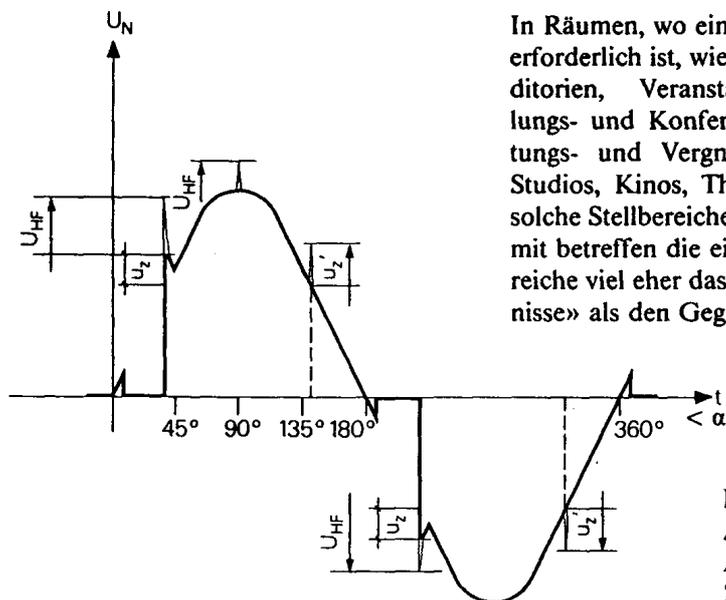


Die Steuerung der Helligkeit von Leuchtstofflampen



In Räumen, wo eine Helligkeitssteuerung erforderlich ist, wie z. B. in Hörsälen, Auditorien, Veranstaltungshallen, Schulungs- und Konferenzräumen, Unterhaltungs- und Vergnügungsbetrieben, TV-Studios, Kinos, Theatern usw., genügen solche Stellbereiche bei weitem nicht. Damit betreffen die eingangs genannten Bereiche viel eher das Thema «Stromersparnisse» als den Gegenstand dieses Aufsatzes.

reszenzröhren) versteht der Autor im folgenden die gleichmässige und stetige, flackerfreie Veränderung derselben in einem weiten Bereich von etwa 1:10 000, das heisst vom möglichen Maximalwert (100%) bis nahezu Null; jedenfalls so weit, dass auch im fensterlosen Raum nichts mehr sichtbar ist.

Dies zu erreichen stellt ganz besonders hohe Ansprüche an dafür zu verwendende Steuergeräte. Die Verminderung der speisenden Netzwechselspannung mit Stelltransformatoren oder Widerständen, wie das bei Glühlampen möglich wäre, geht hier nicht, und sie werden dazu auch kaum mehr benützt. Leuchtstofflampen brauchen eine hohe, über dem Scheitelwert der Netzspannung liegende Zündspannung, währenddem die Brennspannung unter der halben Netzspannung liegt. Leuchtstofflampen haben einen negativen Durchlasswiderstand, der nach dem Zünden sofort kleiner wird. Diese benötigen daher im Normalfall einen Starter, der in Verbindung mit einer Strombegrenzungsdrossel für einen hohen Zündimpuls sorgt. Anschliessend begrenzt diese Drossel den Lampenstrom auf den vorgeschriebenen, erlaubten Wert, und der Starter wird inaktiv. Damit werden solche Lampen zu stark induktiven Stromver-

Bild 1
Anschnittsteuerung,
Anschnittwinkel und
Zündimpulse.

1. Vorbemerkungen

Von geringen Stellbereichen, wie z. B. 1:4 bis etwa 1:10, soll im folgenden nicht die Rede sein, denn solche Helligkeitsänderungen – zumindest 1:4 – werden vom menschlichen Auge als solche zwar im Moment, aber auf Dauer nicht allzusehr wahrgenommen. Dieses passt sich physiologisch durch Veränderung seiner Iris-Pupille bald einmal solchen Helligkeitsunterschieden an.

zes, obschon natürlich grosse Helligkeitsstellbereiche genauso Verminderungen des Stromverbrauches ergeben. Dies gilt ganz besonders bei Leuchtstofflampen, bei denen der Stromverbrauch über einen weiten Bereich praktisch proportional der eingestellten Helligkeit folgt.

2. Grundsätzliches

Unter der Regelung bzw. Steuerung der Helligkeit von Leuchtstofflampen (Fluo-

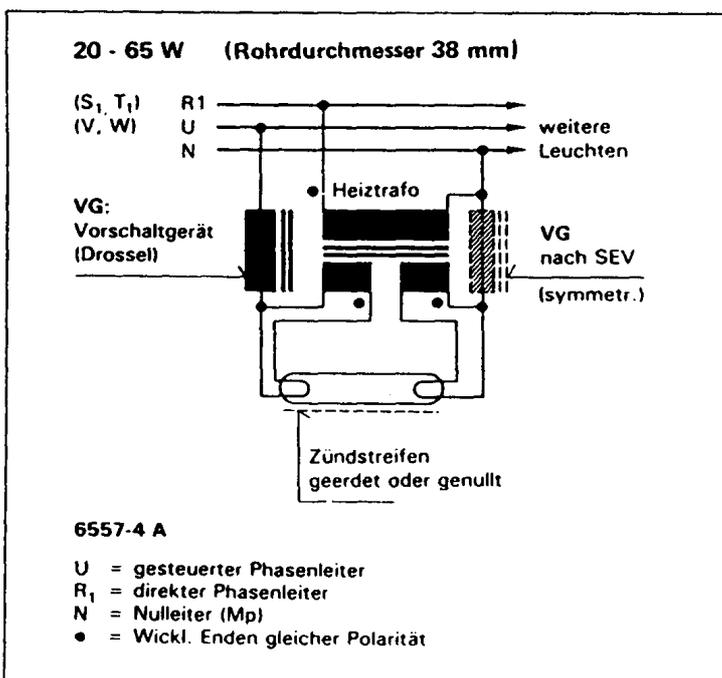


Bild 2 Anschluss mit Heiztransformator, 20–65 Lampen.

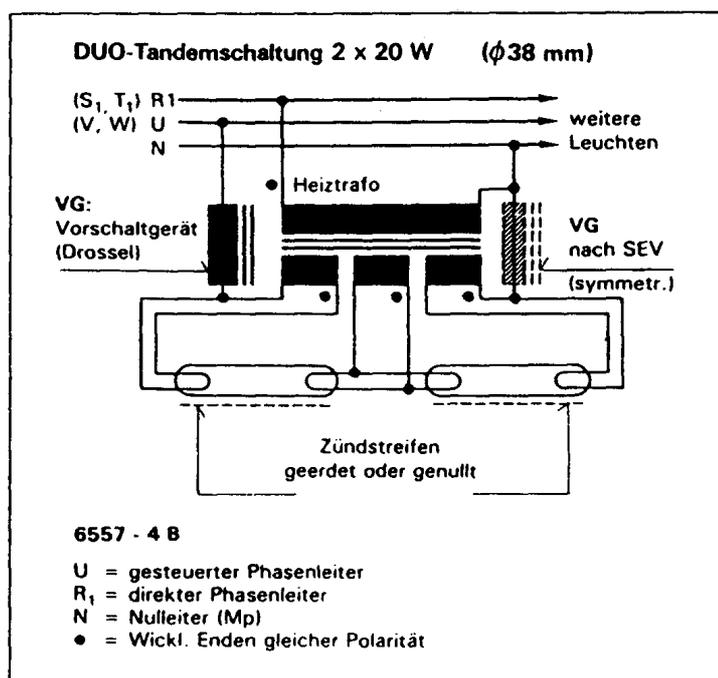


Bild 3 Anschluss mit Heiztransformator, DUO-Tandemschaltung, zwei 20-W-Lampen.

brauchern, deren Stromfluss der Betriebsspannung nahelegt.

