

# Blindleistungskompensation bei Leuchtstofflampen

S. Fassbinder, Düsseldorf

**Induktive Vorschaltgeräte für Leuchtstofflampen verursachen eine große Blindleistung, die meist wesentlich höher als die Wirkleistung ist. Das kommt in Industrie und Gewerbe einer Verpflichtung zur Kompensation gleich. Diese ist althergebrachte Technik und weder kompliziert noch teuer. Es bieten sich zwei Schaltungsmöglichkeiten an, die hier beurteilt werden.**

schwingungen und andere höhere Frequenzen der Netzspannung überlagern.

### 3.1 Beispiel Oberschwingungen

Im Bild 3 wurde die Eingangsleistung einer kleinen Leuchtstofflampe mit induktivem Vorschaltgerät in einem Bürogebäude aufgenommen, links zunächst ohne Kompensation. Die Netzspannung scheint „sauber“ zu sein, also nahezu sinusförmig bzw. nicht sichtbar von höheren Frequenzen überlagert. Obwohl die Spannung zwischen den Elektroden der Lampe (Bild 4) sehr stark verzerrt ist, findet sich diese Verzerrung im Lampenstrom kaum wieder. Die große Induktivität des Vorschaltgeräts verhindert dies. Nur die große Phasenverschiebung bleibt.

Das erfordert unbedingt Kompensation, doch ein Parallel-Kondensator überlagert dem Gesamtstrom jetzt ein hohes Ausmaß an Verzerrung, also höherfrequenten Anteilen (Bild 3 Mitte). Obwohl die Kapazität richtig bemessen ist, gelingt es nicht einmal annähernd, die Blindleistung auf Null zu bringen.

Ohne dass an der Schaltung irgendetwas geändert wird, sondern nur dadurch, dass ein über einen Stromrichter gesteuerter Aufzug in dem Gebäude anfährt, nimmt die Verzerrung und somit der angezeigte Blindstrom abermals erheblich zu (Bild 3 rechts: der Strommessbereich wurde von 100 mA auf 200 mA hochgestuft).

Wegen der Komplexität der Materie [1] kann dieses jedoch hier nicht weiter vertieft werden. Es zeigt aber, dass der zusätzlich aufgenommene Strom in der Tat aus höherfrequenten Anteilen bestehen und ausschließlich durch den Kondensator fließen muss. Wenn der Kondensator entsprechend dimensioniert ist, ist dies vorteilhaft für das Netz, da es hierdurch um die so genannte Verzerrungs-Blindleistung entlastet wird. In der Praxis wird dies

## 1 Blindleistung bei Leuchtstofflampen

Die Charakteristik einer Leuchtstofflampe als Gas-Entladungsstrecke bringt es mit sich, dass der Spannungsfall an ihr mit steigendem Strom fällt (Bild 1). Irgendeine Art von Bauteil muss also mit einer Leuchtstofflampe in Reihe geschaltet werden, wenn die Lampe in Betrieb gehen soll. Die billigste Methode, ein ohmscher Widerstand, käme einer Energieverschwendungsanlage gleich und würde den Gesamt-Wirkungsgrad beinahe auf das Maß einer Glühlampe herab ziehen. Diese Option findet daher außer in Einzelfällen bei kleineren Lampenleistungen (ortsveränderliche Arbeitsleuchten mit Widerstands-Anschlussleitung) keine Verwendung. Die zweitbilligste Lösung und noch dazu langlebig und robust ist ein induktiver Widerstand – eine Drossel. Eben hieraus besteht ein konventionelles (KVG) oder ein verbessertes Vorschaltgerät (VVG) mit reduzierten Verlusten. Was hier stört, ist lediglich die reichlich auftretende Blindleistung. Der Leistungsfaktor (für den normalen Betrieb zusammen mit der vorgesehenen Lampe) wird stets auf dem Vorschaltgerät angegeben (Bild 2). So weist eine Leuchte mit einer 58-W-Lampe und KVG oder VVG eine gesamte Wirkleistungs-Aufnahme von 64 bis 70 W auf. Mit dem angegebenen Nennstrom von 0,67 A ergibt sich eine Scheinleistung von 160 VA mit einem Blind-Anteil von rund 144 var.

