 | 0.27 | 0.37 | 0.45 | 0.70 |
| 0.65 | 0.84 | 0.16 | 0.22 | 0.32 | 0.40 | 0.65 |
| 0.59 | 0.86 | 0.11 | 0.17 | 0.26 | 0.34 | 0.59 |
| 0.54 | 0.88 | 0.06 | 0.11 | 0.21 | 0.29 | 0.54 |
| 0.48 | 0.90 | | 0.06 | 0.16 | 0.23 | 0.48 |
| 0.43 | 0.92 | | | 0.10 | 0.18 | 0.43 |
| 0.36 | 0.94 | | | 0.03 | 0.11 | 0.36 |
| 0.29 | 0.96 | | | | 0.04 | 0.29 |
| 0.20 | 0.98 | | | | | 0.20 |

Weitere Möglichkeiten für die Bestimmung der Anlagengröße

Blindleistungsmessinstrument, KBR-Fachberater, Messung mit Netzmessgerät KBR-multilog 2 und Auswertung am PC.

4 Kompensationsarten

4.1 Einzelkompensationen

Anwendungen in der Regel bei Verbrauchern mit konstanter Leistung, die vorzugsweise im Dauerbetrieb arbeiten. Typische Verbraucher sind Leuchtstofflampen, Asynchronmotoren, Transformatoren und Schweißgleichrichter.

Vorteile:

- Blindleistungskompensation an Ort und Stelle,
- Verringerung der Verluste und des Spannungsfalls,
- Einsparung des Schaltgerätes.

Nachteile:

- Mehrere kleine Kondensatoren sind teurer als ein größerer, entsprechender Gesamtleistung.
- Niedrige Betriebsdauer des Kondensators bei Geräten, die nicht oft eingeschaltet sind.

4.1.1 Einzel- und Gruppenkompensation von Leuchtstofflampen

4.1.1.1 Parallelkompensation 230 V

| Lampe (W) | Kondensator (μF) |
|-----------|-------------------------------|
| 20 | 4.5 |
| 22 | 4.5 |
| 30 | 4.5 |
| 32 | 4.5 |
| 36 | 4.5 |
| 38 | 4.5 |
| 40 | 4.5 |
| 42 | 6 |
| 58 | 7 |
| 65 | 7 |
| 100 | 16 |

4.1.1.2 Reihenkompensation (Duoschaltung, 420 V)

| Lampe (W) | Kondensator (μF) |
|-----------|-------------------------------|
| 20 | 2.9 |
| 22 | 3.2 |
| 30 | 3 |
| 32 | 3.6 |
| 36 | 3.6 |
| 38 | 3.6 |
| 40 | 3.6 |
| 42 | 4.4 |
| 58 | 5.7 |
| 65 | 5.7 |

4.1.1.3 Quecksilberdampf- Hochdrucklampen 230 V

| Lampe (W) | Kondensator (μF) |
|-----------|-------------------------------|
| 50 | 7 |
| 80 | 8 |
| 125 | 10 |
| 250 | 18 |
| 400 | 25 |
| 700 | 40 |
| 1000 | 60 |

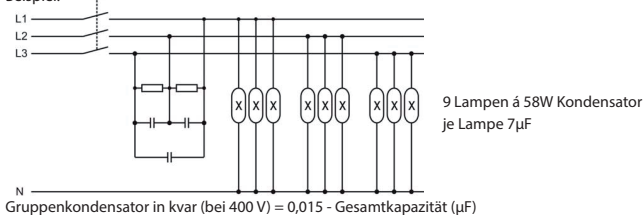
4.1.1.4 Natrium-Dampflampen

| Lampe (W) | Kondensator (μF) |
|-----------|-------------------------------|
| 50 | 8 |
| 80 | 8 |
| 100 | 12 |
| 150 | 20 |
| 250 | 32 |
| 400 | 50 |
| 1000 | 100 |

Gruppenkompensation von Leuchtstofflampen

Wird eine größere Gruppe von Leuchtstofflampen gleichzeitig geschaltet, besteht die Möglichkeit, mit einem 3-phasigen Leistungskondensator eine Gruppenkompensation durchzuführen.

Beispiel:



Beispiel: 9 Lampen - 7 µF = 63 µF (Gesamtkapazität)
 Gruppenkondensator: 63 - 0,015 = 0,945 kvar
 gewählter Kondensator: 1 **kvar**,
 KBR-Leistungskondensatoren UHPC...

WICHTIG: Die Kondensatoren müssen immer Entladewiderstände haben. Bei einer Einzelkompensation von Leuchtstofflampen, sollte nur noch die Reihenschaltung (Duoschaltung) angewendet werden. Man beugt hiermit Störungen bei Tonfrequenzen und Netzurückwirkungen vor.

Werden PCB-haltige Kondensatoren aus Leuchtstofflampen ausgebaut, empfiehlt sich der Einsatz von Gruppenkompensation mit eingebautem Luftschütz Typ multicab-F...-LS oder für Automatikbetrieb mit zusätzlich eingebautem Scheinstromrelais Typ multicab-F...-LSR.

4.1.2 Einzelkompensation von Drehstrom-Asynchronmotoren

Der Asynchronmotor benötigt für den Aufbau des magnetischen Feldes Blindleistung. Der Blindleistungsbedarf der Motoren ist abhängig von der Drehzahl und Nennleistung des Motors. Dabei wird mit abnehmender Belastung der $\cos \varphi$ immer schlechter.

Einzelne EVU's geben Richtlinien heraus, nach denen Drehstrommotoren zu kompensieren sind. Diese Werte liegen z. B. bei 35 ... 40 % der Motornennleistung.

Liegen vom EVU keine Richtlinien vor, kann die Kondensatorenauswahl nach folgender Tabelle vorgenommen werden:

| Motornennleistung kW (400 V, 3 ~) | Kondensatorleistung kvar (400 V, 3 ~) | Mit den vorstehenden Werten wird bei Volllastbetrieb des Motors ein $\cos \varphi$ von 0,92 erreicht. Bei Leerlauf ändert sich der $\cos \varphi$ dann auf annähernd 1. |
|--------------------------------------|--|---|
| 1 ... 3 | 50 % | |
| 4 ... 10 | 45 % | |
| 11 ... 29 | 40 % | |
| from 30 | 35 % | |

Selbsterregung des Motors bei Einschaltung über eine Stern-Dreieckschaltung

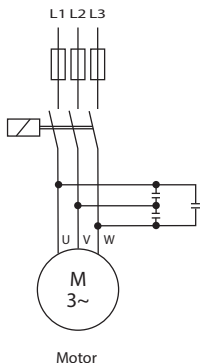
Bei einer Stern-Dreieckschaltung kann eine Überspannung auftreten, wenn nach Abtrennen vom Netz der Kondensator an der in Stern geschalteten Wicklung liegt. Die rotierende Maschine bildet zusammen mit dem Kondensator eine schwingungsfähige Gruppe. Trennt man diese Gruppe vom Netz (bei laufender Maschine), so bleibt an den Klemmen eine durch Selbsterregung erzeugte Spannung bestehen. Die Energie zur Aufrechterhaltung dieser Schwingung wird der kinetischen Energie des Läufers entnommen. Dadurch wirkt der Motor als Generator, wobei er seinen Erregerstrom vom Kondensator erhält. Die Folge dieser Selbsterregung ist eine Überspannung (2-3 fach U_{NENN}) an den Klemmen der noch rotierenden Maschine.

Um einer Selbsterregung aus dem Weg zu gehen, sollte der Kondensator immer mit eigenem Luftschütz ausgerüstet werden. Typ multicab-F...-LS.

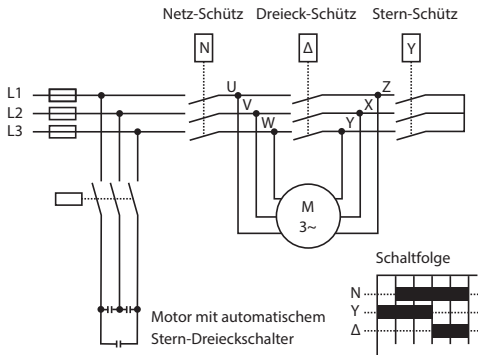
WICHTIG: Bei einer Direktkompensation erniedrigt sich die Stromaufnahme zum Teil erheblich. Vorgeschaltete Motorschutzeinrichtungen (Bimetallrelais) müssen entsprechend dem neu gemessenen Strom niedriger eingestellt werden.

4.1.2.1 Schaltbilder für die Einzelkompensation von Motoren

Die Auswahl des Kondensatoranschlusses kann nach den folgenden Schaltbildern erfolgen.



Bei Befürchtung von Selbsterregung ist der Kondensator immer mit eigenem Schütz auszurüsten.



4.1.3 Einzelkompensation von Aufzug- und Kranmotoren

Bedingt durch die kurzen Einschaltzeiten sollten Aufzugs- und Kranmotore immer direkt kompensiert werden. Die sehr kurze Einschaltdauer kann von einer zentralen Kompensationsanlage nicht ausgewertet werden.

Der Kondensator muss hierbei im Zentel-Sekundenbereich über einen Thyristor geschaltet werden. Dieser Thyristor wird parallel vom Schaltschütz des Motors angesteuert. Unabhängig vom Ladezustand der Kondensatoren schaltet das Thyristormodul diese ohne Einschaltstromstoß ans Netz.

4.1.4 Einzelkompensation von Asynchrongeneratoren

Asynchrongeneratoren sind wie Motoren zu behandeln, dabei ist jedoch folgendes zu beachten. Bei Lastabwurf wird sich die Drehzahl vorübergehend erhöhen, bis der Leistungsregler die Antriebsmaschine gedrosselt hat. In dieser Zeit ist infolge der erhöhten Frequenz eine Übererregung möglich. Aus diesem Grund muss ein Festkondensator für Asynchrongeneratoren immer in schaltbarer Ausführung installiert werden, damit dieser dann über ein Spannungsrelais oder über einen Kontakt des Kuppelschalters ein- und ausgeschaltet werden kann. Weiterhin ist zu beachten, dass ein Asynchrongenerator immer im spannungslosen Zustand, d.h. unerregt, an das Netz geschaltet werden darf, da sonst ebenfalls gefährliche Überspannung auftreten können. Beim Einsatz von Regelanlagen ist darauf zu achten, dass der Blindleistungsregler mit einer 4-Quadrantenmessung ausgerüstet ist.