Auf weitere typische Eigenschaften dieser Leuchtstofflampen einzugehen ist hier nicht der Raum, obschon diese recht komplex und interessant sind. Es sei daher auf die einschlägige Literatur verwiesen [1, 2]. Um die Helligkeit solcher Lampen steuern zu können, muss die erforderliche Zündfähigkeit nach jedem Nulldurchgang der anliegenden Netzspannung sichergestellt werden. Wegen der physikalischen Eigenschaften der Leuchtstofflampen kann deswegen nur eine sogenannte Ansnchnittwinkelsteuerung in Frage kommen, die ausserdem zur Erfüllung der eingangs genannten Ansprüche noch ganz besondere Eigenschaften haben muss. Was darunter zu verstehen ist, dürfte grundsätzlich als allgemein bekannt gelten (Bild 1).

Dabei darf zunächst einmal kein Starter verwendet werden, da dieser vorerst zum andauernden Schalten gezwungen würde und heftiges Flackern zur Folge hätte und schliesslich, im untern Spannungsbereich, gar nicht mehr anspräche. Ausserdem würden die Röhren dabei zerstört.

Um ihre Zündwilligkeit sicherzustellen (dauernde Ionisierung), müssen die Elektroden an den beiden Röhrenden (Heizwendel) dauernd beheizt werden. Dazu ist neben der weiterhin notwendigen Drossel ein zur Röhre passender Heiztransformator mit getrennten Wicklungen erforderlich (Bild 2 und 3). Wichtig ist schliesslich noch, dass wegen dem im heruntergeregelten Zustand äusserst geringen Lampenstrom ein sehr guter Kontakt mit der Lampenfassung besteht.

Wie bereits bemerkt, muss das Ansnchnittwinkel-Steuergerät ganz besondere Eigenschaften haben. Diese bestehen im wesentlichen darin, dass dieses Gerät

a) bewirkt, dass bei Anwendung einer Zündhilfe auf der Röhrenlängsseite die Zündung jeweils in derjenigen Halbwelle ausgelöst wird, die negativ zu jener an der gegenüberliegenden anderen Elektrode und jener der Zündhilfe ist, und

b) im Zündzeitpunkt bei einem beliebigen Zündwinkel α der angeschnittenen Spannung einen kurzzeitigen Zündimpuls aufsetzt, der hoch genug ist, um nach jedem Nulldurchgang der Netzspannung ein sicheres Zünden der Röhre zu bewirken (in Bild 1: u_1/u_2).

Diese beiden Eigenschaften sind bei einem üblichen Ansnchnittwinkel-Steuergerät nicht vorhanden. Sie sind nur bei «Varintens»-Geräten zu finden, deren Schaltungen patentrechtlich geschützt sind [3]. In Bild 1 ist der Zündwinkel auf der Waagrechten aufgetragen und der vorbenannte Zündimpuls u_2 angedeutet. Hierbei wird ausserdem dieser Zündimpuls in seinem Scheitelwert, je nach Lage des Zündwinkels α derart verändert, dass jeweils ein optimales Zündverhalten sichergestellt ist, ohne dabei der Lampe zu schaden.

3. Steuermöglichkeiten bei 20-, 40- und 65-W-Röhren

Diese seit Jahren im Gebrauch stehenden Lampen haben einen Aussendurchmesser vom 38 mm. Damit die Steuerung möglichst flackerfrei erfolgen kann, sollten nur solche mit einem aussen aufgedampften metallisierten Zündhilfestreifen verwendet werden, ausser bei 20-W-Röhren, soweit diese nicht in Duo/Tandem-Schaltung angeordnet sind. Bei 65-W-Röhren muss ein etwa 25 mm breiter Alustreifen auf der ganzen Röhrenlänge aufgeklebt werden, der als Zündhilfe dient. Diese Zündhilfen sind, um gefährliche Berührungsspannungen zu vermeiden, über einen Schutzwiderstand an den Neutralleiter (Vorschrift des SEV in der Schweiz) bzw. ohne diesen Widerstand an den Schutzleiter (Erde) zu legen. Aber auch trotz diesen Massnahmen wird in der Regel, insbesondere bei den 65-W-Lampen, im untern Helligkeitsbereich vorerst ein geringes Flackern und alsdann eine gelegentliche «Unruhe» nicht zu vermeiden sein, sofern das Steuergerät – trotz den Zündhilfen – nicht auch den unter Absatz 2b beschriebenen Zündimpuls liefert. Als unterer Helligkeitsbereich ist hier eine Resthelligkeit von weniger als etwa 1% der grössten, vollen Helligkeit zu verstehen. Röhren ohne Zündhilfen oder solche mit ungenügender Elektrodenbeheizung, z. B. zu niedriger, falscher Heizspannung, das heisst zu geringem Heizstrom, werden schon viel früher flackern und werden im letztgenannten Fall sogar zündunwillig und sind sicher in kürzester Zeit beschädigt und fallen aus.

Röhren bis 40 W mit aufgedampftem Zündstreifen sind beispielsweise von Philips unter der Typenbezeichnung TLM

oder von Osram mit der Bezeichnung Sa erhältlich. Bei dieser Gelegenheit ist aber darauf hinzuweisen, dass solche mit Indium-Amalgam-Füllungen (als Gasbeimischung) zu vermeiden sind, sie lassen sich wegen dieser Füllung in der Regel nur schlecht steuern. Sonst sind alle handelsüblichen Röhren mit der beschriebenen Zündhilfe (Zündstreifen oder Aluklebeband) bis ganz dunkel gut steuerbar.

Immer aber sollen die Anschlussvorschriften des Herstellers der Regelgeräte streng befolgt werden [4].

Schliesslich ist auch noch zu bemerken, dass als Strombegrenzungsdrossel, auch Vorschaltgerät genannt (VG), normale, brummfreie VG ohne irgendwelche Kondensatoren (Resonanz-VG) verwendet werden sollen. Eventuell eingebaute Kondensatoren müssten abgeklemmt, das heisst strom- und wirkungslos gemacht werden. Beim Heiztransformator ist auf die richtige Polarität der Anschlüsse zu achten, wie in den Anschlusschaltbildern Bild 2-3 angegeben. Andernfalls wird die unter Absatz 2a beschriebene Zündschaltung ihre Wirkung verlieren und sogar das Gegenteil der ihr zugedachten Aufgaben bewirken. Bei Beachtung der beschriebenen Massnahmen und einwandfreien Kontakten werden mit geraden Röhren von 20 bis 65 W Stellbereiche bis 1:3000 sauber und einwandfrei erreicht. Auch U-förmige und gar kreisförmige Röhren dieses Durchmessertyps von 38 mm lassen sich erstaunlich gut steuern. Bei den U-förmigen wird der Bereich etwa 1:1000 und bei den ringförmigen noch etwa 1:7 erreicht. Immerhin zeigt sich, dass ringförmige Röhren an sich zu meiden wären.

Endlich wäre auch noch zu bemerken, dass gewisse Ansnchnittwinkel-Steuergeräte eine sogenannte Grundlast zusätzlich zu den Röhren in Form eines ohmschen Widerstandes oder von Glühlampen benötigen.

Bei vielen Steuergeräten kann eine solche extern und zusätzlich anzuschliessende «Grundlast» 25 W und mehr betragen. Bei «Varintens»-Geräten ist diese sehr gering (2,7 W) und in der Regel im Gerät bereits enthalten. Weiteres dazu später unter Absatz 6.

4. Steuermöglichkeiten bei 18-, 36- und 58-W-Röhren

Röhren dieser Nennleistungen sind im Gegensatz zu jenen von 20-65 W aus einer neuen Generation und erst seit ein paar Jahren auf dem Markt. Anfänglich wurde für sie eine Riesenpropaganda gemacht, sie sollten angeblich sogar problemlos gegen die bisher bewährten von 38 mm Ø ausgetauscht werden können.