## 2 Gründe für Kompensation

Gewöhnlich werden als Grund für das Kompensieren die Kosten genannt, meist aber nur die Preise gemeint. Da ist einmal der Leistungspreis für die Bereitstellung der höheren Scheinleistung und zum Anderen der Arbeitspreis für die Blindarbeit, die der Blindarbeitszähler am Einspeisepunkt anzeigt. Die Kosten, die der Blindstrom beim Fließen durch die

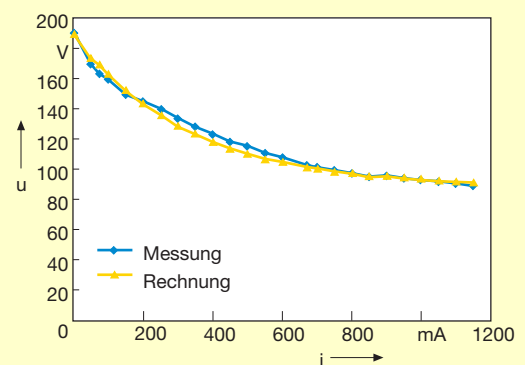
Anlage bis hierhin schon verursacht hat und die letztendlich vom Betreiber bezahlt werden müssen, bleiben in der Regel unberücksichtigt. Nicht so jedoch bei der Beleuchtung. Ausnahmsweise ist es bei Leuchtstofflampen-Beleuchtungen gängige Praxis, die Blindleistung am wirkungsvollsten direkt am Ort der Entstehung – im Inneren der Leuchte – zu kompensieren. Dies kann durch die übliche Parallelschaltung einer Kapazität zu der nahezu ohmsch-induktiven Gesamtlast aus Lampe und Vorschaltgerät geschehen.

## 3 Nachteile und Risiken

Der kapazitive Blind-Widerstand fällt umgekehrt proportional mit steigender Frequenz. Die Nachteile oder Risiken, wie bei Kompensations-Anlagen allgemein, sind:

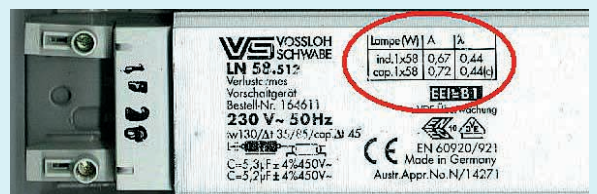
**Rundsteuer-Signale** zum Steuern von Straßenbeleuchtung, Nachtspeicherheizungen und dergleichen mit Frequenzen von etwa 133 bis 1350 Hz können verloren gehen.