4.1.5 Einzelkompensation von Transformatoren

Transformatoren nehmen bei Belastung die Transformatorblindleistung auf, welche sich aus der Leerlaufblindleistung und der Streufeldblindleistung an der Kurzschlußreaktanz zusammensetzt. Die Kompensation von Stationstransformatoren wird bei niederspannungsseitiger Messung sehr oft von EVU's durchgeführt, um an den Haupteinspeisungsstellen einen günstigen $\cos\phi$ zu erreichen. Besonders wirtschaftlich wirkt sich eine Trafokompensation für EVU's aus, da die Verlustleistungen auf den Leitungen entsprechend klein gehalten werden können.

Bei mittelspannungsseitiger Messung sollte immer eine Direktkompensation ausgeführt werden, da der Blindleistungsbedarf des Transformators von einer Kompensationsanlage nicht gedeckt wird.

Da die Belastung des Transformators unterschiedlich sein kann, darf sich die Größe des Kondensators nicht nach dem maximalen Blindleistungsbedarf richten. Dadurch wird eine Überkompensation (Spannungserhöhung) in Schwachlastzeiten vermieden. Außerdem könnte bei zunehmendem Oberschwingungsgehalt der Netze die Stromaufnahme des Kondensators ansteigen.

Aus diesen Gründen lassen die meisten EVU's eine lastunabhängige Transformatorkompensation von höchstens 3-5 % der Transformatornennleistung zu. Der Anschluss sollte nur über Sicherungen erfolgen.

| Transformator Nennleistung kVA | Öltrafos kvar | Gießharztrafos kvar | Trafos mit reduzierten Leerlaufverlusten kvar |
|--------------------------------------|------------------|------------------------|---|
| 200 | 5 | 3 | 2 |
| 250 | 5 | 3 | 2 |
| 315 | 8 | 4 | 2 |
| 400 | 8 | 5 | 2 |
| 500 | 12,5 | 5 | 3 |
| 630 | 15 | 5 | 3 |
| 800 | 15 | 8 | 5 |
| 1000 | 20 | 8 | 5 |
| 1260 | 20 | 10 | 5 |
| 1600 | 25 | 10 | 5 |
| 2000 | 30 | - | 8 |
| 5000 | 80 | - | 15 |

Beispiel: Öltransformator Trafoleistung 630 kVA

Kondensator = 15 kvar

KBR-Leistungskondensatoren, 14% verdrosselt mit NH-Trenner

Typ multicab-F 015/01-14-SWGB-N

Es ist weiterhin darauf zu achten, dass der sekundär angeschlossene Kondensator mit der Streureaktanz des Transformators einen Reihenschwingkreis bildet. Stimmt dessen Eigenfrequenz mit einer Netzbereichswegung überein (Resonanz), so kann diese in Schwachlastzeiten auf der Sekundärseite erheblich verstärkt werden. In Netzen mit Tonfrequenzen ist darauf zu achten, dass die Eigenfrequenz nicht mit der Steuerfrequenz übereinstimmt, sonst wirkt die Anordnung auf die Rundsteuerspannung wie ein Kurzschluss.

Die Eigenfrequenz kann wie folgt berechnet werden:

$$f_e = f_o \times \sqrt{\frac{100 \times S_n}{u_k \% \times Q_c}}$$

- f_e = Eigenfrequenz
- f_o = Netzfrequenz
- S_n = Transformator-Nennleistung
- $u_k \%$ = relative Kurzschlussleistung
- Q_c = Kondensatorleistung

4.2 Zentrale Kompensationsanlagen mit Automatikbetrieb

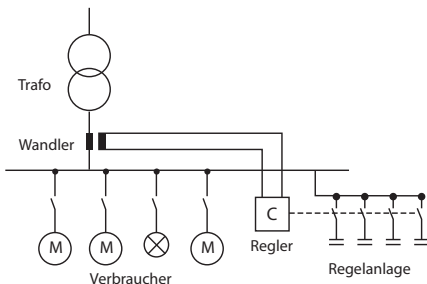
Bei dieser Art von Kompensation wird die kapazitive Blindleistung an einem Punkt, meistens in der Hauptverteilung erzeugt.

Vorteile:

- Bessere Ausnutzung der Kondensatorleistung,
- leichtere Überwachung,
- automatische Regelung möglich,
- dadurch bessere Anpassung an den Blindleistungsbedarf,
- nachträgliche Installation und Erweiterung relativ einfach.

Nachteil:

Nachgelagerte Verteilungs- und Speiseleitungen werden nicht entlastet.



Nach Ermittlungen der erforderlichen Kondensatorgröße erfolgt die Festlegung der automatisch arbeitenden Kompensationseinrichtung.

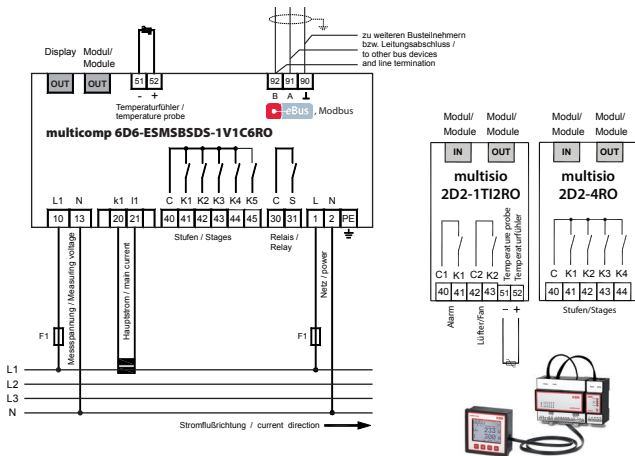
In der Regel reicht eine Unterteilung in 5 Kondensatorstufen. Für den Anschluss der Anlage wird ein Stromwandler $x/5$ A oder $x/1$ A und ein Sicherungsabgang an der Hauptverteilung mit Zuleitung zur Kompensationsanlage benötigt. Bei größerer Entfernung zwischen Wandler und Kompensationsanlage ist der Wandler $x/1$ A zu empfehlen, da hier die Leitungsverluste wesentlich geringer sind.

Die Zu- und Abschaltung der Kondensatorstufen erfolgt automatisch durch einen Blindleistungsregler.

4.3 Blindleistungsregler

Blindleistungsregler

(Systemschaltbild, Änderungen vorbehalten - Bedienungsanleitung beachten):

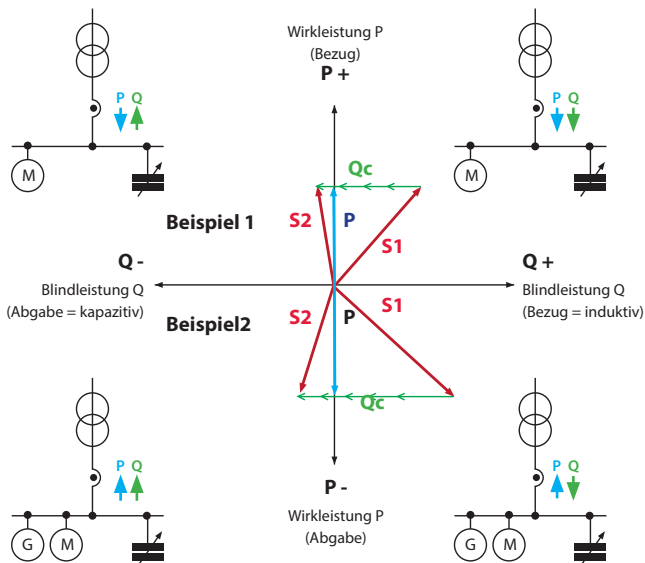


Vorteile der KBR-Blindleistungsregler Typ multicomp-basic

- Einfacher Aufbau und Erweiterung durch modulares Bausteinkonzept
- Echte Blindleistungsmessung und Berechnung der notwendigen Kompensationsleistung im 4-Quadranten-Betrieb
- Optimierendes System zur Erreichung einer schnellen Kompensation mit wenig Schalthandlungen
- Temperaturmessung mit automatischer Einschaltung des Lüfters und Abschaltung der Kondensatoren bei Überschreitung der eingestellten Grenzttemperaturen, auch für Erweiterungs-schränke
- Oberschwingungsmessung mit Stufenabschaltung bei Grenzwertüberschreitung
- umfangreiche Anzeigen mit großem LCD-Display (cos-phi, fehlende kvar, Strom, Spannung, Wirkleistung und Netzharmonische)
- Hand-0-Automatikschtaltung für jede Stufe wählbar
- Anschlussklemmen für 5 A und 1 A Wandler
- bis 24 Stufen, durch Erweiterung mit multi-ro Bausteinen.
- programmierbarer Störmeldekontakt
- Anschluss an KBR-Energiebus
- Sicherheitskonzept **secureC**
- mit Baustein multi-cm. 3-phasige Strommessung für die Überwachung der Kondensatoren, Sicherungen, Schaltspiele usw. Das Sicherheitskonzept unterstützt die Wartung- und Instandhaltung von Kompensationsanlagen.

- Optional: Gateways für MOD-Bus oder Profibus
- Alle KBR Regler sind für den 4-Quadrantenbetrieb geeignet. In nachfolgender Grafik werden die Flussrichtungen der Leistung verdeutlicht. In der Regel arbeiten die Anlagen nur in den Quadranten I und IV, wobei der Quadrant IV für den Generatorbetrieb gültig ist. Die Quadranten II und III werden meist nur kurzzeitig erreicht und zwar nur wenn es zu einer Überkompensation kommt, die aber durch den Regler wieder korrigiert wird.

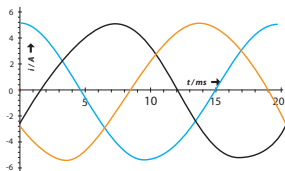
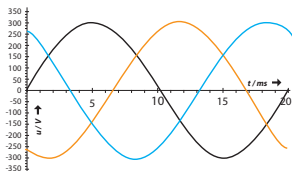
4.3.1 4-Quadrantenbetrieb



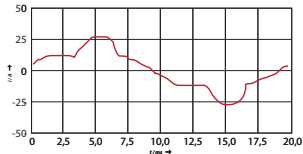
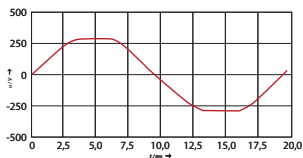
5 Kompensationsanlagen in Netzen mit Oberschwingungen

5.1 Was sind Oberschwingungen?

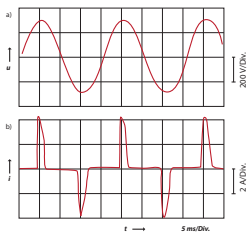
Oberschwingungen sind ein Ergebnis der modernen Verbraucherstruktur. Oberschwingungen sind sinusförmige Überlagerungen der Spannungs- bzw. Stromgrundschwingung, deren Frequenz ein Vielfaches der normalen Netzfrequenz darstellt. Die 50 Hz-Frequenz wird als Grundschwingung bezeichnet. Alle weiteren ganzzahligen Vielfachen als Oberschwingung oder n-te Harmonische.