Diese neue Lampengeneration ist vorerst am verringerten Durchmesser von nur 26 mm erkennbar. Sehr schnell zeigte sich aber, dass diese einige besondere Eigenschaften haben, obwohl das physikalische Prinzip der Gasentladung und der aufgedampften Leuchtschicht dasselbe geblieben ist. Das hat denn auch bald vielen Anwendern Enttäuschungen und gar Kummer gebracht. Von einem problemlosen Austausch gegen die 38-mm-Röhren konnte nicht mehr die Rede sein. Diese neuen Röhren zeigen ein anderes, anspruchsvolleres Zündverhalten, und die Helligkeitssteuerung erschien vorerst nicht mehr möglich. Das zwang bald zu Neuentwicklungen von Vorschaltgeräten (VG) von an sich herkömmlicher Art und sehr bald dann auch zu sogenannten elektronischen Vorschaltgeräten (EVG). Diese letzteren führten nun zum Betrieb dieser Röhren mit einem «hochfrequenten» Lampenstrom um etwa 30 kHz, was wiederum das Konzept von sogenannten HF-Röhren ergab. Ziel dieser Übungen war grundsätzlich eine Verminderung des Strom-(Energie-)verbrauches der Beleuchtungsanlagen mit dieser neuen Lampengeneration, was tatsächlich in hohem Mass erreicht wurde. Mit den benannten EVG wurde dabei sogar der bisher hochinduktive Leistungsfaktor auf über 0,95 verbessert.

An die in vielen Räumen nach wie vor notwendige Steuerbarkeit hat man dabei aber vorerst nicht gedacht. Es zeigte sich alsbald, dass bei der mit den neuen VG und auch mit den EVG ausgerüsteten Leuchten zwar eine gewisse Steuerbarkeit mit den bekannten Anschaltwinkel-Steuergeräten möglich war, dass aber dabei ein Steuerbereich von etwa 1:4 kaum zu über-treffen war.

Anlagen mit speziellen, sogenannten HF-Röhren und einer nominellen Betriebsstromfrequenz von ca. 30 kHz, die mit den

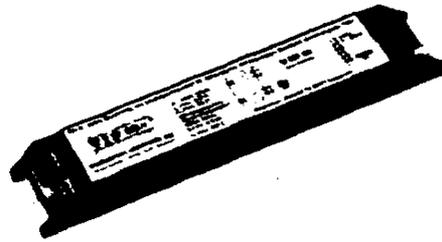


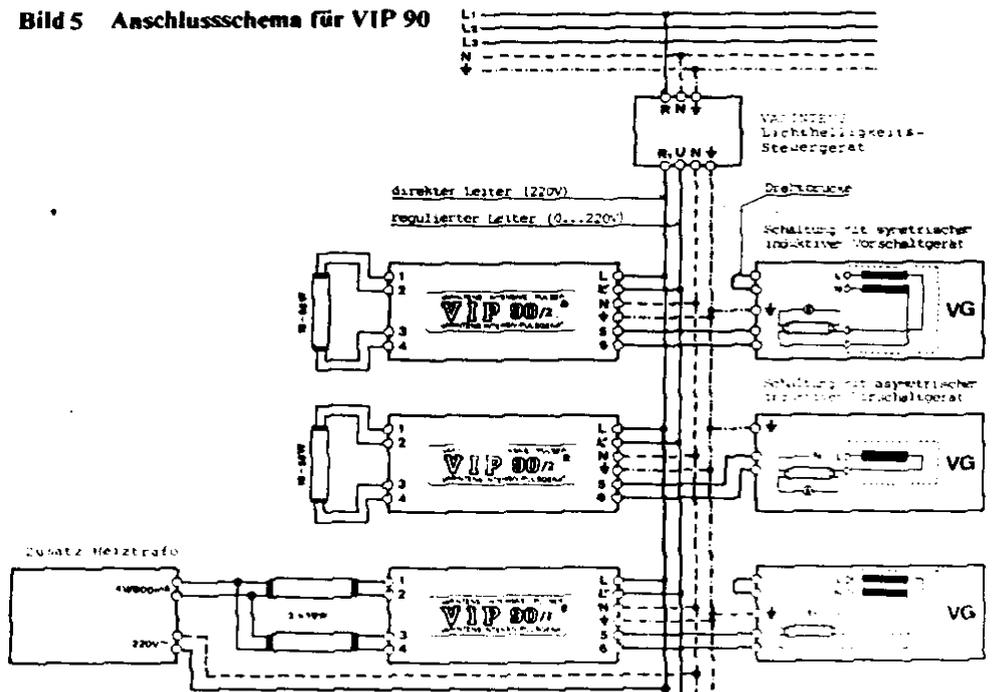
Bild 4 Zusatzgerät VIP 90, Varintens-Intensiv-Pulser.

oben zitierten EVG betrieben werden, ergeben durch Verändern der Frequenz solche Steuermöglichkeiten von etwa bis 1:10, alle anderen Steuerarten führen in der Regel zumindest zu einer starken Verkürzung der Lampenlebensdauer, obschon Demonstrationen bis etwa 1:25 möglich sind. Solche sagen aber über die voraussichtliche Lebensdauer gar nichts und führen zu gefährlichen Missverständnissen.

Um eine Helligkeitssteuerung im gleichen Masse oder besser als bei den bisherigen 38-mm-Röhren zu erreichen (in Abs. 3 vorstehend beschrieben), musste etwas Neues gefunden werden. Dies führte zunächst zu umfangreichen Untersuchungen und Experimenten mit Hunderten von

neuen Röhren der verschiedensten Fabri-kate, Formen, Farben und Leistungen, dann zur Entwicklung eines Zusatzgerätes und schliesslich Langzeitversuchen. Das Gerät führt der Lampe bei jedem Zündwinkel eine aperiodische, zusätzliche und kurzzeitige, hochfrequente Impulsspannung von ausreichender Leistung zu (U_{HF} in Bild 1). Damit wird ein sicheres Zünden auch bei extrem kleinem Stromflusswinkel gewährleistet. Dieses Zusatzgerät – VIP 90 (Varintens-Intensiv-Pulser) benannt – wurde von der Firma starkstrom-elektronik AG, Wettingen (Schweiz) entwickelt und seit etwa zwei Jahren von dieser in grosser Stückzahl fabriziert (Bild 4). Der Name «VIP-90» ist markenrechtlich und dessen Schaltung patentrechtlich geschützt [5]. Mit diesem Zusatzgerät, einer handelsüblichen, einfachen Strombegren-zungsdrossel mit einer einzigen Wicklung (VG), einem sogenannten induktiven Vorschaltgerät und einem vorhergehend bereits zitierten «Varintens»-Steuergerät, ist es nunmehr möglich, auch solche Röhren in einem Bereich von bis zu 1:10 000 einwandfrei zu steuern und dabei die Lam-pen so zu schonen, dass deren Lebensdauer eher noch verlängert wird. (Bei Vorschaltgeräten mit zwei symmetrischen Wicklungen, wie in der Schweiz üblich,

Bild 5 Anschlusschema für VIP 90



sind diese mittels einer kleinen Drahtbrücke in Serie zu schalten.)

Dieses VIP-Zusatzgerät wird für jede einzelne Lampe benötigt (bzw. eines für zwei 18-W-Röhren in Tandem-, das heisst Serienschaltung) und enthält ausser der Elektronik den erforderlichen Heiztransformator (4 V/800 mA). Das Schema in Bild 5 zeigt die Anwendung. Zusätzliche Zündhilfen, wie Zündstreifen oder ähnliches, werden nicht mehr benötigt.

Ausser dem Heiztransformator sind auch die erforderlichen Funkentstörfilter eingebaut: es ist selbstverständlich SEV-geprüft und zugelassen. Steuerbar sind mit diesem VIP-90-Gerät alle 26-mm Röhren von 2 x 18/36/38/58 W im Bereich von 1:10 000. Einzelbetriebene 18-W-Röhren erreichen einen Bereich von etwas über 1:1000. Neben den genannten Röhren sind damit auch die folgenden oder gleichwertige Typen steuerbar:

- PL/Dulux 18/24/36 W mit 4 Stiften, also ohne Starter, je nach Röhrenfabrikat, im Bereich von ca. 1:500 bis 1:2000
- Circline-Röhren in kreisförmiger Art von 32 bis 65 W, im Bereich von ca. 1:5000

Alle Lampen, die mit diesem Zusatzgerät betrieben werden, müssen aber für eine Elektrodenheizspannung von 4 V gebaut sein, was nach Wissen des Autors den nunmehr üblichen 26-mm-Röhren von 18 bis 58 W durchwegs der Fall ist. Für die letztgenannten Circline-Lampen gilt dies aber nicht; hierüber muss der Lampenlieferant bzw. der Hersteller befragt werden. Aus der Praxis sind aber Fälle bekannt, wo einige tausend solche kreisförmige Röhren mit 4-V-Heizung geliefert wurden und mit solchen VIP-90-Geräten zur be-

sten Zufriedenheit der Kunden im Betrieb stehen.