**Kondensatoren** können **überlastet** werden, seit sich in neuerer Zeit jede Menge Ober-



### 1 Verhalten einer 58-W-Leuchtstoffröhre bei Gleichstrom

Messung und rechnerische Annäherung mit hieraus empirisch gewonnener Formel

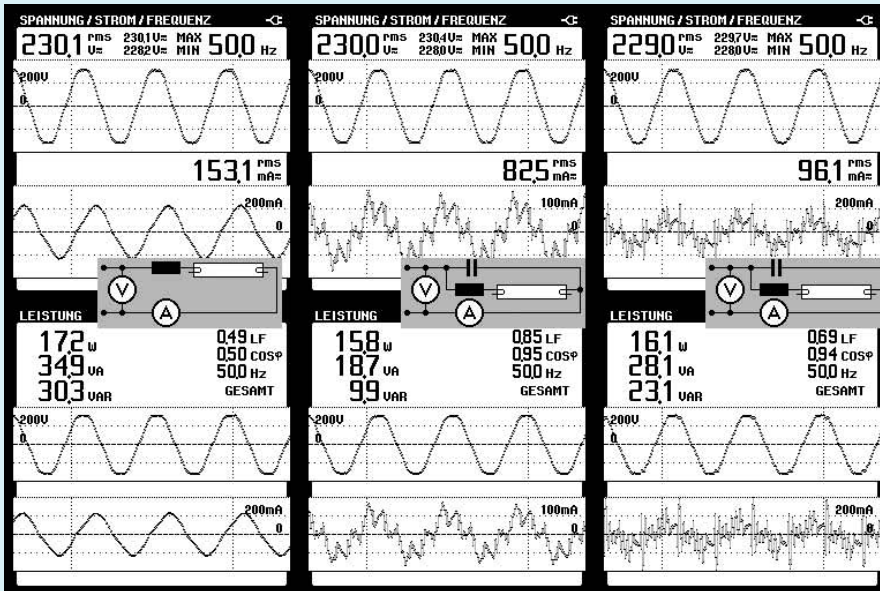


### 2 Auf dem Vorschaltgerät wird stets der Leistungsfaktor angegeben

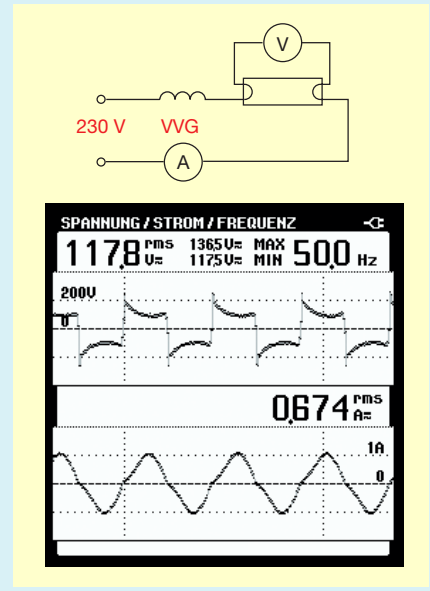
#### Autor

Dipl.-Ing. Stefan Fassbinder ist Berater für elektrotechnische Anwendungen beim Deutschen Kupferinstitut, Düsseldorf.





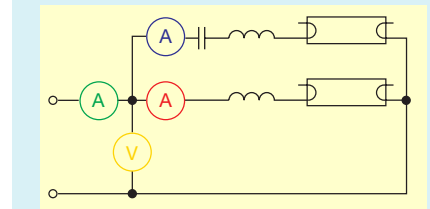
3 Leuchtstofflampe 11 W mit KVG, ohne (links) und mit Parallel-Kompensation (Mitte und rechts)



4 Spannung an einer 58-W-Leuchtstofflampe und Strom in der Lampe

jedoch meist vergessen und der Kondensator für Netzspannung und Netzfrequenz bemessen, zumal das Ausmaß dieses erheblichen zusätzlichen Laststroms im Vorhinein nicht bekannt ist. Auch im vorliegenden Beispiel (Bild 3) wird die kleine Ursache für den großen Strom, die Beimischung höherer Frequenzen zur Netzspannung, nur im Oszillogramm des Stroms sichtbar.

Die Duo-Schaltung zwingt zugleich dazu, dies auf die wirkungsvolle dezentrale Art zu tun – und verhindert darüber hinaus die sonst bei der Kompensation möglichen Nachteile und Risiken. Um alle Vorteile im optimalen Ausmaß nutzen zu können, finden sich die Lampen fast immer paarweise auf die einzelnen Leuchten verteilt.



