
1 Einleitung

1.1 Thematische Einführung

Leuchtstofflampen werden seit über 60 Jahren zur Erzeugung von künstlichem Licht verwendet. Weltweit erzeugen Leuchtstofflampen heutzutage bis zu 70 Prozent des Kunstlichtbedarfs. Ihr Einsatzgebiet erstreckt sich über viele Bereiche wie Büros, Krankenhäuser, Industrie und Straßen. Kompakt- und Leuchtstofflampen müssen mit Vorschaltgeräten betrieben werden, da der Prozess der Gasentladung einen stabilisierten Lampenstrom benötigt. Das Vorschaltgerät ist für das Vorheizen der Lampenelektroden, die Bereitstellung einer ausreichenden Zündspannung sowie das Begrenzen des Lampenstroms verantwortlich. Anfangs wurden diese Grundfunktionen mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) realisiert. Seit den frühen Siebzigern wurden die Vorteile der Schaltnetzteile auch in der Beleuchtungstechnik eingesetzt. Diese Entwicklung führte zum Betrieb von Entladungslampen mittels elektronisch betriebener Vorschaltgeräte (EVG). Diese Ausführung hat viele Vorteile, eine längere Lampenlebensdauer, die Erzeugung eines flackerfreien Lichts und eine größere Lichtausbeute des Systems. Die EVGs bestehen aus analogen Bauelementen und erzeugen mittels einer hochfrequenten Stromsteuerung ein angenehmes und gesundes Licht, das ein ermüdungsfreies und konzentriertes Arbeiten über einen längeren Zeitraum zulässt. Der Nachteil analoger EVG ist vor allem die notwendige Anpassung des Vorschaltgerätes an die zu betreibende Lampe.

1.2 Stand der Technik

In den vergangenen Jahren haben zwei Entwicklungen der Beleuchtungstechnik das heutige elektronische Vorschaltgerät geprägt. Zum einen macht der Einzug von neuen digitalen Gebäudemanagementsystemen für Entladungslampen (EIB-BUS, LON, DALI,...) die Weiterentwicklung dezentra-

ler Verbraucher wie elektronische Vorschaltgeräte erforderlich. Insbesondere verlangen die seriellen digitalen Protokolle den Einsatz von Mikroprozessoren und Mikrocontrollern. Zum zweiten ist eine weite Verbreitung von neuen, besseren und energieeffizienteren Lampensystemen wie T5-Lampen zu verzeichnen. Dies hat zur Folge, dass auch die Anzahl der verschiedenen EVG-Typen dementsprechend gewachsen ist. Um diese große Anzahl an EVG-Typen zu reduzieren, haben EVG-Hersteller eine neue Richtung eingeschlagen: Eine einheitliche EVG-Entwicklung für Lampen unterschiedlicher Leistungen bei optimalem Betrieb durch neue integrierte Schaltungen. Der Fortschritt in der Halbleitertechnologie unterstützt diese Entwicklung und löst die analoge Lampenansteuerung durch eine digitale Ansteuerung ab. Der Einsatz von digitalen Prozessoren eröffnet weitere neue Anwendungsbereiche in der Beleuchtungstechnik.

1.3 Zielsetzung

In dieser Arbeit wird ein hochintegriertes, digitales elektronisches Vorschaltgerät (EVG) für Leuchtstofflampen, eine neue Generation smarter EVG vorgestellt. Neue fortschrittliche digitale Funktionen zur Steuerung und Regelung eines EVGs für Entladungslampen werden untersucht und in nur einen Prozessor integriert. Das digitale EVG bietet viele Vorteile und eröffnet neue Anwendungsbereiche im Vergleich zu den herkömmlichen, analogen EVGs. Aufwendige externe Peripherie und die damit verbundenen Herstellungskosten können eingespart werden. Es besteht die Möglichkeit neue Funktionen zu integrieren, die analog nicht lösbar oder nur mit einem erheblichen Bauteilaufwand realisierbar sind. Die charakteristischen Merkmale des zukünftigen EVGs sind Bedienungs- und Wartungsfreundlichkeit, Flexibilität, Wirtschaftlichkeit, Kostenreduktion, Sicherheit und Komfort. Das **Kapitel 2** führt in die Lampencharakteristik der T5-Lampen sowie in die Entwicklungsrichtung der heutigen EVG. Hier werden die grundlegenden EVG-Funktionen und deren Realisierung erläutert sowie der Übergang zum digital gesteuerten EVG aufgezeigt. In dem anschließenden **Kapitel 3** wird das smarte, digitale EVG vorgestellt. Insbesondere werden die möglichen digitalen Funktionen zur Steuerung und Regelung eines EVGs für Entladungslampen und die daraus resultierenden Vorteile und neuen Anwendungsbereiche dargestellt. Die grundlegenden digitalen Funktionen wie Vorheizung, Zündung und Lampendim-