Eine Rückfrage ist in jedem Zweifelsfall ratsam.

Die Lampentypen PL/Dulux und ähnliche, insbesondere solche von weniger als 18 W, besitzen in der Regel nur zwei Anschlussstifte; sie enthalten dann einen eingebauten Starter, was eine Steuerung im Sinne dieses Aufsatzes unmöglich macht. Gleiches gilt auch für Lampen mit E-27-Gewindesockel zum Ersatz von Glühlampen, z. B. unter dem Namen «Compacta» bzw. «SL». Diese enthalten neben dem Starter auch noch die Strombegrenzungsdrossel (VG): auch solche Lampen sind nicht steuerbar.

Spezielle Röhren, die hier nicht besonders erwähnt wurden, sind auf ihre Eignung zu untersuchen. Der Röhrenhersteller oder die Herstellerfirma des VIP-90-Zündgerätes sollte darüber befragt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Mit dem beschriebenen Zündgerät wird die Helligkeitssteuerung sehr einfach und sogar besser als bei den 38-mm-Röhren mit zusätzlichen Zündhilfen. Bei richtigem Anschluss und üblicher Raumtemperatur braucht kaum mehr eine Auswahl der Röhren nach Fabrikat; Lichtfarbe noch Qualität der Gasfüllung getroffen zu werden. Die Steuerung ohne zusätzliche Zündhilfen, selbst die gleichzeitige Anwendung von 36- und 58-W-Lampen im gleichen Stromkreis wird möglich.

Schliesslich ist noch anzumerken, dass es Röhren z. B. mit Argon- bzw. Kryptongasbeimischungen gibt. Hier ist es nützlich zu wissen, dass beide mit dem VIP-90-Zündgerät gleich gut steuerbar sind, dass jedoch jene mit Argonfüllung etwas besser

für tiefere Umgebungs- bzw. Betriebstemperaturen geeignet sind, im Vergleich zu jenen mit Kryptonfüllung.

5. Steuermöglichkeiten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG)

Wie in Abs. 4 bereits angemerkt, wurden in der Folge des Erscheinens der 26-mm-Röhren neben anderen auch sehr bald sogenannte elektronische Vorschaltgeräte (EVG) entwickelt und von den meisten der bisherigen Anbieter von Vorschaltgeräten (VG) auch auf den Markt gebracht. Diese EVG sollen die bisherigen induktiven VG mit Strombegrenzungsdrossel und Starter ersetzen und deren Verluste vermindern. Ausserdem vermindern sie die Scheinleistungsaufnahme sehr erheblich und in geringem Masse sogar auch die Aufnahme von Wirkleistung. Der Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) wird dabei derart verbessert, dass er sich auf etwa 0,95 erhöht. Die früher übliche und von den Elektrizitätswerken geforderte Blindleistungskompensation entfällt.

Grundsätzlich bestehen solche EVG aus einer Kombination von einem Gleich- und einem Wechselrichter und einem Filter gegen hochfrequente Störungen, wie Bild 6a andeutet. Dieses Filter enthält natürlich auch eine Drossel, die aber wegen der hohen Betriebsfrequenz viel kleiner als die bisher übliche wurde. Die Anspeisung solcher EVG erfolgt wie bisher mit der Netzwechselspannung, dank dem eingebauten Gleichrichter kann aber auch mit einer Gleichspannung gespeist werden. Die der Lampe zukommende Be-

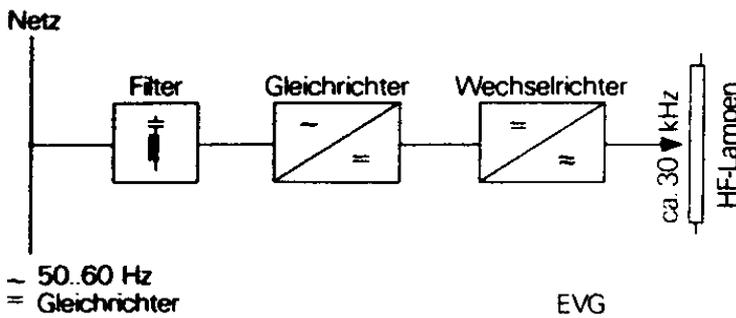


Bild 6a EVG-HF-Vorschaltgerät

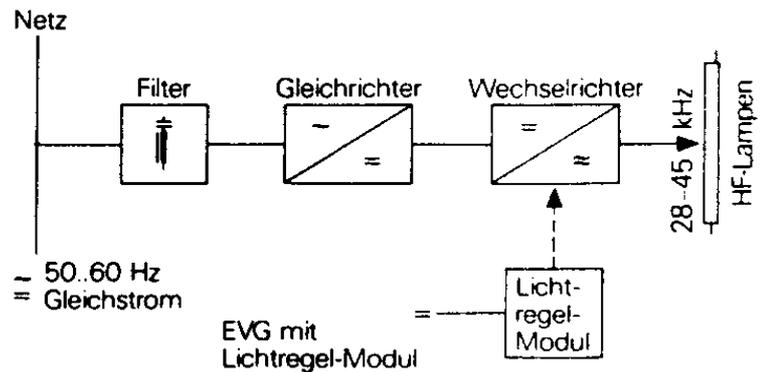


Bild 6b EVG-HF-VG mit Regelmodul

triebsspannung ist von hoher Frequenz um etwa 28 bis 30 kHz, und es ist nur logisch, dass daher diese möglichst ein sogenannter HF-Typ sein sollte.

An eine Steuerung der Helligkeit der Lampen wurde aber keineswegs gedacht; grundsätzliches Ziel war die Erhöhung der Lichtausbeute und die Verlustminderung mit gleichzeitiger Verbesserung des Leistungsfaktors. Diese Zielsetzung wurde dabei auch erreicht; ausserdem verschwindet der altbekannte stroboskopische Effekt.

Im Zuge der Entwicklung und Anwendung dieser EVG wurde alsbald bemerkt, dass durch die Veränderung der Frequenz der Lampenspannung auch eine gewisse Veränderung der Helligkeit möglich wurde. Diese Veränderung ist aber recht gering und beträgt in der Regel 1:4, das heisst also, als für unsere Betrachtungen viel zu wenig. Diese Änderung der Betriebsfrequenz wird bei gewissen Geräten durch das Einfügen eines Lichtregelmoduls erreicht, über welches eine veränderliche Gleichspannung die Frequenz- bzw. die vorgenannte Helligkeitsänderung bewirkt (Bild 6b). Denselben Effekt erreicht man bei gewissen Fabrikaten von EVG auch durch Verändern der Netzeingangsspannung; es gibt auch solche, die zusätzlich als Oberwellenfilter noch ein Standard-VG erfordern.

Schliesslich gibt es unter der Bezeichnung EVG noch eine ganze Reihe von verschiedenen ähnlichen Varianten, die aber

grundsätzlich vorerst das gemeinsame Ziel haben, Energie zu sparen. Eine Helligkeitssteuerung im Sinne dieses Aufsatzes gibt es damit aber nicht. Anzufügen wäre noch, dass auch Geräte angeboten werden, die in dieser Hinsicht etwas mehr erreichen, dabei aber mehr Aufwand erfordern. Diese Geräte arbeiten im Prinzip wie ein herkömmliches VG, enthalten aber eine komplizierte Umrichterelektronik, die dem Lampenstrom von Netzfrequenz eine zusätzliche hochfrequente (ca. 28 kHz) Spannung überlagern. Diese Geräte – oft auch «Zündgenerator» genannt – erreichen einen Stellbereich von 1:25 oder auch etwas mehr, ihre Funkenstörung bildet aber in der Anwendung noch ein schwieriges Problem [6, 6a]. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass keines der beschriebenen EVG auch nur annähernd einen Steuerbereich ermöglicht, wie er durch das in Abs. 4 genannte VIP-90-Geräte erreicht werden kann.