5 Duo-Schaltung: Kombination aus einer reihenkompenzierten und einer unkompenzierten Lampe

#### 4 Reihen-Kompensation: Duo-Schaltung

Nun begegnet man diesem Problem in Kompensations-Anlagen normalerweise durch Verdrosselung, also indem man die Kapazität mit einer Induktivität in Reihe schaltet, die bei Netzfrequenz nur einige Prozent der Nenn-Blindleistung wegnimmt (kompensiert) [2]. Warum aber sollte man sich bei Leuchtstofflampen mit einer weiteren Drossel abgeben, wo doch schon eine vorhanden ist? Da Strom und Phasenwinkel bei dieser Last praktisch konstant sind, tut sich hier eine andere Möglichkeit auf, nämlich das Vorschaltgerät zugleich als Verdrosselung für den Kompensations-Kondensator zu verwenden (Bild 5). Das bedeutet, jede zweite Einheit aus Lampe und Vorschaltgerät mittels eines Reihen-kondensators – theoretisch – derart (über-) zu kompensieren, dass der Strom dem Betrag nach gleich dem einer unkompenzierten Lampe ist. Der Phasenwinkel nimmt dann ebenfalls den gleichen Wert an, jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen. Die Messung in Bild 6 zeigt, was für große Phasenwinkel die beiden Einzelströme haben, wie sie sich in der Summe aber zu einem Strom ergänzen, dessen Nulldurchgang beinahe wieder mit dem Nulldurchgang der Netzspannung zusammenfällt. Dies ist Sinn und Wirkungsweise einer jeden Kompensation.

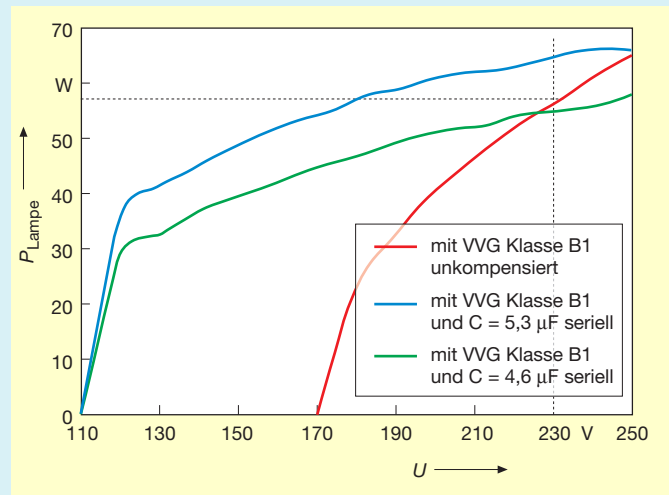
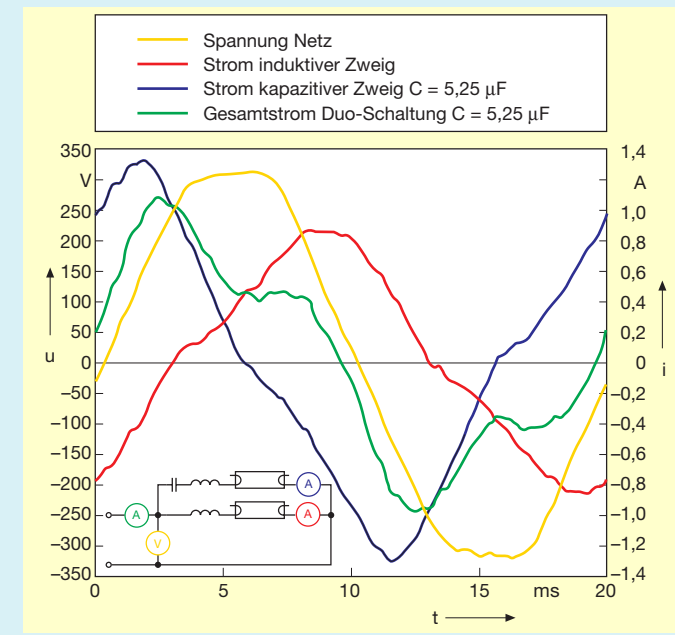
#### 4.1 Neben-Effekte der Duo-Schaltung

