

## Application Note DK9221-0110-0010

### Busklemmen

#### Keywords

Lichtsteuerung  
Universal-Dimmer  
Halogen-Niedervolt-Dimmer  
Ethernet-Dimmer  
Phasenanschnitt  
Phasenabschnitt  
Kurzschlussfest  
Netzwerkfähig  
KL2751  
KL2761

# Dimmer – Funktionsgrundlagen und Netzwerkfähigkeit

**Dieses Application Example erläutert die Grundlagen zum Dimmen von Licht, die wichtigen Aspekte rund um die einzelnen Dimmer-Arten (Phasenanschnitt, Phasenabschnitt, Universal) und die Vorteile beim Einsatz eines netzwerkfähigen Universal-Dimmers.**

## Grundlagen

Zum Dimmen des Lichts wird bei Leuchtmitteln der fließende Strom reduziert, was als Effekt einer Regulierung der Helligkeit entspricht. Drei Prinzipien können dazu angewendet werden: Spannungsteiler, Phasenanschnitt und Phasenabschnitt. Der Spannungsteiler wird wegen der energetischen Ineffizienz nicht angewendet: An einem regelbaren Vorwiderstand wird die Spannung zur Lichterzeugung aufgeteilt, der Anteil der Leistung, der nicht zur Lichterzeugung genutzt wird, fällt als Verlustleistung am Widerstand ab und wird in Wärmeenergie umgesetzt. Phasenschnitt-Dimmer arbeiten wesentlich effizienter, da hierbei über elektronische Schaltungen der Strom an- und abgeschaltet wird. Das Leuchtmittel wird in einer für das Auge nicht merklichen Frequenz geschaltet. Da der Stromfluss in der Totzeit unterbrochen ist, reduziert sich im Gegensatz zum Spannungsteiler die Verlustleistung erheblich. Das Verhältnis der Einschaltdauer zur Ausschaltdauer bestimmt bei beiden Prinzipien den Stromfluss bzw. die abgegebene Lichtmenge. Basis für beide Prinzipien ist die Sinuswelle der Netzspannung. Bei einer Frequenz von 50 Hz wechselt die Spannung 100-mal pro Sekunde ihre Polarität, sie erreicht daher auch 100-mal pro Sekunde den Nulldurchgang, bei dem für eine kurzen Moment sowohl Strom- als auch Spannungsfreiheit herrschen.

## Dimmer-Typen

Elektronische Phasenschnitt-Dimmer steuern den durch die Lichtquelle gelieferten Effekt dadurch, dass sie den Strom nur in einen bestimmten Abschnitt der Wechselspannungs-Halbwellen fließen lassen. Bei 230-V-Allgebrauchslampen („Glühlampen“) ist die Funktionsweise des Dimmers wegen der rein ohmschen Belastung unwichtig. Bei sämtlichen Beleuchtungsmitteln, die über elektronische Vorschaltgeräte (EVG) angeschlossen werden, wie z. B. Niedervolt-Halogen-Spots, entscheidet der

## Application Note DK9221-0110-0010

### Busklemmen

Aufbau des Transformators über das einzusetzende Ansteuerprinzip. Zu beachten ist auch, dass die Lastfälle nicht gemischt angesteuert werden: In einem Kreis kann eine ohmsche Last nicht zusammen mit einer induktiven Last geregelt werden, selbst wenn der Dimmer für beide Lastarten geeignet ist. Durch Piktogramme kann der Anwender die Art des Dimmers und die anzuschließenden Lasten erkennen.

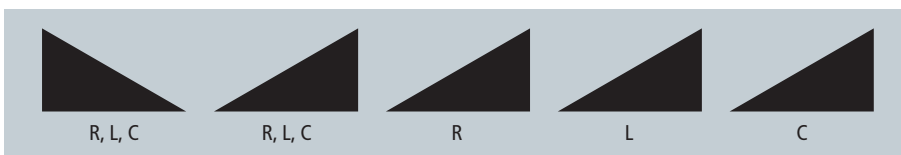


Abb. 1 Bedeutung der Piktogramme: R = ohmsch, L = induktiv, C = kapazitiv, abfallendes Dreieck = Phasenanschnitt, ansteigendes Dreieck = Phasenabschnitt

### Induktive Lasten – Phasenanschnitt

Niederspannungs-Halogenlampen mit konventionellen, induktiven (= drahtgewickelten) Transformatoren werden mit Thyristordimmern reguliert, die auf dem Prinzip der Phasenanschnitt-Steuerung (engl. ‚leading edge phase control‘) basieren. Bei der Phasenanschnitt-Technik wird der Einschaltzeitpunkt des Schalters im Verhältnis zur Netzspannungs-Halbwelle verändert. Dabei wird der Thyristor zu einem steuerbaren Zeitpunkt in den Spannungshalbwellen leitend, im nächsten Nulldurchgang der Sinushalbwelle wird der Stromfluss automatisch unterbrochen. Somit ist gesichert, dass keine induktive Spannungsspitze beim Abschalten entsteht.