6. Aufbau von Steuergeräten

Grundsätzlich kommen für Gasentladungslampen, aber auch für Lampen jeder anderen Art, nur noch Anschnittwinkel-Steuergeräte in Frage, wovon bereits unter Abs. 2 die Rede ist. Es stellt sich für den Konstrukteur vorab die Frage, wie solche Geräte zu konzipieren sind. Dabei stösst er zunächst einmal darauf, dass Beleuchtungsanlagen je nach Ort und Objekt ausserordentlich unterschiedlich sind, das

heisst sie unterscheiden sich in vielen Merkmalen, wie z. B. in der Anschlussleistung, der Art der Lichtquellen (Lampen), deren Gruppierung und die gewünschte Art der Bedienung und auch in der räumlichen Auf- und Unterteilung. Auch der Verwendungszweck ist unterschiedlich; dazu kommt, dass vielfach alle diese Merkmale zwischen dem Beginn der Planung und der schliesslich zur Lieferung gelangenden Steuerungsanlage mehrmals ändern.

Beleuchtungskonzepte hängen schliesslich nicht vom Angebot an Steuergeräten, sondern vielmehr von Bauherren und insbesondere von Architekten ab. Will sich ein Hersteller von Lichtsteuergeräten nicht im voraus auf bestimmte Leistungen und Lichtquellen festlegen, gelangt er unweigerlich zum *Konzept eines modularen Systems*, womit er Geräte und Anlagen bauen kann, die den jeweiligen Anforderungen optimal entsprechen und notfalls auch nachträglich sich möglichen Änderungen anpassen lassen. Das bereits genannte «*Varitens*»-System entspricht in allen Teilen solchen Forderungen. Damit kann überdies ein Leistungsbereich von 1,3 kVA bis zu beliebiger Leistung nach oben abgedeckt werden. Bedienungsmässig ist die Steuerung – auch von beliebigen Anschlussleistungen – möglich vom einfachen Drehknopf (Potentiometer) bis hin zu drahtlosen Drucktastensteuerungen mit moduliertem Infrarotlicht.

Hinzu kommen die erforderlichen Anpas-

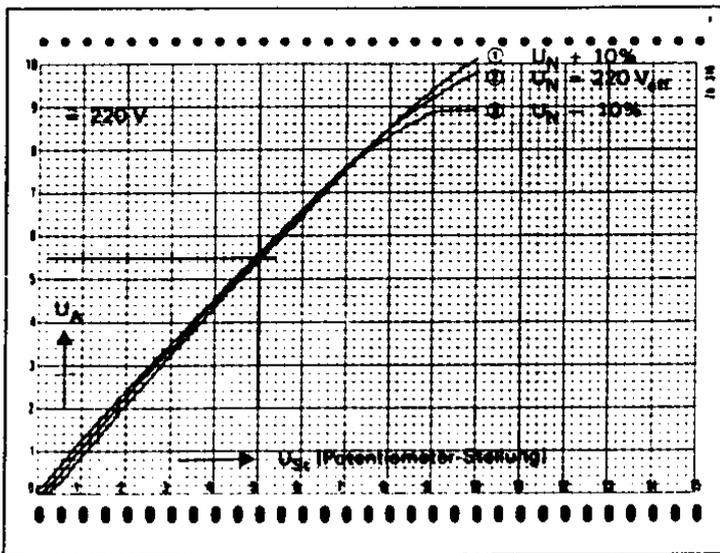


Bild 7 Stabilisierte Ausgangsspannung $U_A = f(U_S)$

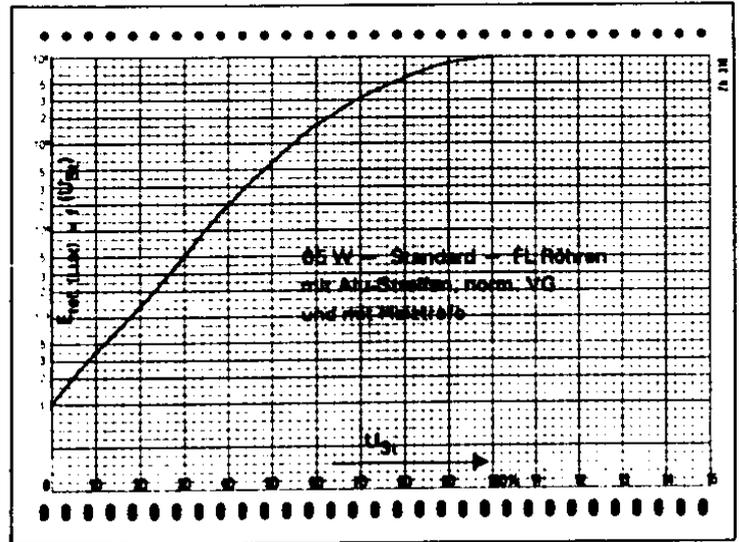


Bild 8 Ausgangsspannung für FL-Röhren $U_A = f(U_S)$

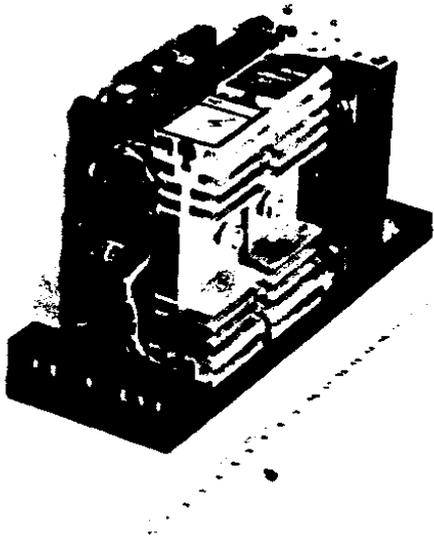


Bild 9 Modul für 10 bzw. 16 A

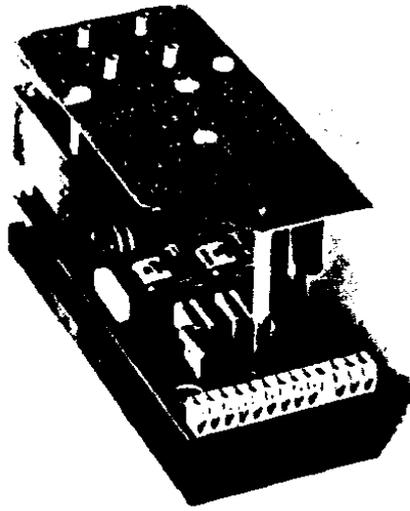


Bild 10 Modul für Drucktaster-Fernsteuerung

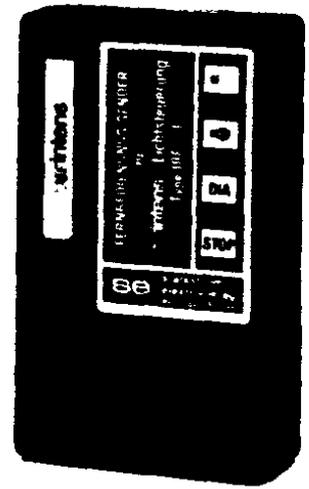


Bild 12 Infrarotbefehlsgeber mit 4 Taster-Befehlen

sungen, wie beispielsweise der Kennlinie der Ausgangsspannung an die Lampen - Glühlampen, Leuchtstoffröhren, HS-Neonlicht, eventuell Speziallampen wie u. a. Niederdruck-(Hg-)Halogenlampen - und die zu fordernde Linearität, das heisst Gleichmässigkeit, der Helligkeitsänderung bezüglich der Stellglied- oder Steuerungsspannung, wie die Kurven nach Bild 7 und 8 als Beispiel zeigen. Jene nach Bild 8 ist insbesondere für Leuchtstofflampen erforderlich. Ein Weiteres ist die Stabilität der eingestellten Helligkeit bei Netzspannungsschwankungen. Veränderungen der letztgenannten um beispielsweise 10% bei 220 V ergeben 22 V. Diese würden betragsmässig voll auf die eingestellte Lampenspannung durchgehen.