Als Neben-Effekt sind die kompensierten Zweige viel weniger empfindlich gegen Spannungseinbrüche (Bild 7) und vollkommen geschützt gegen selbst kleinste Gleichspannungs-Überlagerungen der Netzspannung, die anderenfalls unverhältnismäßig großen Einfluss auf induktive Bauteile haben können [1]. Als weiterer Vorteil wird der Verschleiß an Schalter- und Schützkontakten stark gemindert. Beim Einschalten bleibt die typische Stromspitze des Kondensators aus. Auch der Stroboskop-Effekt, der anderenfalls beim Arbeiten an schnell laufenden Maschinen gefährlich werden kann, wird durch die Phasen-Verschiebung zwischen dem Zweig mit und dem ohne Kondensator minimiert. In einer Studie wurde festgestellt, dass nicht nur an rotierenden Maschinen, sondern auch an Bildschirm-Arbeitsplätzen die Fehlerrate mit flackerfreien elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) niedriger ausfiel. Dabei wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass „unkompensierte und parallel kompenzierte KVG“ für diesen Vergleich mit EVG eingesetzt wurden. Leider fehlt eine Begründung für die Wahl dieses Versuchsaufbaus statt der (damals auf jeden Fall noch) üblichen Serien-Kompensation [3].

#### 4.2 Problem Kompensations-Kapazität

Der einzige Nachteil, den diese Art von Kompensation in sich hat, ist das Risiko, die Kompensations-Kapazität falsch auszulegen oder

auszuwählen. Dies würde bei Parallel-Kompensation lediglich etwas Über- oder Unterkompensation bedeuten, was dabei nicht von Bedeutung sein mag, doch bei der Duo-Schaltung ist es mehr als das! Es würde falschen Lampenstrom, mögliche Überlastung von Kondensator, Vorschaltgerät und Lampe, entsprechende Früh-Ausfälle, zumindest aber unnötig erhöhte Verluste bedeuten. Daher sind die Nenn-Toleranzen dieser Kondensatoren mit vormals 4 %, jetzt dank verbesserter Herstellungs-Verfahren nur noch 2 %, sehr eng bemessen. In der Massenproduktion von Leuchten ist hier eine fehlerhafte Bestückung gerade so unwahrscheinlich wie jeder andere Fehler auch, doch Vorsicht ist bei Reparatur mittels Ersatzteilen geboten. Eigentlich sollte dies kein Problem darstellen, da doch die jeweils richtige Kapazität für Längs- und Parallel-Kompensation stets auf dem Vorschaltgerät angegeben ist (Bild 2). In der Praxis kommen Fehler aber dennoch vor, wie Installationsfirmen berichten, da die Längs-Kompensation nicht als solche erkannt wird oder ihre Besonderheiten nicht bekannt sind. Das Wartungspersonal vor Ort entscheidet dann einfach, wenn zum Austausch eines defekten Kondensators der gleiche Typ nicht vorrätig ist, ein ähnlicher täte es ebenso gut oder sei zumindest weit besser als keiner. Dies hingegen ist höchstens bei Parallel-Kompensation richtig.