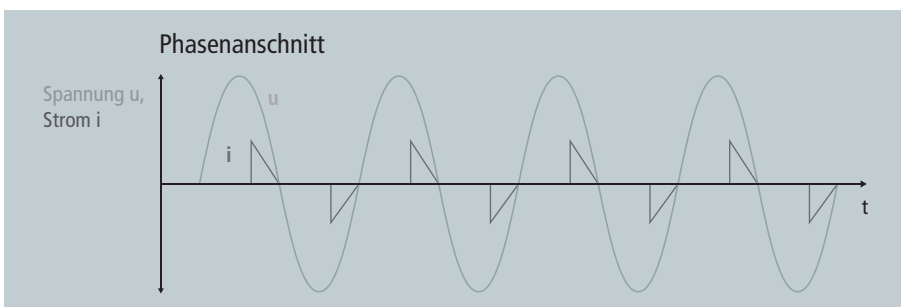


Abb. 2 Veränderung des Einschaltzeitpunktes bei Phasenanschnitt

### Kapazitive und ohmsche Lasten – Phasenabschnitt

Bei elektronischen Niederspannungs-Transformatoren wird die Phasenabschnitt-Steuerung (engl. ‚trailing edge phase control‘) eingesetzt. Bei der Phasenabschnitt-Technik wird der Ausschaltzeitpunkt des Schalters im Verhältnis zur Netzspannungs-Halbwelle verändert. Der Stromfluss beginnt genau beim Nulldurchgang der Spannungswelle, der Transistordimmer beendet den Stromfluss zu einem steuerbaren Zeitpunkt innerhalb der Halbwelle. Vorteile dieser Schaltung: Der Stromfluss kann jederzeit unterbrochen werden; eine sehr exakte Regelung ist möglich und auch im Falle einer Überlastung bzw. eines Kurzschlusses wird der Stromfluss sofort unterbrochen. Die Entstehung von Stromspitzen an Eingangskapazitäten der

## Application Note DK9221-0110-0010

### Busklemmen

elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) wird vermieden, da der flache Anstieg des Sinus genutzt wird, um den Kondensator zu laden. Es wird „sanft“ an die bei der Last benötigte Spannung herangefahren, diese exakte Regelung schont die Last. Phasenabschnittsdimmer sind mit einer Strombegrenzer-Funktion versehen, die bei Überlast eine Absenkung des Ausgangsspannungswertes verursacht. Weiterhin entsteht bei der Phasenabschnitt-Steuerung nur geringe Störstrahlung. Leider sind die eingesetzten Schaltertypen sehr empfindlich und werden selbst durch kurzzeitige Überlastungen zerstört. Zur Abhilfe sind deshalb aufwendige Schutzschaltungen integriert. Als Lasten können 230-V-Allgebrauchslampen (ohmsche Lasten) und Leuchten mit EVGs (kapazitive Lasten) verwendet werden.