(Annahme: eingestellte Lampenspannung = $70\text{ V} \pm 22\text{ V}$ = Schwankungsbreite: 48... 92 V.)

Bei Steuerung mittels Drucktasten muss auch die Laufzeit zwischen maximal HELL bis minimal DUNKEL und umgekehrt einstellbar sein (Normalfall = ca. 1:10). Schliesslich gibt es noch eine ganze Reihe von Anforderungen, wie Umgehung der Elektronik, feste oder zu- und abschaltbare Leistungsfaktorkompensation, Zusammenschaltung mehrerer Steuerungen auf eine oder wählbare Steuerstellen (u. a. bei aufteilbaren Räumen), Putzlichteinstellungen, Filter zur Vermeidung des Flackerns wegen Rundsteuersignalen und vieles mehr.

Eine Darstellung all der vorkommenden Forderungen lässt sich im Rahmen dieses Aufsatzes gar nicht beschreiben. Firmenschriften über das «Varintens»-System gehen hier einlässlich darauf ein [7], ebenso wie eine wissenschaftliche Arbeit über die immer häufiger erwünschte automatische Anpassung der Innenraumbeleuchtung an das herrschende Tageslicht [8].

Mit Modulen (Bausteinen) lassen sich nunmehr aber Geräte und Anlagen von beliebiger Leistung und für nahezu alle Zwecke zusammenbauen. Als Leistungsmodule stehen solche von 10 bis 50 A in 5 Abstufungen in nur 3 verschiedenen Abmessungsgrössen zur Verfügung. Jedes

einzelne dieser Module besitzt nun ausserdem für sich und seinen Nennstrom entsprechende Filter, sowohl gegen hoch- und tieffrequente Störungen wie auch z. T. gegen tonfrequente Rundsteuersignale, und die notwendige geringe «Grundlast» (s. Abs. 3).

Ausserdem enthält jedes Modul die in der Kurve auf Bild 7 gezeigte Spannungsstabilisierung, seine eigene (autonome) Steuerstromquelle und besitzt die in Abs. 2a und 2b genannten patentierten Eigenschaften (s. auch Bild 1).

Bild 9 zeigt ein Modul für 10 bzw. 16 A Nennstrom, währenddem Bild 10 ein masslich gleiches Modul für die elektronische Drucktasten-Fernsteuerung zeigt. Es ist dies, grob gesagt, eine Art eines motorgetriebenen Stellpotentiometers.

Eine Drucktaster-Bedienungsstelle zeigt - als Beispiel von vielen - Bild 11.

Weitere Module von gleichen Abmessungen ($70 \times 190\text{ mm}$ Grundfläche, 120 mm Einbautiefe) gibt es u. a. auch als *Befehlsgeber*, beispielsweise für:

- die Zu- und Abschaltung von Leistungsfaktor-Kompensationskondensatoren,
- die Abschaltung der Helligkeitssteuerung und Umschaltung auf Direktspeisung der Beleuchtungsanlage aus dem Netz, z. B. beim Erreichen der maximalen Helligkeit,
- das automatische Einschalten der «Avi-Beleuchtung» beim Unterschreiten

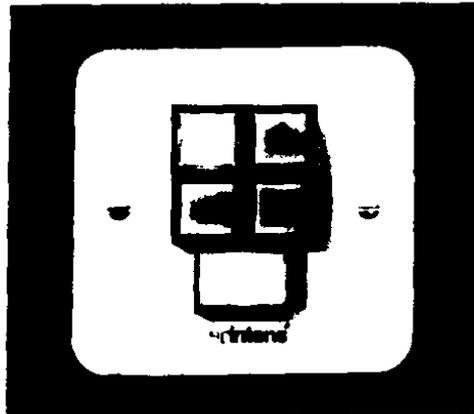


Bild 11 Drucktaster-Bedienungsstelle mit 5 Tasten

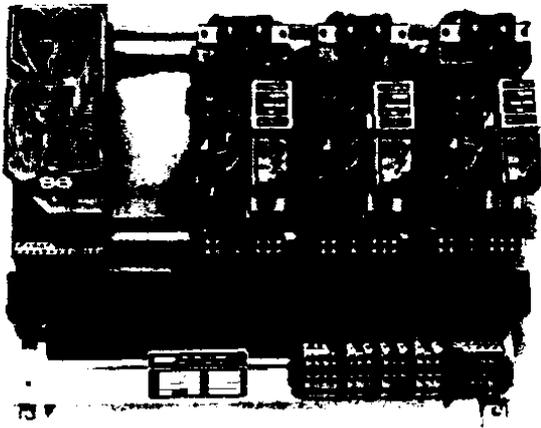


Bild 13 Einbausteuergeschalt $3 \times 3,5$ kVA für Drucktaster-Fernsteuerung.

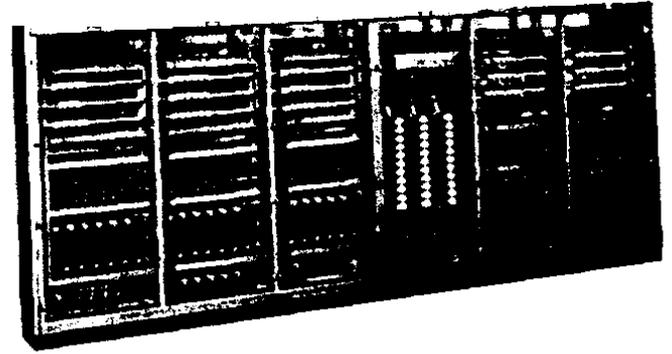


Bild 14 Steuerungsanlage für 211 kVA, enthaltend verschiedene Steuergeräte.

einer voreinstellbaren, niedrigen Beleuchtungsstärke im Raum.

Als Befehlsspeicher für

– vier unterschiedliche, einstellbare Helligkeitswerte für Diaprojektionen oder andere Zwecke, z. B. in Ball- oder Kongresssälen usw.

Als Langzeitsteller für Drucktasterbefehle mit

– einstellbaren Laufzeiten im Verhältnis bis 1:1000, z. B. 5–5000s oder 10:10000s, was eine Verstellzeit nach Tastendruck oder nach einem elektrischen Signal von bis zu 2½ Stunden ergibt. Dies gilt sowohl von HELL nach DUNKEL wie umgekehrt. In Tierversuchslaboratorien kann damit die Tageslichtdauer künstlich und nach Belieben simuliert werden. Auch in Astronautentrainingszentren werden solche Apparate verwendet.

Infrarotempfänger gibt es ferner für die drahtlose Fernsteuerung mit einem tragbaren Infrarotsender mit vier und mehr Kanälen (ähnlich wie bei TV-Geräten). Bild 12 zeigt einen handlichen Befehlsgeber für 4 Befehle, die Reichweite beträgt etwa 25 m.

Alle diese nicht vollständig aufgezählten Zusatzmodule sind im «Varintens»-System zu- oder ausschaltbar, so dass Geräte und Anlagen mit solchen Zusatzausrüstungen für die unterschiedlichsten Betriebsarten benützbar werden.

Alle diese Module sind φ_{nom} , ihre

Kennlinie (Bilder 7 + 8) ist mit kleinen Trimm-Potis einstellbar und sind z. B. in Störfällen leicht austauschbar. Ausserdem ist das Spannungs-niveau stets gleich; es ist eine niedrige Gleichspannung, und der Steuerstrom liegt in der Grössenordnung unter 1 mA. Die Steuerleitungen können als Kleinspannungsleiter (Telefonniveau) verlegt werden und benötigen keinerlei Abschirmung.

Aus all dem Gesagten ergibt sich eine strenge Norm, so dass alle Module, auftragsunabhängig, in Serien auf Vorrat gefertigt werden können. Damit ergibt sich eine rationelle Herstellung, eine verhältnismässig kurze Lieferzeit von individuellen Apparaten und eine stete Ersatzbereitschaft.