mung sowie die Überwachung von kritischen Betriebszuständen werden beschrieben. Da eine stabile und genaue Messwerterfassung die Grundvoraussetzung für einen stabilen Lampendimmbetrieb ist, werden in dem **Kapitel 4** zwei digitale Methoden der Lampenwirkleistungserfassung beschrieben. Insbesondere werden die auftretenden Messunsicherheiten, hervorgerufen durch die digitale Erfassung, numerisch behandelt.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Entwicklung und Implementierung von neuen fortschrittlichen EVG Funktionen, welche es auf dem Markt in dieser Form noch nicht gibt. Einführend hierzu werden die theoretischen Grundlagen der Wendeln und die Notwendigkeit der thermischen Emission in dem **Kapitel 5** dargelegt. Im anschließendem **Kapitel 6** wird die Entwicklung einer digitalen Wendelwiderstandserfassung vorgestellt, mit deren Hilfe alle T5-Wendeltypen erkannt und optimal vorgeheizt werden können. Diese Funktion ist das Fundament für die im folgenden **Kapitel 7** beschriebene digitale Lampenerkennung. Mit dieser Funktion werden die verschiedenen T5-Lampentypen erkannt und können auf 1% ...100% des Lichtstroms gedimmt betrieben werden. Eine weitere neue Funktion, welche den auf die Lampenwirkleistung geregelten Dimmbetrieb auf eine digitale Lichtstromregelung erweitert, wird in dem **Kapitel 8** erläutert. Diese temperaturunabhängige Lichtstromregelung arbeitet ohne die Verwendung von externen Sensoren. Alle vorgestellten Funktionen sind in einen Mikrocontroller integrierbar. Die notwendige Abstimmung der einzelnen Funktionen aufeinander und die teilweise notwendigen Funktionsvereinfachungen werden in dem **Kapitel 9** diskutiert. Hierbei wird auch das resultierende Mikrocontroller-Profil vorgestellt.

2 Grundlagen

2.1 Fundamentalprozesse der Lichterzeugung

2.1.1 Lichterzeugung mit Leuchtstofflampen

Eine Gasentladung erzeugt ein elektrisch angeregtes Plasma. Das Plasma ist ein Gemisch aus Neutralteilchen, Ionen und Elektronen in verschiedenen Anregungszuständen mit starker Wechselwirkung zueinander sowie vom Plasma selbst erzeugten Photonen [Heinz2004]. Die elektrisch beheizten Wendeln, beschrieben in Kapitel 5.1.1, emittieren Elektronen. Mit