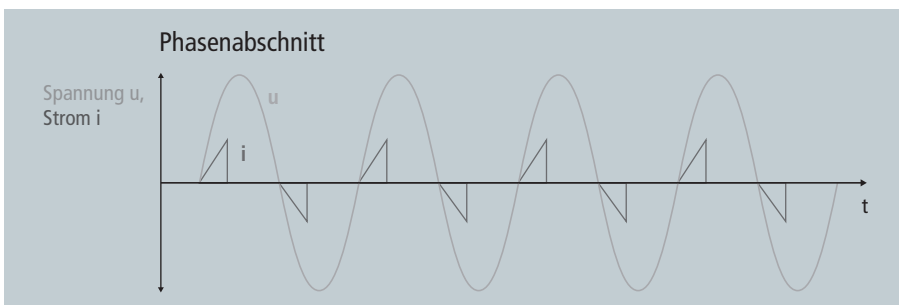


Abb. 3 Veränderung des Ausschaltpunktes bei Phasenabschnitt

### Universal-Dimmer

Bei kapazitiven Lasten kann die Phasenabschnitt-Steuerung nicht eingesetzt werden, da ein plötzlicher Spannungsanstieg einen extrem hohen Stromfluss verursachen würde. Andererseits ist die Phasenabschnitt-Steuerung nicht für induktive Lasten geeignet, da eine Spannungsspitze beim Abschalten des Stromes auftreten würde. Sollte irrtümlicherweise ein drahtgewickelter Transistor mit einem Phasenabschnitt-Dimmer betrieben werden, sind durch die resultierenden, induktiven Spannungsspitzen Schäden an dem Leistungstransistor und den Schutzbauteilen des Dimmers zu erwarten. Zusätzlich kann es zu Schäden an der Leitungsisolierung und den Transformatorwicklungen kommen. Bei der Verwendung von drahtgewickelten Transformatoren ist es besonders wichtig, einen hohen Grad an Stabilität und Symmetrie in dem Phasenabschnitt-Dimmer sicherzustellen, um das Entstehen von Gleichstromkomponenten in der Primärwicklung der Transformatoren mit Risiken der Überhitzung und Leitungsbruch zu verhindern. Zur Vermeidung dieser Auswahlproblematik sind Universal-Dimmer entwickelt worden, in denen beide Steuerungsprinzipien implementiert sind. Sie sind besonders vorteilhaft und unkompliziert im Umgang, weil sie bei Einschalten des angeschlossenen Netzes die Lastart automatisch erkennen und das jeweilige Ansteuerprinzip einsetzen. Allerdings muss auch hier das elektrische Verhalten der angeschlossenen Last einheitlich sein. Ein weiterer Vorteil von Universal-Dimmern ist, dass ein Wechsel der Beleuchtungselemente (Änderung der Lastart) nicht einen Wechsel des Dimmers zur Folge hat, da sie für jede Last (induktiv, ohmsch, kapazitiv) geeignet sind.

## Application Note DK9221-0110-0010

### Busklemmen

#### Praxisproblem: Gleichmäßige Helligkeitsregulierung

In der Praxis erwartet der Bediener, dass eine Vierteldrehung am Drehschalter des Dimmers auch zu einer Veränderung der Helligkeit um ein Viertel führt. Bei konventionellen Phasenschnitt-Steuerungen ohne integrierte Kennlinie tritt der erwartete Effekt jedoch nicht ein, da nur der Ein-/Abschalt-Zeitpunkt und nicht die Leistung geregelt wird. Da die Helligkeit der Leistung entspricht, löst eine Änderung von 5 % des Schaltzeitpunktes keine tatsächliche Helligkeitsänderung von 5 % aus. Je nach Ansteuerungsart und Zeitpunkt der Ausgangswerte innerhalb der Sinushalbwellen tritt die tatsächliche Regulierung deutlich stärker oder schwächer ein.

Das sichtbare Licht entspricht der der Leuchte zugeführten Leistung  $P$ , die sich bei Wechselspannung aus dem Produkt der zeitabhängigen Größen  $\hat{i}$  und  $\hat{u}$  zusammensetzt. Durch Multiplikation beider Größen ist auch in der negativen Halbwelle die Leistung positiv. Die Augenblickswerte  $\hat{i}$  und  $\hat{u}$  haben je nach Zeitpunkt der Netzwellen einen anderen Wert, somit ist auch deren Produkt, die Leistung  $P$ , zu verschiedenen Zeitpunkten der Netzwellen unterschiedlich. Ohne integrierte Kennlinie ist die Schrittweite auf der Zeitachse konstant. Die Leistung innerhalb der konstanten Schrittweite ist nicht konstant, da sich die Flächenanteile der Sinuswellen pro Schrittweite verändern. Bei Regulierungen um den Vollausschlag des Sinus herum ist die konstante Schrittweite besonders nachteilig: Eine Reduzierung der Schrittweite bei 50 % um  $\pm 10$  Prozentpunkte entspricht einer Helligkeitsregulierung von wesentlich mehr als 20 %. Daher ist der Bediener unweigerlich gezwungen, genauer zu regulieren, um eine lineare Helligkeitsänderung zu erreichen. In der Praxis ist es daher schwierig eine Regulierung mit hoher Wiederholgenauigkeit zu erzielen. Ist eine regulierte Ausleuchtung des Raums erwünscht, ist man mittels Inbetriebnahme gezwungen, eine Linearisierungskennlinie nachzuvollziehen und sie entsprechend händisch in der Steuerung nachzutragen.