Ein mit solchen Modulen gefertigtes betriebsbereites Gerät für $3 \times 380/220$ V (3P+0+E) von $3 \times 3,5$ kVA = 10,5 kVA (für 111 Leuchtstofflampen à 36 W / Ø 26 mm oder 40 W / Ø 38 mm) für Drucktasterfernsteuerung auf einem Einbaurost von nur 335 x 375 mm bei 150 mm Tiefe zeigt Bild 13.

Bild 14 zeigt eine grössere Anlage, mit denselben Modulen gefertigt, jedoch für eine Leistung von 211 kVA, aufgeteilt in 60 Module zu je 16 A, was einem Nennstrom von 3×320 A bei $3 \times 380/220$ V entspricht. Diese Anlage vermöchte insgesamt 2232 Leuchtstofflampen à 36 oder 40 W gleichlaufend synchron zu steuern.

Sie wurde für ein Casino mit vielen verschiedenen Räumen und unterschiedlichen Lampen wie auch vielen und ungleichen Steuerungsarten geliefert und ist zur Aufstellung in einem zentralen elektrischen Betriebsraum bestimmt. Die notwendigen, teilweise sehr langen Steuerleitungen sind ohne Abschirmungen und zusätzliche Verstärker verlegt und weder gegenseitig noch von aussen beeinflusst. Ebenso wenig sind dabei zusätzliche Steuerstromquellen nötig dank der Autonomie der einzelnen Module.

6.1 Geräte für kleinere Leistungen

Will ein Hersteller von Helligkeitssteuerungen erfolgreich sein, kann er sich nicht darauf beschränken, nur solche für Leuchtstofflampen herzustellen, wie dies im bisherigen schon bemerkt wurde. Er muss somit auch Geräte und Anlagen bauen, die weitergehende Ansprüche erfüllen.

Die Firma starkstrom-elektronik AG entwickelt und baut daher nicht nur das schon wiederholt genannte «Varintens»-System, sondern bietet für einfachere Bedürfnisse auch die Reihe «K» an, die pro Stromkreis für 6 A/1,3 kVA ausgelegt ist und dem Schalttafelbauer wie auch dem Elektroinstallateur gestattet, Steuerungen damit selbst zu konzipieren und anzuwenden. Diese Reihe besteht aus dem sogenannten «Kleinregler K6S» und der Fernsteuerung «KFE», die auf 35-mm-

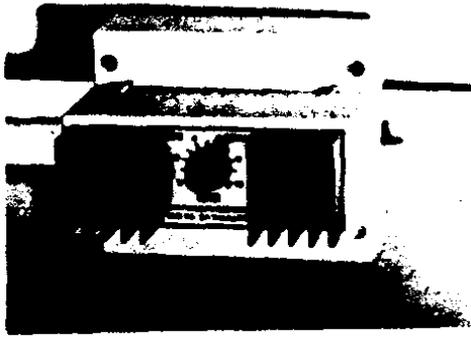


Bild 15 Kleinregler K6S, 1,3 kVA, aufschraubbar auf DIN-Schiene.

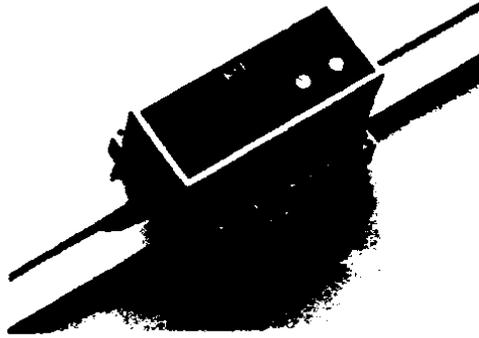


Bild 16 Kleinfenstersteuerung KFE, aufschraubbar auf DIN-Schiene.

Normschielen (DIN 50022) aufschraubbar sind und durch einfache Verdrahtung untereinander anwendbar sind. Bild 15 zeigt den Regler, und Bild 16 die genannte Fenstersteuerung. Diese Reihe «K» entspricht in ihren Eigenschaften im wesentlichen den beschriebenen Modulen und kann sowohl für Leuchtstoff- als auch für Glühlampen benutzt werden. Die entsprechenden Firmenschriften geben darüber alle erforderlichen Auskünfte [9].

6.2 Geräte für Fernsehstudios und Theaterbühnen

Daneben muss der Hersteller auch Anlagen bauen und liefern können, zum Beispiel für Fernsehstudios und Theaterbühnen, wo andere, höhere Ansprüche gestellt werden. Hierfür wurde das Einschubsy-

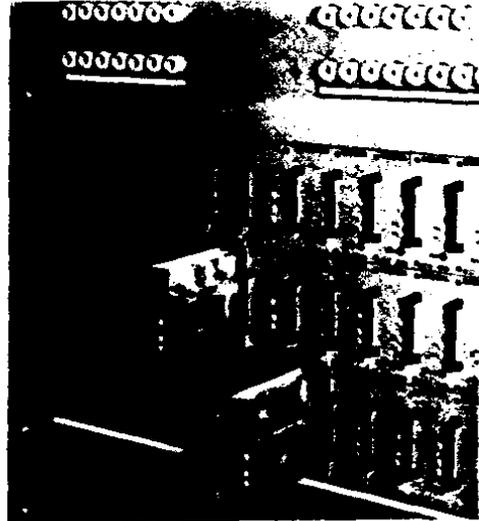


Bild 17 Schrank mit «E»-Einschüben, vollisolierte Frontseite.

stem der Reihe «E» entwickelt. Obschon dies nicht Thema des Aufsatzes ist, sei doch kurz darauf hingewiesen und auch vermerkt, dass es auch für andere Anwendungen eingesetzt werden kann. Diese Einschübe «E» sind grundsätzlich «vollisoliert», die Frontplatte besteht aus hochisolierendem Kunststoff, und sie sind in 19"-Racks steckbar, so dass dadurch in entsprechenden Schränken eine isolierte Frontseite (Bild 17) entsteht.

Die Einschübe gibt es in 4 elektrischen Größen von 2,2 (2,5) bis 11 kW, sie sind je nach Erfordernis 72 mm oder 40,5 mm breit. In ihren Eigenschaften sind sie entweder für Glühlampen oder für Leuchtstoffröhren konzipiert. Da beim Fernsehen und für Theaterbühnen zumeist Glühlampen verwendet wird, haben die dazu verwendeten Einschübe von den zuvor beschriebenen Modulen abweichende Eigenschaften, indem nämlich

a) die Lampenspannung auf den eingestellten Wert konstant geregelt wird (Bild 18) und

b) die Steuerkennlinie, wie in Bild 19 gezeigt, weitgehend einstellbar ist.

Abmessungsgleiche Einschübe sind für Leuchtstofflampen auch mit den früher beschriebenen Eigenschaften lieferbar.

Das Niveau des Steuersignals ist aber in allen Fällen (ausser bei Sonderwünschen) das gleiche. Die Steuerung solcher in der Regel grossen Anlagen erfolgt dann meistens ab Steuerpulten, die wegen der vie-