Darstellung der idealen Spannungs- und Stromform (Sinusverlauf).



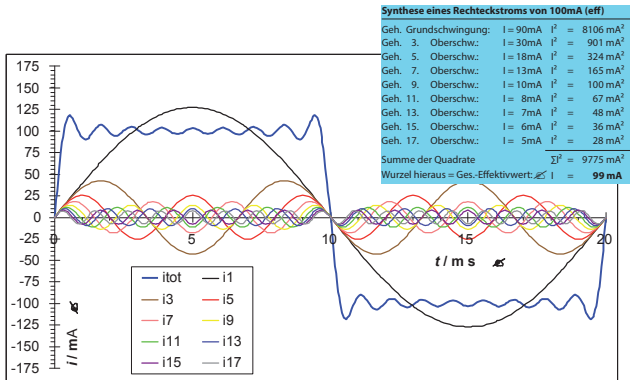
Real existierende Verläufe von Spannung und Strom, welche in einem großen Lager-, Versand- und Verwaltungsgebäude aufgezeichnet wurden.



Spannung und Strom eines Fernsehgerätes.

Zerlegung des Stromrichterstroms in Grund- und Oberschwingungen

Jede Kurvenform kann durch die Fourieranalyse in die einzelnen Oberschwingungen zerlegt werden. Die Berechnung der einzelnen Anteile übernimmt die Messtechnik und liefert gleich die Größe jeder vorhandenen Oberschwingung. Zur Auslegung einer Kompensationsanlage ist es wichtig die Größenordnungen und die Ordnungszahl der Oberschwingungen zu kennen. Erst dadurch kann der Verdrosselungsfaktor exakt bestimmt werden.



Durch die Addition der Grundschwungung mit verschiedenen Netzharmonischen kann die Kurvenform verändert werden. In diesem Beispiel wird eine Rechteckfunktion erzeugt.










5.2 Wie entstehen Oberschwingungen?

Bei linearen Lasten fließt im stationären Zustand durch das Netz ein rein sinusförmiger Strom, so dass der Spannungsfall an den Netz-Impedanzen auch eine Sinusform aufweist. Die Netzklemspannung wird nur in Amplitude und Phase, nicht aber in der Form beeinflusst. Der Sinusverlauf wird daher nicht verzerrt.

Bei nichtlinearen Lasten, wie Eisendrosselspulen, Lichtbögen, Frequenzrichter, getaktete Netzteile oder Leuchtstofflampen, fließt im Netz ein nicht sinusförmiger Strom, der an den Impedanzen einen nicht sinusförmigen Spannungsfall verursacht und somit schließlich zur Verzerrung der Netzklemspannung führt.

5.3 Welche Verbraucher erzeugen Oberschwingungen?

Lichtregelung (Helligkeitssteuerung), getaktete Netzteile (Fernsehgeräte, Computer), Drehzahlregelung an Motoren, gesättigte Eisenkerne mit Induktivitäten, USV-Anlagen (unterbrechungsfreie Stromversorgung), Gleichrichter (Post), Schweißgeräte, Lichtbogenöfen, Werkzeugmaschinen (CNC-gesteuert), Vorschaltgeräte, Funkenerosionsmaschinen.

| Schaltbild | Bezeichnung | Auf I_1 bezogene Oberschwingungsströme in % bei Ordnungszahl | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
|  | Oberschwingungsfreie Last | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|  | Stromrichter, ind. Glättung, B6 | 0.0 | 27.0 | 11.0 | 0.0 | 9.0 | 6.0 | 0.0 | 5.0 | 4.0 | 0.0 | 3.0 | 3.0 |
|  | Stromrichter, ind. Glättung, B6.2/15 | 0.0 | 4.0 | 3.0 | 0.0 | 9.0 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 3.0 |
|  | Stromrichter, ind. Glättung, B6.2S15 | 0.0 | 4.0 | 3.0 | 0.0 | 13.0 | 6.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 3.0 |
|  | Stromrichter, unverdoselt, kap. Glättung, Wechselstrom | 95.0 | 80.0 | 70.0 | 65.0 | 62.0 | 60.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|  | Stromrichter, verdoselt, kap. Glättung, Drehstrom | 0.0 | 86.0 | 70.0 | 0.0 | 36.0 | 22.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|  | Steller, $\cos\text{-}\phi = 1,0$ | 33.0 | 14.0 | 10.0 | 8.0 | 6.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|  | Steller, $\cos\text{-}\phi = 0,8$ | 23.0 | 8.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|  | Steller, $\cos\text{-}\phi = 0,6$ | 17.0 | 6.0 | 3.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

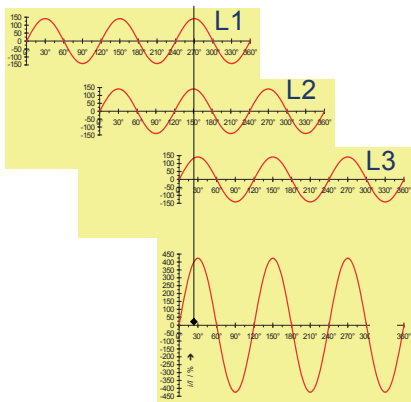
5.4 Folgen von Oberschwingungen

- Oberschwingungsströme (hohe Frequenzen) verursachen Wirbelströme. Wirbelströme zirkulieren in metallischen Teilen und Komponenten und werden durch das Magnetfeld des stromdurchflossenen Leiters verursacht.
- Oberschwingungsströme haben den Skin-Effekt zur Folge. Beim Skin-Effekt steigt die Impedanz des Leiters durch Verlagerung des Stromflusses in den Außenbereich des Kabels. Der Skin-Effekt steigt mit zunehmender Frequenz
- Verzerrung der Netzspannung
- Schlechte Netzqualität
- Überlastung/Ausfall/Fehlfunktion von Verbrauchern
- Erwärmung von Motoren, Transformatoren, Kondensatoren, Sicherungen usw.
- Frühzeitiges Auslösen von Leistungsschaltern
- Verstoß gegen EVU-Forderungen
- Rundsteuerempfänger werden gestört
- Verkürzung der Lebensdauer von Leuchtmittel und anderen Betriebsmittel
- Anregung von Resonanzen

5.4.1 Warum sind Oberschwingungen gefährlich für den Neutralleiter?

Stromverbraucher beeinflussen die Belastung der Leiter im Netz

Früher wurden überwiegend lineare Verbraucher, dessen Stromverlauf sinusförmig ist, auf die drei Phasen zu gleichen Teilen verteilt, so dass ein symmetrisches Netz vorhanden war. Die drei Ströme addieren sich dann im Neutralleiter bei 3-phasigen Betrieb zu Null. Heute werden durch den immer größer werdenden Anteil der Elektronik in den Verbrauchern, speziell bei Massenprodukten wie Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten, Fernsehgeräten, Computer, etc., kapazitiv geglättete Netzgeräte eingesetzt.



Die 150 Hz-Ströme in den drei Phasen, addieren sich im Neutralleiter zu

$3 \times I_{\text{Aussenleiter}}$

Wie arbeiten Netzgeräte?

Netzgeräte dienen der Gleichspannungserzeugung für die elektronischen Geräte. Sie werden heute ohne Eingangstransformator oder Vorschaltinduktivität gebaut. Die Aufladung des Speicherkondensators erfolgt in kurzer Zeit mit hohem Stromimpuls. Der dabei entstehende Stromverlauf ist nicht sinusförmig und erzeugt Oberschwingungen.

Welche Auswirkungen hat das auf unser Netz?

Oberschwingungen überlagern die Grundschiwingung (Netzfrequenz z.B. 50 Hz) und sind das ganzzahlige Vielfache einer Grundschiwingung. Insbesondere die 3. und 9. Oberschwingungen erzeugen hohe Ströme je Phase, die sich selbst bei symmetrischer Lastverteilung nicht aufheben, sondern im Neutralleiter addieren. Ergebnis: Messungen haben ergeben, dass der Neutralleiterstrom auf über 100% des Phasenstromes ansteigen kann.

Fazit: Der Dimensionierung des Neutralleiters muss mehr Beachtung zukommen als bisher.

Festlegungen in den Regeln der Technik

„VDE-Normen“ DIN VDE 0100/520 / IEC 364-5-5: 1993 Abschnitt 524.2: **Der Neutralleiter, soweit vorhanden, darf keinen kleineren Querschnitt als der Außenleiter haben,**

- in Wechselstromkreisen mit zwei Leitern mit beliebigem Außenleiterquerschnitt,
- in Wechselstromkreisen mit drei Leitern und in mehrphasigen Wechselstromkreisen, wenn der Außenleiterquerschnitt kleiner oder gleich 16 mm^2 für Kupfer und 25 mm^2 für Aluminium ist. Abschnitt 524.3: Bei mehrphasigen Wechselstromkreisen, in denen jeder Außenleiter einen Querschnitt größer als 16 mm^2 für Kupfer und 25 mm^2 für Aluminium hat, darf der Neutralleiter einen kleineren Querschnitt als die Außenleiter haben, wenn die folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:
 - Der zu erwartende maximale Strom einschließlich Oberschwingungen im Neutralleiter ist während des ungestörten Betriebes nicht größer als die Strombelastbarkeit des verringerten Neutralleiterquerschnitts. Anmerkung: Hierbei wird von einer symmetrischen Belastung der Außenleiter im ungestörten Betrieb ausgegangen.
 - Der Neutralleiter ist gegen Überstrom durch Maßnahmen nach Abschnitt 473.3.2 (DIN VDE 0100-470) geschützt.
 - Der Querschnitt des Neutralleiters ist größer oder gleich 16 mm^2

Auswirkungen

Durch eine mögliche Überlastung des Neutralleiters, resultierend aus den Unsymmetrieströmen und hinzukommenden Oberschwingungsströmen entstehen Gefahren für elektrische Einrichtungen wie folgt: Kabel und Leiter

- Überhitzung des Neutralleiters
- Brandgefahr
- Gefahr der Unterbrechung des Neutralleiters mit stark sinkender bzw. steigender Phasenspannung. Dadurch sind angeschlossene Geräte gefährdet.
- Größere Leitungsverluste
- Erzeugen von starken Magnetfeldern, die Störungen verursachen können

Transformatoren

- Größere Wärmeverluste
- Überlastung des Sternpunktes
- Resonanzrisiko
- Höhere Geräuschpegel

Kondensatoren (besonders empfindlich gegen Oberschwingungen)

- Größere Wärmeverluste
- Resonanzrisiko
- Kürzere Betriebsdauer

Zusätzlich müssen folgende Fragen für die Auslegung der Niederspannungs-Schaltgerätekombination verstärkt beachtet werden:

- Wo wird der Neutralleiter angeordnet, um die elektromagnetischen Felder zu minimieren?
- Wodurch werden vagabundierende Ströme im Schutzleiter bzw. in konstruktiven Elementen der Schaltanlage vermieden?
- Wie kann das TN-Netz in der Schaltanlage EMV-gerecht ausgeführt werden?