7 Empfindlichkeit gegen Spannungs-Einbrüche ist im kapazitiven Zweig wesentlich geringer (Messung)

6 Spannungs- und Strom-Verläufe in einer Duo-Schaltung

## 5 Diskussion um die Duo-Schaltung

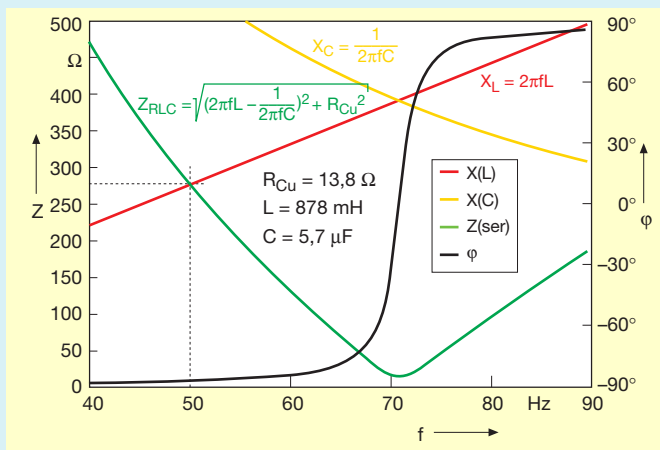
### 5.1 4,6-µF-Kondensator

Ein weiterer Nachteil – jedoch nicht des Prinzips, sondern der derzeitigen Praxis – ist, dass die beiden Ströme der Zweige nicht wirklich gleich sind. Beim Nennstrom einer 58-W-Lampe und 230 V Netzspannung liegt die Induktivität des erforderlichen Vorschaltgeräts bei 878 mH. Dies macht eine Kapazität von 5,7 µF erforderlich, um bei einer Resonanzfrequenz von 70,7 Hz zu landen, was theoretisch bei 50 Hz die Impedanz des Vorschaltgeräts allein oder mit Längs-Kondensator jeweils gleich groß werden ließe (Bild 8). Aus irgendwelchen Gründen jedoch, möglicherweise die extreme Verzerrung der Spannung zwischen den Elektroden der Lampe (Bild 4), werden

sie ungleich. Standardmäßig verwendet man nur 5,3 µF oder 5,2 µF (Bild 2), doch dies gleicht den Unterschied bei Weitem noch nicht aus. Wie eine Messung (in Bild 7 mit aufgenommen) zeigt, wäre 4,6 µF der richtige Wert. Dieser könne nicht eingesetzt werden, wird argumentiert, um Zündprobleme der Lampen zu vermeiden, vor allem bei Unterspannung und extrem niedrigen Temperaturen. Mit dem Prinzip an sich hat dies nichts zu tun, wenn die Lampe erst einmal leuchtet, und die Zündprobleme ließen sich ebenso gut durch den Einsatz elektronischer Starter bewältigen, die ohnehin die bessere Wahl darstellen. Die entsprechenden Angaben der Lampen-Hersteller – denn um die handelt es sich – bedürfen offenbar einer Überarbeitung (die Werte sind in keiner Norm festgeschrieben).

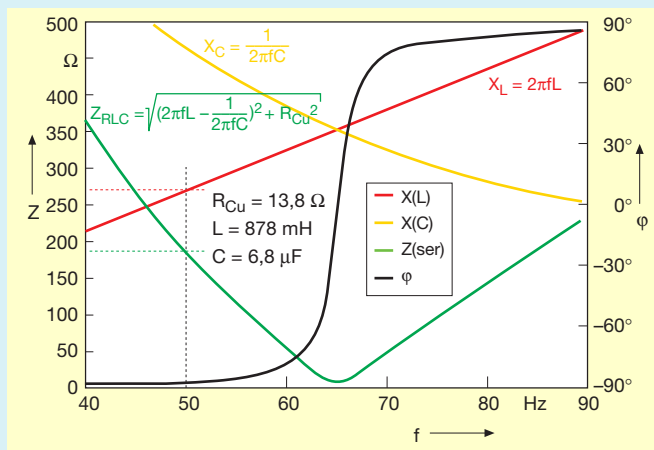
### 5.2 Bestreben der Leuchtenindustrie: EVG

Seitens der Beleuchtungs-Industrie hofft man jedoch langfristig auf einen vollständigen Ersatz aller induktiver Vorschaltgeräte durch EVG, die zwar teuer sind, aber keine Kompensation benötigen. Daher steckt man dort nicht allzu viel Ehrgeiz in die Anpassung irgendwelcher alter Vorgaben an neue VVG-Techniken. Während dessen befinden sich, anders als es vielleicht in der Fachwelt den Eindruck macht, noch immer 80 % des Marktes in der Hand induktiver Vorschaltgeräte, jedenfalls an verkauften Stückzahlen gemessen. Am Umsatz gemessen sind es jedoch nur etwa 50 % – wegen der bei EVG wesentlich höheren Wertschöpfung. Oder sollte man in diesem Fall eher von Preisschöpfung sprechen?



**8 Richtige Auslegung der seriellen Kompensations-Kapazität (Rechnung)**

Bei 50 Hz haben die beiden Zweige, nur mit Drossel und mit Drossel und Kondensator, gleich große Impedanzen.