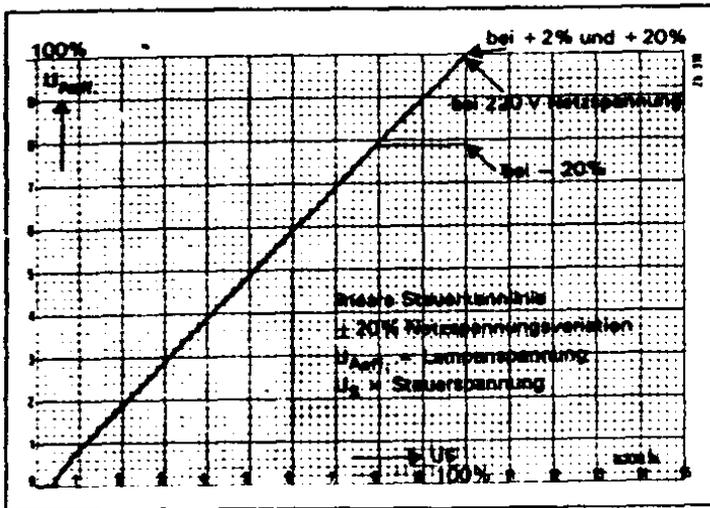


Bild 18 Geregelte Ausgangsspannung $U_A = f(U_{Si})$

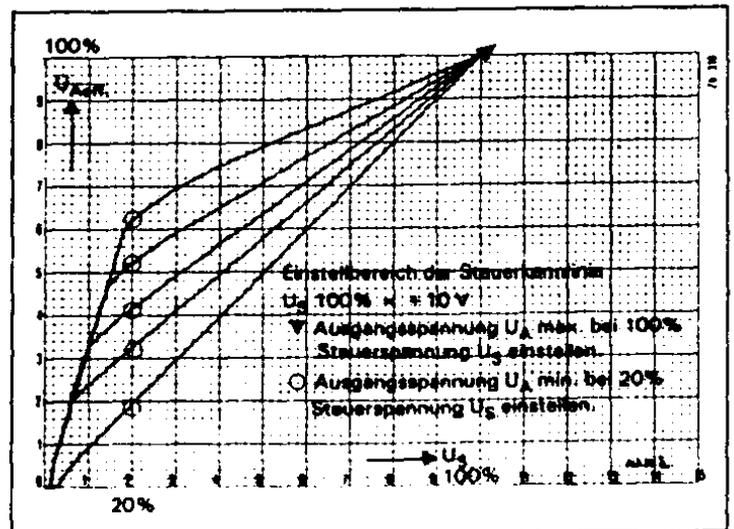


Bild 19 Einstellbare Steuerkennlinie $U_A = f(U_{Si})$

len zu steuernden Stromkreise zunehmend und heute fast immer, rechner- und speichergestützt sind. (Es gibt speziell dafür entwickelte und hergestellte Computersysteme mit Bildschirm-Displays und Druckern, wie sie heute allgemein bekannt sind; z. B. «Varintens-redondo», «Varintens-memory» usw.)

7. Planungshinweise

Bei der Planung von Lichtsteueranlagen tauchen vorab einige systematische Fragen auf, die geklärt sein müssen. Es sind dies

1. Anwendungszweck; Anforderungen (Saalbeleuchtung, Tageslichtabhängigkeit usw.)
2. Lastteilart (Module, Kleinregler, Einschubsystem)
3. Anzahl der Lastteile, Nennstrom pro Lastteil (ein- oder mehrphasig)
4. Art der Last (Leuchtstoff-, Glühlampen, andere)
5. Steuerungsart(en)
6. Schaltungsart, -aufbau
7. Bauform (offen, in Gehäuse, in Schrank, dessen Art, Fabrikat usw.)
8. Zusätzliches (z. B. Leistungsfaktorkompensation)

Für den Elektroplaner bzw. den Installateur gibt es ein mehrseitiges Falblatt, das diesen die Arbeit erleichtert [10].

Für den Elektroplaner stehen ausserdem vorbereitete Ausschreibungstexte zur Verfügung, die ihm die Durchführung von Submissionen erleichtern [11]. Diese erleichtern ihm und dem Bauherrn bzw. dem Architekten den Vergleich der eingeholten Angebote.

8. Installation und Montage

Spätestens mit der Lieferung werden «Anschlussvorschriften» [4], wie bereits unter

Abs. 3 benannt, mitgegeben. Vielleicht ist es unnötig, aber es sei vorab doch darauf hingewiesen, dass in allen Fällen die allgemeinen Installationsvorschriften (HV in der Schweiz, VDE in der BRD) genau zu befolgen sind. Ganz besonders aber sei wiederholt, dass Niederspannungsleitungen, also Steuerleitungen, generell nicht mit Starkstromleitungen gemeinsam oder gar im gleichen Rohr verlegt werden dürfen. Für «Varintens»-Geräte und -Anlagen sind die Steuerleitungen nicht abzuschirmen, die übliche Art der Verlegung (wie bei Telefonleitungen) genügt. Abzuklären sind in der Regel die Bewilligungsordnungen des Elektrizitätswerkes hinsichtlich des Oberwellengehalts der Speiseleitung und damit im Zusammenhang die Kurzschlussleistung vor Ort. Gegebenenfalls stehen die Spezialisten des Anlagenlieferanten zu Auskünften und u. U. zur Mithilfe bei Verhandlungen zur Verfügung. An Anlageorten, wo Mikrofon- und Musikanlagen vorgesehen oder vorhanden sind, ist darauf zu achten, dass diese ihrerseits ein Mindestmass von üblichen Eingangsfiltren enthalten; jedenfalls aber soll darauf geachtet werden, dass die Erdung solcher Anlagen nur an einem gemeinsamen Punkt erfolgt, damit sich zwischen mehreren Erdungspunkten keine «Empfangsantennen» für Störfrequenzen bilden können. Bei Beleuchtungsanlagen mit Hochspannungs-Neonlicht- oder Niederspannungslampen muss geklärt werden, ob die vorgesehenen Lichtsteuergeräte eine absolut symmetrische Ausgangsspannung liefern. Bei «Varintens»-Geräten ist dies unbedingt und ohne spezielle Rückfrage stets der Fall. Falls diese Symmetrie nicht gegeben oder ungewiss ist, muss mit der Beschädigung der Transformatoren und des Lichtsteuergerätes gerechnet werden. Bei rotem Hochspannungs-Neonlicht muss der Lieferant über die geplante Helligkeitssteuerung infor-

miert werden, damit er Massnahmen in bezug auf die Gasfüllung treffen kann.

Wo dies fehlt, neigen gesteuerte rote Neonröhren zum Flackern. Bei gewissen Lichtsteuergeräten sind spezielle, sogenannte ultraflinke Vorsicherungen erforderlich. «Varintens»-Geräte dagegen begnügen sich mit ordentlichen, flinken Sicherungen oder auch den üblichen Leitungsschutzautomaten von entsprechendem Nennstrom.

Literatur:

- [1] Lohrmann, «Aufbau der FL-Röhren», Aarau, Elektrotechnik, Heft 4/1986, S. 55-58.
«Leuchtstoffe und Röhrentypen», idem, Heft 5/1986, S. 51-54.
«Fluoreszenz-(Leuchtstoff-)Röhren», idem, Heft 6/1986, S. 41-44.
- [2] H. R. Rü, «Elektrische Installationen und Apparate», Aarau 1985, Kap. 14.4.3.2-14.4.3.3.
- [3] Schweiz. Pat. Nr. 620 562; BRD Nr. P 28 31 336.2; Österreich Nr. 375002 u. a. Länder. «Varintens» ist ein markenrechtlich geschützter Name der Firma starkstrom-elektronik AG, CH-5430 Wetztingen (Schweiz)
- [4] Anschlussvorschrift für «Varintens»-Lichtsteuergeräte (Ref.-Nr. 11009d).
- [5] Europäische Patentanmeldung: EP 0 165 893 A2.
- [6] Philips, Technisches Handbuch «Hochfrequenz-Electronic-Beleuchtungssystem».
- [6a] «Elektroplan», Supplement in Zeitschrift «elektrobörse», Heft Nr. 4/1986.
- [7] starkstrom-elektronik AG, «Elektronische Lichtsteuerungen», Firmenschriften Nr. 11198a und 11288.
- [8] Guekos, Scheitlin und Weber, «Über die potentielle Energieeinsparung durch automatische fotoelektrische Beleuchtungsregelung»; Zürich, Bulletin SEV Nr. 13/1979, S. 694-698.
- [9] starkstrom-elektronik AG, «Lichtregler K 6 S» und «Datenblatt KFE», Firmenschriften Nr. 11262 und 11306.
- [10] «Varintens; Die Planung von Lichtsteuerungen» starkstrom-elektronik AG, Wetztingen, Ref.-Nr. 11288.
- [11] «Ausschreibungstext» Leistungsverzeichnis für Lichtsteuergeräte, starkstrom-elektronik AG, Wetztingen, Ref.-Nr. 11177, S. 1-2.

L. Häfliger, Ing., 5430 Wetztingen