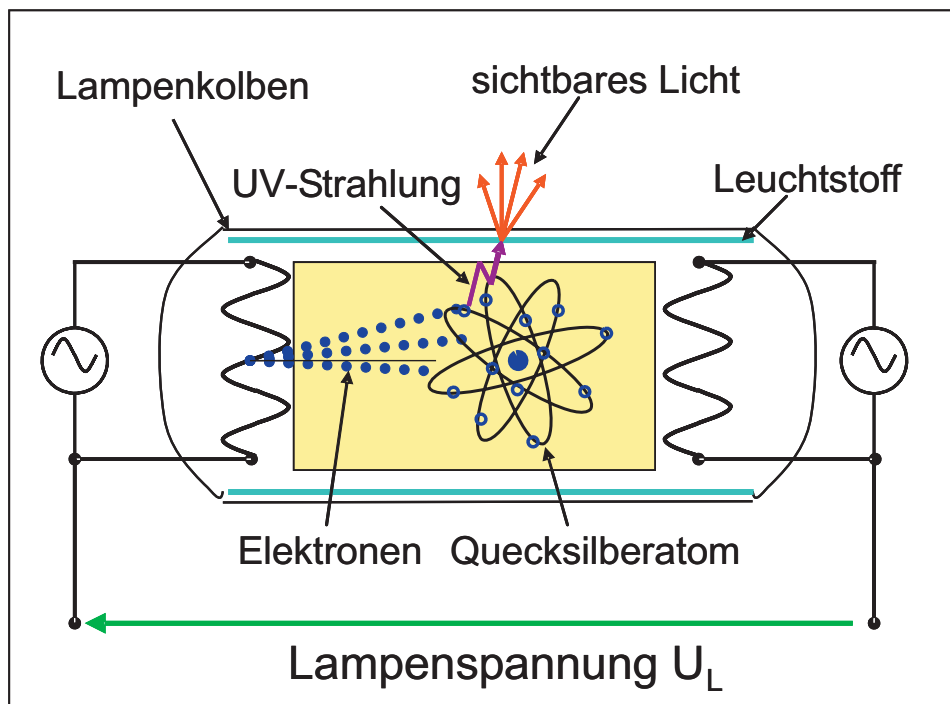


Abbildung 2.1: Lichterzeugung in einer Entladungslampe [Heinz2004]

Hilfe einer von außen angelegten elektrischen Spannung U_L werden Elektronen so hoch beschleunigt, dass ihre Energie sowohl zur elektrischen Anregung des Gases als auch zu dessen Ionisierung ausreicht (siehe Bild 2.1).

Das Gas ist leitfähig geworden und es entsteht eine selbstständige Entladung, in der die Elektronen lawinenartig vermehrt werden und wiederum neue Gasatome anregen und ionisieren. Ab einer bestimmten Stromstärke wird eine stationäre Entladung mit heißen Elektroden, auch Bogenentladung genannt, erreicht. Auf der Kathode bildet sich hierbei im Bogenansatz ein Brennfleck aus, in dem die notwendige Emissions-Temperatur von 700°C bis 800°C erreicht wird. In diesem Punkt können aufgrund der thermischen Emission genügend Elektronen austreten [Sturm1992]. Die übrige Wendel wird nicht so stark erhitzt und entwickelt im stationären Zustand ein thermisches Gleichgewicht. In der Niederdruck-Gasentladung wird die UV-Strahlung durch die Anregung von Quecksilberatomen erzeugt. Leuchtstoffe sind an der Innenwand der Entladungslampe aufgebracht und wandeln die UV-Strahlung in sichtbares Licht um.

2.1.2 Merkmale der Zündung

Das Ziel ist möglichst schnell die stationäre Form der Entladung zu erreichen. In diesem Zustand werden die Wendeln am wenigsten geschädigt, da die Elektronen überwiegend durch die thermische Emission erzeugt werden. Bis zur Entstehung der angestrebten Bogenentladung durchläuft die Lampe während der Zündung einen wendelschädigenden Prozess, der möglichst minimal gehalten werden sollte, um die Lampenlebensdauer zu erhöhen. Hierzu werden die Wendeln vor der Zündung vorgeheizt, um möglichst die Elektronen aus der Kathode mittels der thermischen Emission zu befreien. Die hierzu notwendige Heizenergie ist abhängig vom Wendeltyp und in den Datenblättern festgelegt. Nach der Heizphase, welche zwischen 400ms und 2s dauert, wird eine hohe Spannung an die Lampe angelegt. Diese Zündspannung beträgt ein Vielfaches der Lampenbetriebsspannung. Das Gas wird leitfähig und die Eigenionisation vermehrt sich lawinenartig. Es beginnt ein elektrischer Strom durch die Gasstrecke zu fließen und die angelegte Zündspannung bricht zusammen. Bei ungenügender Vorheizung der Wendeln entsteht nun die schädigende Glimmphase, da die thermische Elektronenemission den Lampenstrom nicht aufrecht erhalten kann. Der größte Teil der Elektronen muss durch einen Ionenbeschuss aus den Wendeln ausgelöst werden. Hierzu ist ein hohes Feld vor der Kathode erforderlich. Die zugeordnete Kathodenfallspannung kann bis zu 200V betragen. Das Bild 2.2 zeigt den zeitlichen Verlauf von Lampenstrom und Lampenspannung während eines Lampenstarts mit ungenügender Vorhei-