**9 Bei 20 % zu hoch bemessener Kapazität liegt der Strom schon 45 % über dem Sollwert!**

**5.3 Verbot der Duo-Schaltung möglich**

Leider ist zu allem Überfluss in letzter Zeit die Duo-Schaltung etwas in Verruf geraten [4]. Bei vorverdrahteten neuen Leuchten soll sie sogar verboten werden. Dies ist besonders befremdlich, da die Schweiz gerade den umgekehrten Weg geht und die Parallel-Kompensation verbieten will [5]. Weit aus ratsamer wäre es, die Vorgabewerte für die Längskapazität zeitgemäß zu revidieren, so dass sich mit oder ohne Längskondensator vielmehr in der Praxis statt in der Theorie stets die gleiche Wirkleistung einstellt und die Längskompensation eben nicht mehr zu höheren Verlusten führt. Eventuell könnte man bei Verwendung elektronischer Starter andere Werte vorgeben als für die herkömmlichen Glimmstarter, die eigentlich eine unsägliche Technik darstellen und selbst innerhalb der Beleuchtungs-Industrie zum Teil auch auf den vollkommen berechtigten Spitznamen „industrieller Wackelkontakt“ hören. Schließlich ersetzen sie einen Startvorgang durch mehrere Startversuche, während gleichzeitig die Anzahl der Zündungen als

entscheidender Alterungsfaktor für die Lampe genannt wird.

**6 Zentrale Kompensation**

Setzt sich die neue Ansicht des ZVEI und damit die Parallel-Kompensation jedoch durch, wird dies unweigerlich auch wieder eine Tendenz zur zentralen Kompensation auslösen, weil ein Kondensator von 520 µF (im Einkaufspreis) billiger ist als 100 Stück zu je 5,2 µF. Nicht etwa preiswerter oder kostengünstiger oder was es sonst noch alles für beschönigende, leider aber falsche Umschreibungen hierfür gibt, sondern einfach nur billiger, denn dies beschränkt die Einsparung auf den Preis der Blindleistung am Zähler und klammert die Kosten aus, die die Blindleistung innerhalb der Anlage verursacht. Zudem können die Parallel-Kondensatoren zu den beschriebenen Problemen führen, die dann fälschlicherweise den Vorschaltgeräten angelastet werden. Offen bleibt auch die Frage, ob die zentrale Kompensations-Anlage mit abgeschaltet wird, wenn das Licht ausgeschaltet wird, sonst ver-

kehrt sich die Kompensation in ihr Gegenteil und erzeugt zusätzlichen Blindleistungsfluss statt solchen zu vermeiden. Bei dezentraler Kompensation, wozu die Anwendung der Duo-Schaltung zwingt, stellt sich diese Frage nicht.

**7 Verbesserung des Leistungsfaktors**

**7.1 Methode zur Halbierung der Blindleistung bei Lampen von 5 bis 18 W**

Man kann unter Umständen die je Lampe anfallende Blindleistung auch um mehr als die Hälfte senken, indem man je zwei Lampen in Reihe an ein gemeinsames Vorschaltgerät anschließt. Bei Lampen in den Leistungsstufen 5 W, 7 W, 9 W und 18 W ist dies möglich. Bei 18 W ist hierfür ein anderes Vorschaltgerät erforderlich als für eine einzelne Lampe, für die kleineren Lampen kann jeweils das gleiche verwendet werden (zuzüglich des Umstands, dass für die kleinen Lampen von 5 bis 11 W ohnehin jeweils das gleiche Vorschaltgerät eingesetzt wird). Der Effekt liegt klar auf der Hand: Der selbe,



einmal „lampengerecht“ gemachte Strom wird quasi zwei Mal ausgenutzt. Der Spannungsfall über zwei Lampen ist doppelt so groß wie über einer oder sogar noch größer, daher nahezu doppelte Wirkleistung. Der Gesamtstrom wird durch die Reihenschaltung natürlich etwas kleiner, also ist die Blindleistung absolut mit zwei Lampen an einem Vorschaltgerät sogar geringer als mit einer, anteilig je Lampe gerechnet also weniger als die Hälfte der Einzelschaltung!