Erkennen einer Gefährdung

In neuen Schaltgerätekombinationen kann durch entsprechende Dimensionierung bzw. Filterung eine Gefährdung der Stromversorgung vermieden werden. In bestehenden Schaltgerätekombinationen besteht die Möglichkeit durch messtechnische Erfassung der Nulleiterströme eine Gefährdung der Stromversorgung rechtzeitig zu erkennen.

Empfehlung

Für **bestehende** Schaltgerätekombinationen:

- Messtechnische Überwachung des Neutralleiters, hierbei ist ein reduzierter Betrieb möglich.
- Einbau eines Aktiven Leistungsfilters zur Reduzierung des Neutralleiterstromes.
- Umbau und Ertüchtigung der Anlage durch Erhöhung des Neutralleiterquerschnittes.

Für **neue** Schaltgerätekombinationen:

- Dimensionierung des Neutralleiters auf einen Wert entsprechend 100% der Belastbarkeit der Außenleiter entsprechend DIN VDE 0100-520.
- Analyse der vorgesehenen Verbraucher und deren Auswirkungen auf die Neutralleiterbelastung, bei Einsatz von
 - getakteten Netzteilen
 - elektronisch geregelten Antriebssteuerungen
 - nicht kompensierten Beleuchtungsanlagen.
- Überwachen der Abgangstromkreise im Neutralleiter durch 4-polige Schutzeinrichtungen.
- Dimensionierung von Kabel, Leitungen und Sammelschienensystemen unter Berücksichtigung der Neutralleiterbelastungen.

5.4.2 Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Leitungen?

Stromoberschwingungen führen zu einem erhöhten Strom durch den Leiter. Durch den Skin-Effekt kommt es zu einer zusätzlichen Erwärmung der Leiter, dies kann eine schnelle Alterung der Leiter (Isolierung) und sogar den Abbrand zur Folge haben. Beim Neutralleiter kommt noch die fehlende Absicherung hinzu, die im Extremfall eine Strombegrenzung durchführen könnte. Weiterhin treten Spannungsüberhöhungen zwischen Neutral- und Erdleiter auf.

5.4.3 Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Sicherungsautomaten?

Stromoberschwingungen führen bei elektronischen Spitzenwert-Sicherungen zu fehlerhaftem und vorzeitigem Auslösen. Durch Wirbelströme und infolge des Skin-Effektes kommt es zu einer zusätzlichen Erwärmung.

5.4.4 Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Motoren?

Stromoberschwingungen führen bei motorischen Lasten zu einer zusätzlichen Erwärmung. Spannungsoberschwingungen haben je nach Ordnungszahl mit- oder gegenlaufende Drehmomente und damit einen ungleichmäßigen Lauf der Maschine zur Folge. Dies führt zur Reduzierung der Motorleistung und Lebensdauer.

5.4.5 Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Transformatoren?

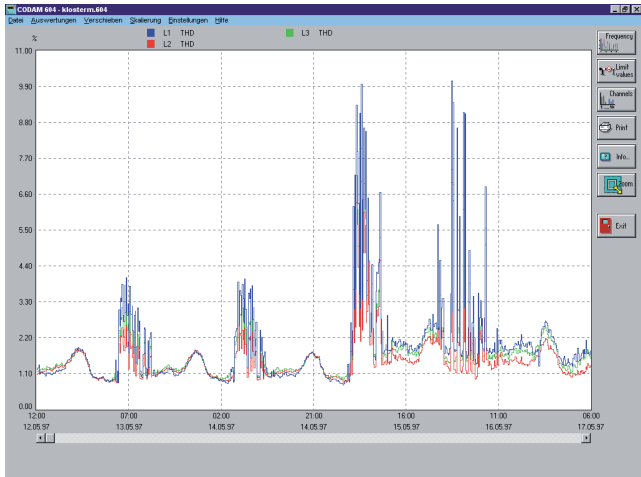
Stromoberschwingungen führen zu einer thermisch höheren Belastung. Des Weiteren können Vibrationen und Brummgeräusche auftreten. Stromoberschwingungen dritter Ordnung zirkulieren innerhalb der Stern-Dreieckschaltung und führen ebenfalls zu einer Erwärmung.

5.4.6 Warum sind Oberschwingungen gefährlich für elektronische Verbraucher?

In Netzen mit erhöhtem Oberschwingungsanteil kommt es zu Fehlfunktionen von Geräten. Die verzerrte Wellenform kann verfälschte Messungen und Anzeigen bei Messgeräten zur Folge haben.

5.4.7 Warum sind Oberschwingungen gefährlich für Kondensatoren?

Die Kapazitäten (Kondensatoren) in Netzen mit Stromrichtern verursachen Schwingungen die zusätzlich die Netzspannung verzerren. Die Frequenz dieser Schwingungen hängt von den Netzparametern ab. Unverdrosselte Netzkondensatoren haben also zur Folge, dass sie unter Umständen die Qualität der Spannungsform verschlechtern. Gleichzeitig werden sie aber auch durch die von ihnen selbst hervorgerufenen Oberschwingungen zusätzlich belastet. Das betrifft insbesondere Kondensatoren zur Blindstromkompensation.



In obiger Messgrafik sind die Spannungsüberschwingungen dargestellt. Die Werte auf der linken Seite sind ohne Kompensationsanlage, die Werte auf der rechten Seite mit unverdrosselter Kompensationsanlage gemessen worden.

Es kommt dabei zu einer erhöhten Stromaufnahme der Kondensatoren und damit verringert sich die Lebensdauer erheblich.

5.5 Resonanzen

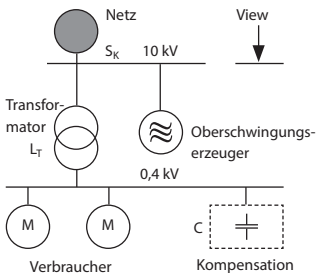
Ein weiterer viel wichtigerer Aspekt sind mögliche Resonanzfälle, die auftreten können, wenn der Kondensator mit vorhandenen Netzinduktivitäten einen Reihen- oder auch Parallelschwingkreis bildet. Man unterscheidet zwei Arten der Resonanz. Egal welcher Resonanzfall vorliegt, es treten dabei erhebliche Schäden in der gesamten Schaltanlage auf.

Reale Netze bestehen immer aus Induktivitäten, Kapazitäten und ohmschen Widerständen. Netzkapazitäten bestehen einerseits aus Systemkapazitäten der Kabel und Leitungen, andererseits aus den eingebauten Leistungskondensatoren. Damit werden die Netze zu schwingungsfähigen Systemen. Der einfachste Schwingkreis setzt sich aus einer Induktivität L und einer Kapazität C zusammen, die entweder in Serie oder parallel geschaltet sind.

Eine Reihenresonanz entsteht, wenn vom Oberschwingungserzeuger aus gesehen, Induktivität und Kapazität in Reihe liegen. Eine Parallelresonanz tritt auf, wenn vom Oberschwingungserzeuger aus gesehen, Induktivität und Kapazität parallel liegen.

Reihenresonanz L und C in Reihe.

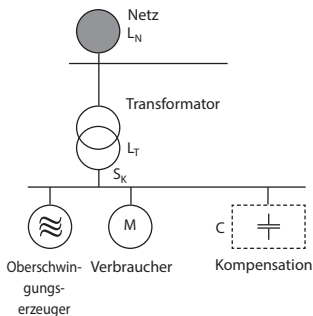
Eine Überlastung des Kondensators kann auftreten, wenn die Schwingkreisordnung aus Kondensatorkapazität und Transformatorinduktivität einen Oberschwingungsstrom aus dem Netz absaugt. Der Reihenschwingkreis hat bei Resonanzfrequenz seinen kleinsten Widerstand. Durch den im Schwingkreis fließenden Strom kommt es zu einer Spannungserhöhung am Kondensator und der Induktivität. Wird der Schwingkreis periodisch erregt, nehmen die Amplituden der Schwingung zu. Die Amplituden können dabei wesentlich größer als die Netzspannung werden, sogar Spannungsüberschläge sind möglich.



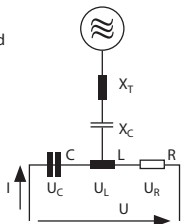
Parallelresonanz L und C parallel.

In einem Parallelschwingkreis, welcher durch eine Stromquelle erregt wird, schwingt der Schwingkreisstrom auf ein vielfaches des Stromes, welcher vom Oberschwingungserzeuger ins Netz fließt. Wird der Schwingkreis periodisch erregt, nehmen die Amplituden der Schwingung zu. Die Amplituden können dabei wesentlich größer als der normale Oberschwingungsstrom werden.

Wegen der hohen Netzimpedanz entstehen zudem hohe Spannungsüberschwingungen.