zung. Nach dem Zünden ist die schädigende Glimmentladung vorhanden, die erst nach 60ms überwunden ist. Werden genügend Elektronen mittels der thermischen Emission befreit, sinkt die Kathodenfallspannung auf etwa 10V und es stellt sich eine Bogenentladung ein. Zur Wendelschonung sollte die Glimmphase möglichst kurz sein oder vollständig vermieden werden. Dieses ist nur durch eine optimale Vorheizung der Wendeln vor dem Zünden möglich.

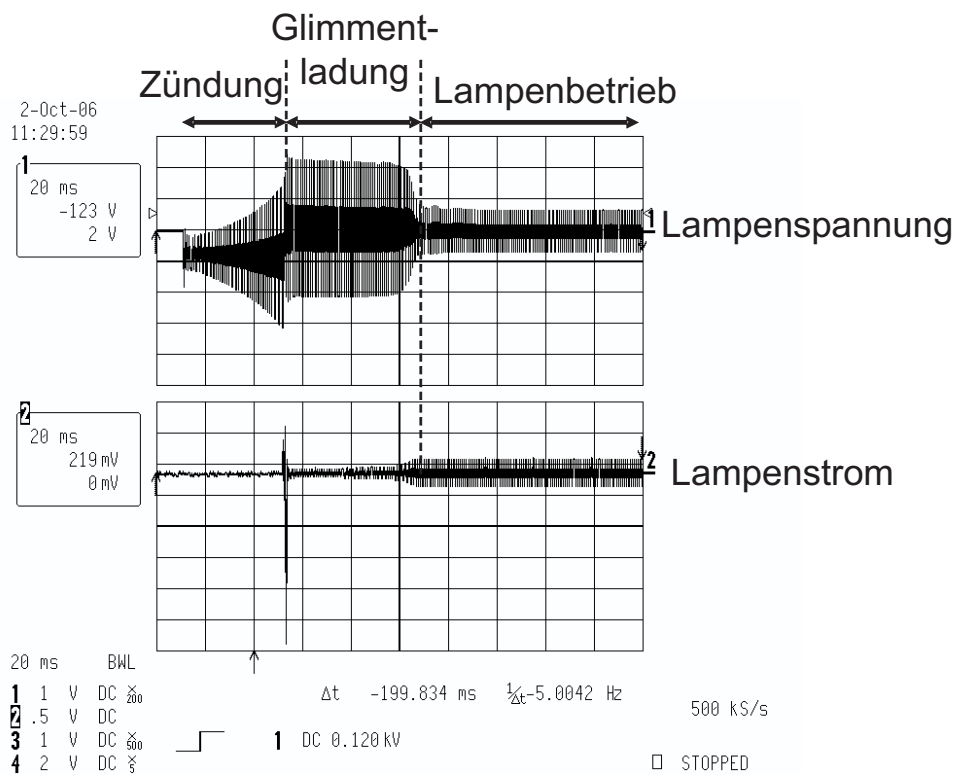


Abbildung 2.2: Lampenzündung mit wendelschädigender Glimmentladung

2.2 Eigenschaften der T5-Lampen

Die moderne T5-Lampe wurde 1997 in den Markt eingeführt und ist in den Lampenreihen 14W - 35 W als High Efficiency (FH oder HE) und 24W bis 80W als High Output (FQ oder HO) Typ erhältlich. Diese Niederdruckentladungslampe hat einen Kolbenrohrdurchmesser von 16mm und ist um 50mm kürzer als die vorherige T8-Lampen-Generation mit einem Kolbendurchmesser von 26 mm. Somit hat sich das Kolbenvolumen fast um die