Abgesehen von einem Vorschaltgerät spart man auch noch jeden zweiten Kondensator ein, und die verbliebenen können (bzw. müssen bei Serien-Kompensation) noch dazu etwas kleiner bemessen sein.

Bei der Variante mit 2 mal 18 W ist der Gesamt-Spannungsfall – und damit auch die Wirkleistung, ebenso wie natürlich die Lichtleistung – deutlich größer als würde statt dessen nur eine Lampe zu 36 W angeschlossen. Somit ergibt sich also auch wieder ein größerer Leistungsfaktor und entsprechend geringerer Kompensations-Bedarf. In der Flächen-Beleuchtung sind daher quadratische Leuchten mit vier Röhren zu je 18 W, aber nur zwei Vorschaltgeräten und nur einem einzigen Kondensator, als kompakte und effiziente Sparversion sehr beliebt.

## 7.2 Senkung der Versorgungsspannung

Damit des Sparens nicht genug. Die Charakteristik der Lampe als Gas-Entladungsstrecke (Bild 1) bringt es nämlich auch noch mit sich, dass der Spannungsfall an der Lampe mit fallendem Strom steigt. Dadurch fällt die Wirkleistung der Lampen unterproportional, die Scheinleistung des gesamten Kreises jedoch überproportional, wenn der Strom sich durch die Reihenschaltung zweier Lampen etwas vermindert, also ergibt sich eine zweimalige Verbesserung des Leistungsfaktors. Die Wirkleistung im Vorschaltgerät, also seine Verlustleistung, hängt darüber hinaus vom Quadrat des Stroms ab, und ganz nebenbei verbessert sich durch diese Betriebsart auch noch der Wirkungsgrad der Lampe. Wie bei vielen elektrischen Betriebsmitteln, von der Glühlampe einmal abgesehen, hat dieser bei voller Nennleistung nicht gerade sein Maximum. Manchmal werden daher Leuchtstofflampen-Anlagen mit größeren Lampen, die nicht zu zweit in Reihe an einem Vorschaltgerät betrieben werden können, statt dessen gezielt mit Unterspannung gespeist. Die gleichzeitige Verbesserung der Wirkungsgrade sowohl der Lampe als auch des Vorschaltgeräts führen dazu, dass der Gesamt-Wirkungsgrad bei Betrieb an 200 V Speisespannung bereits dem

eines EVG gleich kommt, und bei 190 V bietet eine Leuchte mit VVG einen **besseren** Wirkungsgrad als mit EVG [6]. So wie beim Senken der Spannung der aktive Spannungsfall über der Lampe sich erhöht und der reaktive über dem VVG sich vermindert, verbessert sich natürlich auch wieder der Leistungsfaktor. Der ZVEI sieht diese Technik zwar mit gewisser Skepsis [7], doch viele zufriedene Kunden sind begeistert. Referenzen können über das DKI erfragt werden.

### Literatur

[1] *Fassbinder, S.*: Netzstörungen durch passive und aktive Bauelemente. Offenbach 2001.

- [2] *Fassbinder, S.*: Passive filters work. Leonardo Anwendungsleitfaden 3.3.1, verfügbar unter: [www.lpqi.org](http://www.lpqi.org)
- [3] *Hartleib, M.; Witting, W., Dr.*: EVG-Licht liefert geringere Fehlerraten. de 21(1997), S. 2032.
- [4] *Rödiger, W.*: ZVEI: Parallelkompensation – zukunftsweisende Technik. Gebäudetechnik und Handwerk 4(2000), S. 72.
- [5] *Mathys, R.; Schreiber, R.*: Rundsteuerpegelprobleme durch eine Beleuchtungsanlage. Bulletin SEV/VSE, 24(2000), S. 35.
- [6] *Fassbinder, S.*: KVG: Besser als ihr Ruf? ET Schweizer Zeitschrift für angewandte Elektrotechnik, 4(2003), S. 65.
- [7] ZVEI, Fachverband Elektrische Lampen: Betrieb von Lampen an reduzierter Versorgungsspannung – Einsatz von so genannten „Energiesparsystemen“. Frankfurt 1997. ■

Anzeige