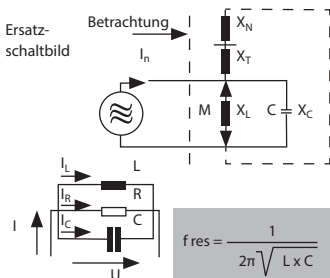


Ersatzschaltbild



$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$$

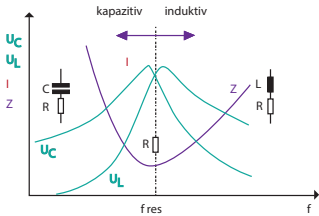
Ersatzschaltbild



$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$$

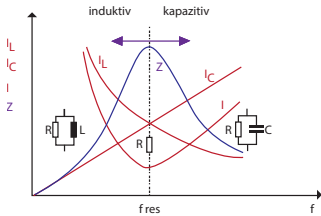
Reihenresonanz L und C in Reihe

Z bei f_r am kleinsten | bei f_r am größten
Spannungserhöhung an L und C
(Spannungsresonanz)



Parallelresonanz L und C parallel

Z bei f_r am größten | bei f_r am kleinsten
Stromerhöhung an L und C
(Stromresonanz)



Sowohl Parallel- als auch Serienschwingkreise treten in realen Stromverteilungsnetzen auf. Da sich Stromrichter zum einen als Oberschwingungsstromquelle und zum anderen als Spannungsgeneratoren verhalten, muss in der Praxis mit beiden Arten der Resonanzerscheinung gerechnet werden. Resonanzbildungen können zu Zerstörungen an allen elektrischen Einrichtungen führen. Vor der Auslegung einer verdrosselten Anlage sollte auf jeden Fall eine Netzanalyse durchgeführt werden. Nach Auswertung der Netzanalyse kann der Verdrosselungsfaktor der Kompensationsanlage exakt bestimmt werden. Des Weiteren muss unbedingt das Rundsteuersignal des EVU's vor dem Einsatz einer verdrosselten Anlage in Erfahrung gebracht werden.

In nachfolgender Darstellung wird die Verschiebung des Resonanzpunktes bei verschiedenen Lastzuständen aufgezeigt. Durch Berechnung können die Resonanzpunkte ermittelt werden, da sich die Lastzustände aber laufend verändern, ist eine Verhinderung von Resonanzen nicht möglich.

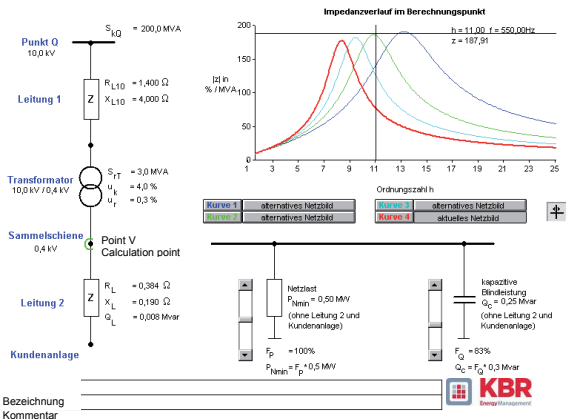
Bei unverdrosselten Anlagen kann schon bei geringem Oberschwingungsanteil, ein Resonanzfall auftreten. Durch Schwingkreisbildung zwischen Kondensatoren und Transformatoren oder Netzinduktivitäten können die Oberschwingungsanteile, die in der Nähe der Resonanzfrequenz des Schwingkreises liegen, stark erhöht werden.

Abhilfe:

Um den angesprochenen Problemen aus dem Weg zu gehen, ist es unumgänglich, eine Kompensationsanlage in verdrosselter Ausführung einzusetzen.

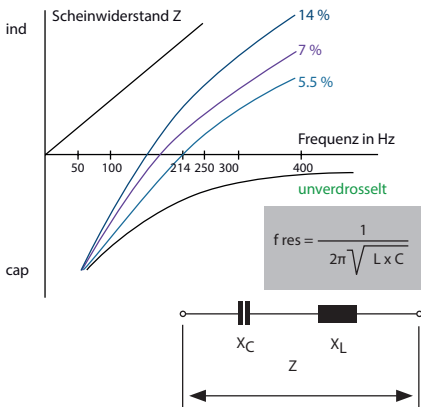
Verdrosselte Kompensationsanlagen sind Stand der Technik!

WICHTIG: Verdrosselte und unverdrosselte Kondensatoren dürfen nie am gleichen Netz betrieben werden. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass sich durch das Parallelschalten von verdrosselten und unverdrosselten Kondensatoren ein neuer Schwingkreis bildet. Die Resonanzfrequenz dieses neu gebildeten Schwingkreises kann im schlimmsten Fall mit einer vorkommenden Oberschwingung zusammenfallen. Der dabei entstehende Saugkreis würde die entsprechende Oberschwingung vollkommen absaugen und die Kondensatoren überlasten. Ein auftreten von Parallelresonanzen ist möglich.



5.6 Was bedeutet „Verdrosselung“ einer Kompensationsanlage?

Zum Kondensator wird eine Drossel in Reihe geschaltet. Der dadurch entstehende Reihenschwingkreis wirkt ab einer bestimmten Frequenz (Resonanzfrequenz) induktiv und kann mit anderen Netzinduktivitäten für Signale mit höherer Frequenz keinen Schwingkreis bilden.



Die Impedanz eines unverdrosselten Kondensators ist immer kapazitiv. Die Impedanz eines verdrosselten Kondensators ist unterhalb der Resonanzfrequenz kapazitiv und oberhalb induktiv.

6 Tonfrequenzsperreinrichtung

Energieversorger (EVU's) steuern mit der Tonfrequenz (Rundsteuersignal) Nachtspeicherheizungen, Zähler, Beleuchtungen u.ä. Die dem Netz überlagerten Impulse liegen je nach EVU zwischen 155 und 2000 Hz. Die Impulse werden von Tonfrequenzrundsteuerempfängern aufgenommen, welche dann die gewünschte Schaltung veranlassen. Dabei ist es sehr wichtig, dass die Signale mit einer ausreichend hohen Spannung übertragen werden.

Da sich der Blindwiderstand des Kondensators umgekehrt proportional zur Frequenz verhält, wird das Rundsteuersignal mehr oder weniger kurzgeschlossen.

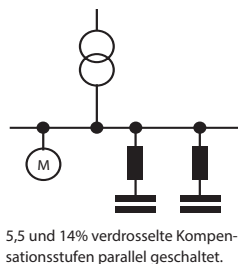
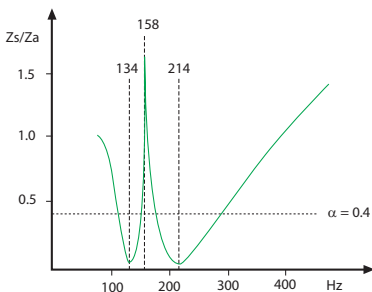
$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$$

Um dies zu verhindern muss den Kondensatoren eine Tonfrequenzsperre vorgeschaltet werden. Die gesendete Frequenz ist beim zuständigen EVU zu erfragen. Die Tonfrequenzsperre muss in Reihe zur Kompensationsanlage geschaltet werden.

Bei verdrosselten Anlagen kann dagegen, je nach Verdrosselungsfaktor, bei höheren Frequenzen, auf eine Tonfrequenzsperre verzichtet werden. Die EVU's fordern einen Impedanzfaktor $\alpha > 0,4$ oder einen leichter bestimmbaren Impedanzfaktor $\alpha^* > 0,5$. Mit Hilfe der Kundendaten wie Transformatorleistung, relative Kurzschlussspannung, Kondensatorleistung und Verdrosselungsfaktor kann eine Kompensationsanlage auf Einsatztauglichkeit geprüft werden, bzw. im Umkehrschluss der notwendige Verdrosselungsfaktor bestimmt werden, um auf eine Tonfrequenzsperre zu verzichten.

7 Kombifilter

Eine weitere Alternative stellt der Einsatz eines Kombifilters dar. Beim Kombifilter werden Stufen mit verschiedenen Verdrosselungsfaktoren eingesetzt. Durch die Kombination von zwei verschiedenen Verdrosselungsfaktoren ergibt sich ein Impedanzverlauf mit einer hohen Sperrwirkung gegenüber dem gesendeten Rundsteuersignal.

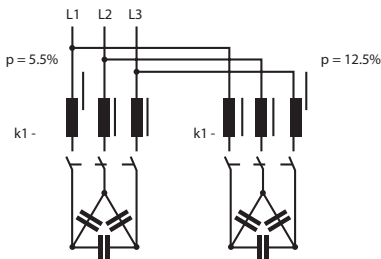


5,5 und 14% verdrosselte Kompensationsstufen parallel geschaltet.

Es werden beim Kombifilter zwei Aufbauvarianten unterschieden:

- Eine Kondensatorstufe setzt sich aus zwei Baugruppen mit verschiedenen Verdrosselungsfaktoren, welche gleichzeitig geschaltet werden, zusammen. Dieser Aufbau ist mechanisch sehr aufwendig und deshalb kostenintensiv.
- Eine zweite Möglichkeit besteht darin, die Stufen mit den verschiedenen Verdrosselungsfaktoren abwechselnd zu schalten. Dabei muss aber sichergestellt werden, dass die Stufen mit dem höheren Verdrosselungsfaktor zuerst zugeschaltet und zuletzt abgeschaltet werden. Diese Variante ist erheblich günstiger und wird von vielen EVU's akzeptiert.

Durch die Parallelschaltung ergibt sich ein bestimmter Frequenzbereich, in welchem die vorkommenden Tonfrequenzen gesperrt werden. Dabei muss die eine Resonanzfrequenz oberhalb, die andere Resonanzfrequenz unterhalb der zu sperrenden Frequenz liegen. Eine mögliche Kombination stellen die Verdrosselungsfaktoren 5,5/14% oder 5,5/12,5% dar.



Der Vorteil dieser Technik ist die Sperrwirkung gegenüber Rundsteuersignalen sowie die gleichzeitig durchgeführte Netzreinigung.

Bei vorhandenen Anlagen ist der Umbau auf einen Kombifilter nur schwer möglich, eine Tonfrequenzsperre dagegen lässt sich ohne größeren Aufwand auch später installieren.