#### Netzwerk-fähiger Dimmer mit linearisierter Kennlinie

Die Busklemmen KL2751 und KL2761 sind Universal-Dimmer mit linearisierter Kennlinie zur gleichmäßigen Helligkeitsregulierung von Beleuchtungselementen. An die 1-Kanal-Universal-Dimmerklemmen können kapazitive, induktive und ohmsche Lasten angeschlossen werden. Da die Klemmen beide Arten der Phasenschnitt-Steuerung beherrschen, können sie je nach Leistungsbedarf der angeschlossenen Last (KL2751: 300 VA, KL2761: 600 VA) auch als Leistungsschalter zur Regulierung von Wechselspannungslasten verwendet werden. Weiterhin können die Klemmen durch Buskoppler in jede beliebige Steuerungsumgebung integriert werden und gehören somit zu den derzeit wenigen verfügbaren, netzwerkfähigen Universal-Dimmern, die nicht auf dem für professionelle Beleuchtung üblichen Protokoll-Standard DMX basieren (Stand 10/2009).

Für den Anwender bieten die Klemmen viele Vorteile und sind besonders unkompliziert im Umgang: Wie für Universal-Dimmer typisch muss bei einem Wechsel der Lastart (R, L, C) nicht der Dimmer gewechselt werden. Die Klemme erkennt die angeschlossene Last automatisch nach Einschalten des Netzes (**nicht** nach Einschalten des Verbrauchers!) und führt das entsprechende Ansteuerprinzip aus. Weiterhin ist die Klemme kurzschlussfest: Ohne Einsatz eines kurzschlussfesten Dimmers muss im Regelfall bei einem Lampenwechsel auch ein Austausch der Sicherung erfolgen, da durch den Kurzschluss der

## Application Note DK9221-0110-0010

### Busklemmen

durchgebrannten Glühwendel auch die Sicherung beschädigt wird. Die Kurzschluss-Festigkeit der KL2751/61 verhindert einen Schaden an der Sicherung, sodass bei einem Lampenwechsel keine Wartungsarbeiten innerhalb des Schaltschranks anfallen. Im Schaltschrank ist die Klemme besonders diskret, da sie wie fast alle Busklemmen der Beckhoff Automation GmbH mit nur 12 mm Breite den Bauraum von zwei konventionellen Reihenklemmen einnimmt. Sie ist damit viermal so klein wie ein üblicher Universaldimmer für die Hutschienenmontage. Das Dimm-Verhalten der KL2751/61 ist durch die interne Linearisierung wesentlich gleichmäßiger als das konventioneller Universal-Dimmer. Im Gegensatz zur konstanten Schrittweite wird bei der KL2751/61 eine Helligkeits-abhängige Schrittweite gewählt, sodass der Leistungszuwachs pro Schritt konstant bleibt. Eine Änderung der Prozessdaten um beispielsweise 27 % hat unabhängig von Ausgangswert auch eine Änderung der Helligkeit von 27 % zur Folge.

- 1-Kanal-Universal-Dimmerklemme, 230 V AC, 300 VA (W) [www.beckhoff.de/KL2751](http://www.beckhoff.de/KL2751)
- 1-Kanal-Universal-Dimmerklemme, 230 V AC, 600 VA (W) [www.beckhoff.de/KL2761](http://www.beckhoff.de/KL2761)
- Automatisierungsbaukasten für die Gebäudeautomation [www.beckhoff.de/building](http://www.beckhoff.de/building)

Dieses Dokument enthält exemplarische Anwendungen unserer Produkte für bestimmte Einsatzbereiche. Die hier dargestellten Anwendungshinweise beruhen auf den typischen Eigenschaften unserer Produkte und haben ausschließlich Beispielcharakter. Die mit diesem Dokument vermittelten Hinweise beziehen sich ausdrücklich nicht auf spezifische Anwendungsfälle, daher liegt es in der Verantwortung des Kunden zu prüfen und zu entscheiden, ob das Produkt für den Einsatz in einem bestimmten Anwendungsbereich geeignet ist. Wir übernehmen keine Gewährleistung, dass der in diesem Dokument enthaltene Quellcode vollständig und richtig ist. Wir behalten uns jederzeit eine Änderung der Inhalte dieses Dokuments vor und übernehmen keine Haftung für Irrtümer und fehlenden Angaben. Eine detaillierte Beschreibung unserer Produkte enthalten unsere Datenblätter und Dokumentationen, die darin enthaltenen produktspezifischen Warnhinweise sind unbedingt zu beachten. Die aktuelle Version der Datenblätter und Dokumentationen finden Sie auf unserer Homepage ([www.beckhoff.de](http://www.beckhoff.de)).

© Beckhoff Automation GmbH, Januar 2010

Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.