Aufbau eines Kombifilters Version a

8 Was ist beim Betrieb von Kompensationsanlagen zu beachten?

- Beim Einbau von Baugruppen in Fremdschränke ist auf besonders gute Wärmeabfuhr zu achten. Ab Leistungen von größer 100 kvar empfehlen wir den Einbau eines Ventilators mit Thermosteuerung.
- Bei bestehenden Anlagen sind die Filtermatten regelmäßig zu reinigen.
- Verdrosselte Anlagen dürfen nicht mit unverdrosselten Kondensatoren an der gleichen Sammelschiene betrieben werden, da hier die Gefahr einer Parallelresonanz gegen ist.
- Das Rundsteuersignal muss bei der Auslegung einer Kompensationsanlage berücksichtigt werden.
- Die Anlagen bedürfen einer regelmäßigen Überprüfung, da durch Kapazitätsänderungen Überlastungen entstehen können.
- Leistungskondensatoren werden nach VDE 0560 Teil 46 hergestellt und geprüft. Für den Einsatz gilt die Temperaturklasse T40 (Temperatur der umgebenden Luft):
 - maximal kurzzeitig 40°C,
 - höchster Mittelwert über 24 Stunden = 30°C,
 - höchster Mittelwert über 1 Jahr = 20°C.

Blindleistungskompensation für jeden Bedarf

KBR bietet Anlagen für jeden Bedarf

Festkompensationen, Baugruppen für jedes Schranksystem, automatisch geregelte Anlagen im ISO- oder Stahlblechschrank, Filterkreise, Kombifilter, Tonfrequenzsperrern, Blindleistungsregler, Saugkreisanlagen und Sonderausführungen auf Anfrage.

Typgeprüfte Ausführung nach:

| | |
|-----------------------|--|
| DIN VDE 0660 Teil 500 | Kurzschlussfestigkeit |
| DIN VDE 0670 Teil 601 | Isolationsfestigkeit |
| DIN VDE 0470 Teil 1 | Wirksamkeit der Schutzleiterverbindung |
| EN 60439-1 | Kriech- und Luftstrecken |
| IEC 61921 | IP-Schutzart |
| | Störlichtbogenprüfung |
| | CE-Zertifizierung |

9 Die Aufgaben einer Kompensationsanlage

Die Aufgaben einer Kompensationsanlage umfassen die

Einsparung von Blindenergie

Die von den Energieversorgern in Rechnung gestellten Blindarbeitskosten können komplett gespart werden. Die Amortisationszeiten liegen in der Regel zwischen 2-3 Jahren.

Absenkung der Scheinleistung

Durch Senkung der Scheinleistung, werden Leitungen, Transformatoren, Sicherungen usw. entlastet. Die Verluste sinken und die Erwärmung dieser Bauelemente ist geringer. Bei ausreichender Dimensionierung können sogar neue Verbraucher installiert werden, ohne dass neue Investitionen für Leitungen und Transformatoren notwendig sind.

Beitrag zum Umweltschutz

Durch den Einsatz einer Kompensationsanlage wird die benötigte Blindenergie direkt vor Ort im eigenen Netz gespeichert und bei Bedarf abgegeben. Dadurch muss diese Art von Energie nicht mehr durch Kraftwerke erzeugt werden.

Absaugen von Oberschwingungen

Je nach Verdrosselungsfaktor können bestimmte Oberschwingungsanteile aus dem Niederspannungsnetz abgesaugt werden.

10 Leistungskondensatoren

Die von KBR eingebauten Leistungskondensatoren der Typenreihe „UHPC“ sind speziell für den Einsatz in stark Oberschwingungshaltigen Netzen entwickelt. Ständige Prüfungen und Weiterentwicklungen führen zu einer laufenden Verbesserung der technischen Eigenschaften. In der „UHPC“-Reihe sind alle wichtigen Merkmale eines Leistungskondensators vereint. Neben der hohen Lebenserwartung, der hohen Strom- und Spannungsbelastbarkeit, ist die Sicherheit im Überlastungsfall ein weiterer entscheidender Vorteil dieser Reihe.

Sicherheit im Überlastungsfall

Die Kondensatoren besitzen ein selbstheilendes Dielektrikum. Sollte es im Kondensator zu einer Überlastung (Übertemperatur, Überspannung) kommen, so kann ein Durchschlag erfolgen, die verwendete Folie heilt an dieser Stelle dann selbst aus und stellt die Funktion des Kondensators wieder her.

Weiterhin besitzt der Kondensator eine Überdruckabschaltungsicherung. Damit die Überdruck-Abschaltungsicherung funktionieren kann, muss genügend Druck im Inneren des Bechers aufgebaut werden, damit sich der Aluminium-Deckel (gebördelter Membrandeckel) nach außen wölben kann und damit die Anschlussdrähte im Inneren zum Abreißen bringen. Durch eine eigens entwickelte Mechanik werden alle drei Anschlussdrähte vom Netz getrennt und somit höchstmögliche Sicherheit gewährleistet. Durch den aufgebauten Druck darf die Verbindung zwischen Deckel und Becher nicht beschädigt werden, da sonst der Druck seitlich entweichen kann. Aus diesem Grund wird diese Verbindung mit einem Spezialkleber ausgeführt.

Hohe Lebenserwartung

Damit sich der Einsatz einer Kompensationsanlage rechnet, wird für den Aufbau der „UHPC“-Leistungskondensatoren nur qualitativ hochwertiges Material verwendet. Durch die entsprechende Verarbeitung erreichen die Kondensatoren eine erhöhte Lebenserwartung und bringen somit eine höhere Einsparung für den Nutzer.

Hohe Belastbarkeit

Die Kondensatoren sind standardmäßig für den 2-fachen Nennstrom ausgelegt. Dies ist notwendig, da unsere Netze eine immer höhere Oberschwingungsbelastung aufweisen und damit die Kondensatoren zusätzlich belasten. Des Weiteren ist der Kondensator kurzzeitig mit Stromspitzen belastbar, die den bis zu 400-fachen Nennstrom betragen können.

Nach VDE 0560, Teil 41, EN 60831-1 und -2 sind die Kondensatoren für folgende Spannungsbelastbarkeit ausgelegt:

| Nennspannung | 440 V | 480 V | 525 V | 690 V |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| 8 h täglich | 484 V | 528 V | 578 V | 759 V |
| 30 min täglich | 506 V | 552 V | 604 V | 793 V |
| 5 min | 528 V | 576 V | 630 V | 828 V |
| 1 min | 572 V | 624 V | 683 V | 897 V |

Einbau der Leistungskondensatoren

Die Kondensatoren sind mit Gas gefüllt und können deshalb in beliebiger Lage eingesetzt werden. Die Kondensatoren sind PCB-frei. Jeder Kondensator besitzt Entladewiderstände, die in gekapselter Form an den Anschlussklemmen befestigt sind.

11 Formeln rund um den Kondensator

$$\cos \varphi = P / S$$

S = Scheinleistung

$$Q = S \times \sin \varphi$$

P = Wirkleistung

$$\tan \varphi = Q / P$$

Q = Blindleistung

Zählerabstoppung:

(Ermittlung der momentanen Wirkleistung)

Anzahl der Umdrehungen n^* während 1 min zählen und in nachstehende Formel einsetzen.

Momentane Wirkleistung = $n^* \times 60 / c = \text{kW}$

c = Zählerkonstante U/kWh

Umrechnung PS in kW: $PS \times 0,736 = \text{kW}$

Querschnitte für Leitungen:

bis 50 kvar:

$\text{kvar} \times 0,7 = \text{mm}^2$

ab 75 kvar:

$\text{kvar} \times 1 \dots 1,2 = \text{mm}^2$

Auslegung der Vorsicherung:

Kondensatorenleistung (in kvar) $\times 2 =$ Sicherung (in A)

Stromaufnahme der Kondensatoren:

$\text{kvar} \times 1,4 =$ Strom je Phase (A)

(auch für Kondensatorenprüfung)

Spannungserhöhung bei Überkompensation:

ΔU = Spannungserhöhung in %

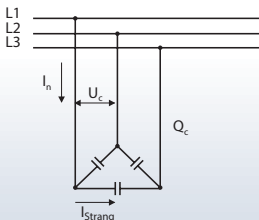
u_k = relative Kurzschlussspannung des Transformators in %

S_N = Transformator-Nennleistung

Q = Kondensatorleistung

$\Delta U = u_k \times Q / S_N$

Kondensator im Dreieck verschaltet



U_n = Spannung Phase-Phase
 f_n = Netzfrequenz

Nennstrom

$$I_n = \frac{Q_c}{U_c \times \sqrt{3}} = \frac{50000 \text{ var}}{400 \text{ V} \times \sqrt{3}} = 72 \text{ A}$$

Kondensatorspannung

$$U_c = U_n$$

Kondensatorstrangstrom

$$I_{\text{ph}} = \frac{I_n}{\sqrt{3}} = \frac{72 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 41,6 \text{ A}$$

Kapazitiver Blindwiderstand

$$X_c = \frac{U_n^2}{Q_c} = \frac{(400 \text{ V})^2}{50000 \text{ var}} = 3,2 \Omega$$

Gesamtkapazität

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f_n \times X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 3,2 \Omega} = 994,5 \mu\text{F}$$

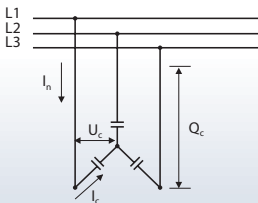
Kapazität Phase-Phase

$$C_{\text{ph}} = \frac{C}{2} = \frac{994,5 \mu\text{F}}{2} = 497,2 \mu\text{F}$$

Blindleistung

$$Q_c = U_c^2 \times 2 \times \pi \times f_n \times C = (400 \text{ V})^2 \times 2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 994,5 \mu\text{F} = 50000 \text{ var}$$

Kondensator im Stern verschaltet:



U_n = Spannung Phase-Phase
 f_n = Netzfrequenz

Kondensatorspannung

$$U_c = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V}$$

Kondensatorstrom

$$I_c = I_n$$

Gesamtleistung

$$Q_c = U_c^2 \times 2 \times \pi \times f_n \times C = (230 \text{ V})^2 \times 2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 994,5 \text{ } \mu\text{F} = 16,5 \text{ kvar}$$

Gesamt
Nennstrom

$$I_n = \frac{Q_c}{U_n \times \sqrt{3}} = \frac{16500 \text{ var}}{400 \text{ V} \times \sqrt{3}} = 24 \text{ A}$$

Kapazitiver
Blindwiderstand

$$X_c = \frac{U_n^2}{Q_c} = \frac{(400 \text{ V})^2}{16500 \text{ var}} = 9,6 \text{ } \Omega$$

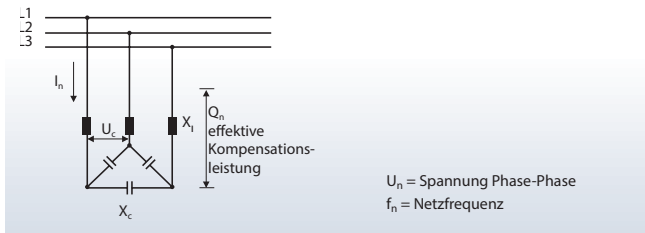
Kapazität

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f_n \times X_c} = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 9,6 \text{ } \Omega} = 331,5 \text{ } \mu\text{F}$$

Achtung:

Kondensatorleistung Stern = 1/3 Kondensatorleistung Dreieck

Kondensator verdrosselt im Dreieck verschaltet:



Spannungserhöhung
am Kondensator

$$U_c = \frac{U_n}{1-p} = \frac{400 \text{ V}}{1-0,07} = 430 \text{ V}$$

Kompensationsleistung

$$Q_c = U_c^2 \times 2 \times \pi \times f_n \times C = (430 \text{ V})^2 \times 2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 924 \text{ } \mu\text{F} = 53,6 \text{ kvar}$$

Nennstrom

$$I_n = \frac{Q_c}{U_c \times \sqrt{3}} = \frac{53600 \text{ var}}{430 \text{ V} \times \sqrt{3}} = 72 \text{ A}$$

Kapazitiver
Blindwiderstand

$$X_c = \frac{U_c^2}{Q_c} = \frac{(430 \text{ V})^2}{53600 \text{ var}} = 3,44 \text{ } \Omega$$

Verdrosselungsfaktor

$$p = \left(\frac{10 \times f_n}{f_{\text{res}}} \right)^2 = \left(\frac{10 \times 50 \text{ Hz}}{189 \text{ Hz}} \right)^2 = 7 \cong 7\%$$

Reihenresonanzfrequenz

$$f_{\text{res}} = \left(\frac{10 \times f_n}{\sqrt{p}} \right) = \left(\frac{10 \times 50 \text{ Hz}}{\sqrt{7}} \right) = 189 \text{ Hz}$$

Gesamt Induktivität

$$L_{\text{tot}} = \frac{1}{(2 \times \pi \times f_{\text{res}})^2 \times C} = \frac{1}{(2 \times \pi \times 189 \text{ Hz})^2 \times 924 \text{ } \mu\text{F}} = 0,76 \text{ mH}$$

Induktiver
Blindwiderstand

$$X_L = 2 \times \pi \times f_n \times L_{\text{tot}} = 2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 0,76 \text{ mH} = 0,238 \text{ } \Omega$$

12 Auswahl der Stromwandler

Für die Auslegung des Wandlerübersetzungsverhältnisses ist immer der Anlagengesamtstrom maßgebend. Liegt dieser Wert noch nicht vor, ist jedoch die zu erwartende Anlagengesamtleistung bekannt, so kann der Wandler nach folgender Faustregel ausgelegt werden:

Gesamtleistung (kW) x 2 = Wandlergröße

Beispiel: Anlage 180 kW x 2 = 360 gewählter Wandler: **400/5 A**.

Die Genauigkeit des Wandlers ist mit Klasse 1 in jedem Falle ausreichend. In der Regel genügen Wandler der Klasse 3. Bei kurzen Entfernungen vom Wandler zum Regler (z. B. innerhalb einer Schaltanlage) genügt eine Wandlerleistung von 5 VA bei einem Leitungsquerschnitt von 1,5 mm².

| Wandlerleitung in mm ² | Eigenverbrauch je m Doppelleitung in VA |
|-----------------------------------|---|
| 2.5 | 0.36 |
| 4.0 | 0.22 |
| 6.0 | 0.15 |
| 10.0 | 0.09 |

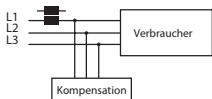
Eigenverbrauch von Wandlerleitungen aus Kupfer bei 5A Sekundärstrom

Bei größeren Entfernungen zwischen Wandler und Reglern oder beim Einsatz von Summenwandlern sind die Leitungsquerschnitte und die Wandlerleistung entsprechend zu erhöhen oder statt 5A Sekundärstrom, Wandler mit 1A-Sekundärstrom einzusetzen. Der Strompfad muss dann beim Regler auf den 1A-Eingang verdrahtet werden. Bei vorhandenen Anlagen mit eingebautem EVU-Messsatz kann auch für den Wandler der Kompensationsanlage das gleiche Übersetzungsverhältnis wie die Zählerwandler eingesetzt werden.

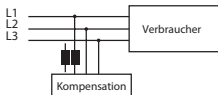
Bei Einspeisung mit zwei oder mehr Transformatoren können die Einzelstromwandler über Summenstromwandler zusammengefasst werden. Dabei ist zu beachten, dass die Primärströme addiert und beim Blindleistungsregler programmiert werden. Die Primärstromwandler sollten die gleichen Übersetzungsverhältnisse aufweisen.

13 Einbau des Stromwandlers

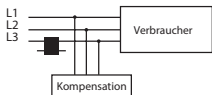
Richtig! Wandler in L1 erfasst Strom in der Zuleitung



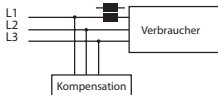
Falsch! Wandler erfasst nur Eigenstrom Regler schaltet nicht zu



Falsch! Wandler liegt an der falschen Phase



Falsch! Wandler erfasst nur Verbraucherstrom Regler schaltet alles zu



15 Empfehlungen zur Auswahl von Leitungen und Sicherungen

Die Empfehlung der Zuleitungen (NYY; vieradrig; Cu) erfolgte nach DIN VDE 0298-4 (Tabelle 3, Verlegeart C, ohne Häufung). Umgebungstemperatur +35°C.

Die Empfehlung der Sicherungsstromstärken erfolgte für den Kurzschlusschutz.

Bei abweichenden Verhältnissen (auch Oberschwingungen) sind entsprechende Minderungsfaktoren zu berücksichtigen. Für die Bemessung und Auswahl der Leitungen und Sicherungen ist der Anlagenerichter verantwortlich.

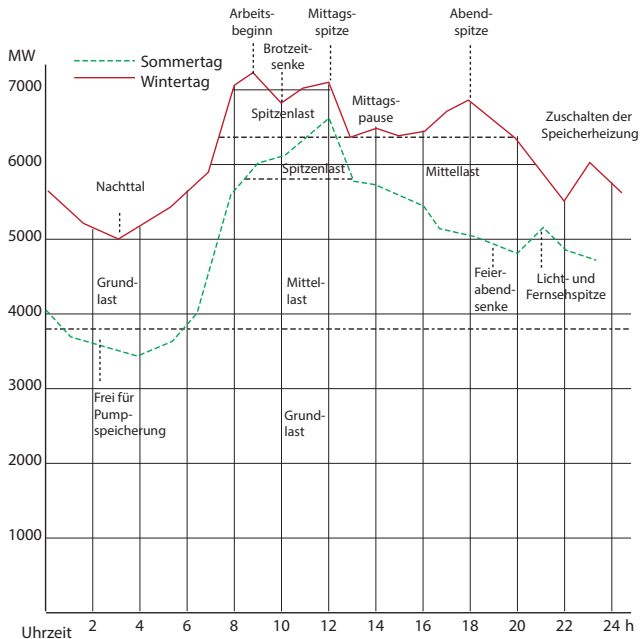
| Kondensatorenleistung (400 V / 50Hz) kvar | Stromaufnahme I (A) je Phase | Zuleitung | Absicherung NH System gL / gG je Phase |
|--|------------------------------------|--------------------|--|
| | | Cu mm ² | |
| 1 | 1.44 | 4x 1.5 | 10 |
| 1.5 | 2.16 | 4x 1.5 | 10 |
| 2 | 2.88 | 4x 1.5 | 10 |
| 2.5 | 3.60 | 4x 1.5 | 10 |
| 3 | 4.32 | 4x 1.5 | 10 |
| 4 | 5.76 | 4x 1.5 | 10 |
| 5 | 7.20 | 4x 2.5 | 16 |
| 6 | 8.64 | 4x 2.5 | 16 |
| 7.5 | 10.80 | 4x 2.5 | 20 |
| 10 | 14.40 | 4x 4 | 25 |
| 12.5 | 18.00 | 4x 6 | 35 |
| 15 | 21.60 | 4x 6 | 35 |
| 17.5 | 25.20 | 4x 10 | 35 |
| 20 | 28.80 | 4x 10 | 50 |
| 25 | 36.00 | 4x 16 | 63 |
| 30 | 43.20 | 4x 25 | 80 |
| 35 | 50.40 | 4x 25 | 80 |
| 40 | 57.60 | 3x 35/ 16 | 100 |
| 50 | 72.00 | 3x 35/ 16 | 125 |
| 60 | 86.40 | 3x 50/ 25 | 125 |
| 70 | 100.80 | 3x 70/ 35 | 160 |
| 75 | 108.00 | 3x 70/ 35 | 160 |
| 80 | 115.20 | 3x 95/ 50 | 200 |
| 90 | 129.60 | 3x 95/ 50 | 200 |
| 100 | 144.00 | 3x 120/ 70 | 250 |
| 120 | 172.80 | 3x 120/ 70 | 250 |
| 125 | 180.00 | 3x 150/ 70 | 315 |
| 150 | 216.00 | 3x 185/ 95 | 315 |
| 175 | 252.00 | 3x 240/120 | 400 |
| 200 | 288.00 | 3x 240/120 | 400 |
| 250 | 360.00 | 2 x 3x 150/ 70 | 500 |
| 300 | 432.00 | 2 x 3x 185/ 95 | 630 |
| 350 | 504.00 | 2 x 3x 240/120 | 2 x 400 |
| 400 | 576.00 | 2 x 3x 240/120 | 2 x 400 |
| 450 | 648.00 | 4 x 3x 120/ 70 | 2 x 500 |
| 500 | 720.00 | 4 x 3x 150/ 70 | 2 x 500 |

16 Warum Energieoptimierung?

Nach den Sondertarifen der Energieversorger (EVU) ist außer dem Preis für elektrische Arbeit in Kilowattstunden (kWh), auch noch der Preis für die mittlere Leistung in kW aufgeführt.

Jeder Energieversorger ist daran interessiert, möglichst viel Arbeit (kWh) gleichmäßig über die Zeit verteilt, zu liefern. Dieses ist jedoch in der Praxis nicht möglich, wie nachstehendes Diagramm zeigt:

Typische Lastkurve an einem Werktag im Vergleich Sommer und Winter



Der Energieversorger muss also für die höchstmögliche kW-Spitze (Leistungswert) alle Erzeugungsanlagen und Übertragungswege zur Verfügung stellen.

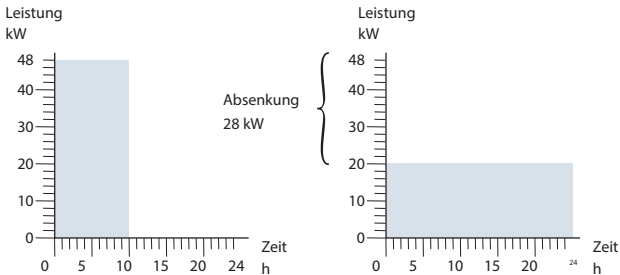
Da die Bereitstellung der Energie mit enormen Kosten verbunden ist, wird die vom Verbraucher selbst erzeugte kW-Spitze vom Energieversorger berechnet.

Aus diesem Grunde sollte der Kunde auch daran interessiert sein, die benötigte Arbeit möglichst gleichmäßig über den Tag verteilt zu beziehen.

Beispiel: Betriebsleistung: 48 kW (Spitze)
Einschaltdauer: 10 Std.
ergibt einen Verbrauch von **480 kWh**

Die erforderliche Arbeit von 480 kWh kann jedoch auch in 24 Std. verrichtet werden. Es ergibt sich dann nur noch eine kW-Spitze von $480 : 24 = 20$ kW.

Es wurde in diesem theoretischen Beispiel die kW-Spitze auf 20 kW abgesenkt.

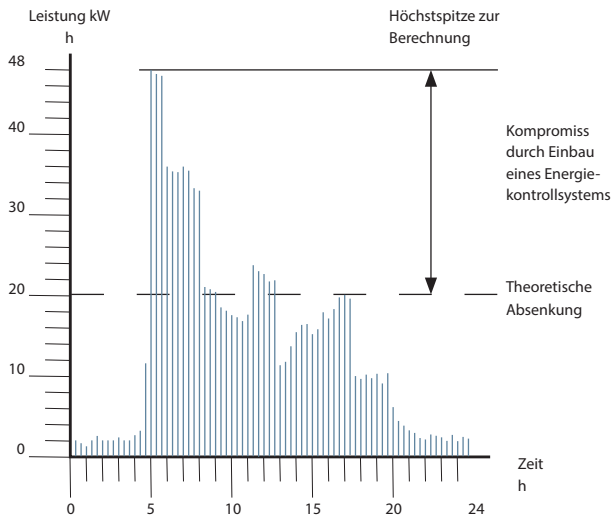


Wenn vom Energieversorger je kW ein Preis von 14,00 Euro berechnet wird, ergibt sich in diesem Beispiel eine monatliche Einsparung von $28 \times 14 = 392,00$ Euro.

Im Jahr also $392,00 \text{ Euro} \times 12 \text{ Monate} = 4.704,-$ Euro.

An dem vorstehenden Beispiel wurde die theoretische Möglichkeit einer Kostensenkung beim Leistungsbezug erläutert. In der Praxis ergeben sich sicherlich erhöht Werte, mit denen man auch sehr gute Einsparungen erzielen kann.

Beispiel: Mittlerer Leistungsverlauf in einer Bäckerei



17 Lohnt der Einsatz eines Energiekontrollsystems?

17.1 EVU-Rechnung prüfen

aufgeführte Werte 200 kW-Spitze
 25000 kWh

Arbeitszeit: 170 Std./Monat

Rechnung: Monats-kWh / Arbeitszeit = 25000 / 170 = 147 kW

Folgerung: Bei gleichmäßiger Aufteilung der Arbeit von 25000 kWh auf 170 Std. ergibt sich eine Leistung von 147 kW. In der EVU-Rechnung werden jedoch 200 kW berechnet.

Durch betriebswirtschaftliche Überlegungen kann jetzt festgestellt werden, welche Verbraucher die hohe Leistungsspitze von 200 kW verursachen.

17.2 Einsatz eines KBR-multilog Messgerätes

Das KBR Gerät multilog 2 erfasst über Stromwandler und Spannungsanschlüsse den Leistungsbezug eines Unternehmens und speichert diese Daten zur späteren Auswertung auf einem Computer ab.

Mit dem PC erfolgt eine komfortable Auswertung des Leistungsverlaufes. Für Dokumentationszwecke lassen sich die Leistungsverläufe ausdrucken.

18 Welche Verbraucher können abgeschaltet werden?

- Kühlanlagen
- Kompressoren, die auf Vorratsbehälter arbeiten
- Glüh- und Härteöfen
- Absauge- oder Belüftungsventilatoren
- Heizungen Beleuchtungen – teilweise
- Küchengeräte
- sonstige Maschinen, die nicht Arbeitsmaschinen sind.

Unter Abschaltung durch das Energiekontrollsystem ist zu verstehen, dass die Verbraucher nur kurzzeitig während der Messperiode ausgeschaltet werden.

19 Wie funktioniert ein Energiekontrollsystem?

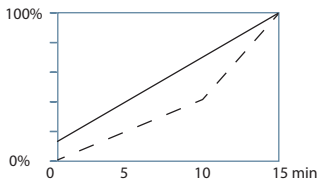
Bei der einfachsten Ausführung erfolgt durch eine Multiplikation von Strom x Spannung x $\cos \varphi$ die Ermittlung der momentanen Leistung in kW

$$\text{kW-Spitze} = U \times I \times \cos \varphi$$

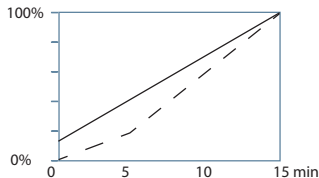
Über einen Sollwertsteller wird die gewünschte Leistungsspitze vorgegeben, die nicht überschritten werden soll. Bei Überschreitung wird dann ein Ausgangskontakt geschaltet. Dieser Kontakt kann dann zur Abschaltung von Verbrauchern herangezogen werden. Bei Unterschreitung des vorgegebenen Sollwertes gibt der Kontakt den abgeschalteten Verbraucher wieder frei. Diese einfachsten Geräte sind nur bei kleinen Leistungen bis ca. 30 kW einsetzbar.

Bei größeren Leistungen müssen die Energiekontrollsysteme parallel zum Zähler arbeiten und viele Rechnungsfunktionen übernehmen. Außer der ermittelten Momentanleistung wird jetzt noch die Messperiode des Zählers berücksichtigt. In einer Trendrechnung wird jetzt laufend die Leistung ermittelt, die abgeschaltet werden muss, um nach Ablauf der Messperiode keine Überschreitungen zu bekommen.

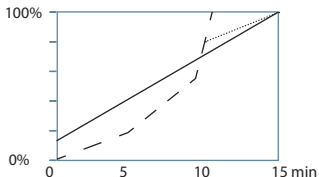
Beispiele für Leistungs-Zeitabläufe:



Hier bleibt das Maximum ungenützt, es erfolgt keine Warnung



Hier besteht keine Überschreitungsgefahr, es erfolgt keine Warnung



Hier wird das Maximum überschritten, es wird rechtzeitig gewarnt bzw. abgeschaltet. Das Maximum wird durch eine Absenkung der Belastung eingehalten

— SOLL Arbeit
- - - - - IST Arbeit
..... korrigierte Arbeit

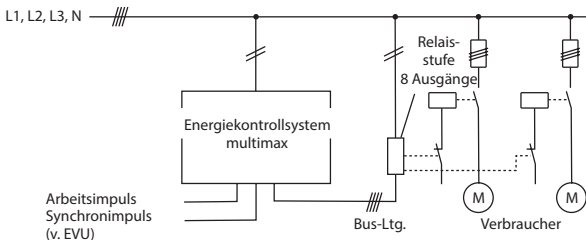
20 Welches Energieoptimierungssystem kommt zum Einsatz?

Alle KBR-Energiekontroll- und Energiemanagementsysteme sind mikroprozessorgesteuerte Anlagen mit Trendrechnung (Optimierungsrechner). Die Geräte sind an alle EVU-Bedingungen anpassungsfähig.

Die eingebaute Synchronisationseinrichtung kann fehlende EVU-Synchronimpulse ersetzen. Um Einsparungen bei der Leitungsverlegung zu erreichen, kann die Relaisstufe da montiert werden, wo die Abschaltungen erfolgen sollen. Programm- und Datensicherung über eingebaute Batterien.

Für die Auswahl des richtigen Gerätes stehen wir Ihnen gerne bei einer Beratung vor Ort oder telefonisch zur Verfügung.

Prinzipschaltbild



21 Unterstation für thermische Verbraucher

Die Unterstation wird vorzugsweise überall da eingesetzt, wo elektrische Energie gespeichert werden kann, z. B. Elektroheizungen, Küchengeräte, Kühlanlagen usw.

Durch die Kombination – Energiemanagementsystem und Unterstation – bleiben die Vorzüge des Energiemanagementsystems mit den vielen Einstellmöglichkeiten und der Trendrechnung erhalten. Zusätzlich wird eine verfeinerte Lastverteilung erreicht.

Unser Programm:

Blindleistungskompensation

- Leistungskondensatoren
- Filterkreisdrosseln
- Blindleistungsregler
- Festkondensatoren
- Module und Baugruppen für Schaltschrankinbau
- Sondermodule
- Kompensationsregelanlagen
- Sonderanlagen
- Thyristorgeschaltete Kompensationsanlagen
- Tonfrequenzsperrn Entladedrosseln

Netzqualität

- Aktive Oberschwingungsfilter
- Lastsymmetrierung
- Dynamische Blindleistungskompensation
- Passive Oberschwingungsfilter
- Saugkreisanlagen
- Netzanalysen
- Netzanalysatoren

Energiemanagementsysteme

- Verbrauchserfassung
- Energieoptimierungen

Energiemesstechnik

- Universalnetzmessgeräte
- Transportable Netzanalysensysteme

Visualisierungssoftware



visualenergy

Webbasiertes
Energy Management

Unsere besonderen Leistungen:

- Kurze Lieferzeiten
- Günstige Preise
- Sonderausführungen nach Ihren Wünschen
- Beratung und Auslegung von Kompensationseinrichtungen und Energiemanagementsystemen vor Ort





KBR Kompensationsanlagenbau GmbH

Am Kieferschlag 7
D-91126 Schwabach

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

www.kbr.de