

Elektronischer Starter für Fluoreszenzröhren

trägt zur Reduktion von Sondermüll bei

Durch den Einsatz von elektronischen Startern bei Fluoreszenzröhren kann die Lebensdauer der Röhre deutlich verlängert werden. Die Folge davon ist, dass weniger Röhren ersetzt werden müssen. Das reduziert Unterhaltskosten und den mit den ausgebrannten Röhren anfallenden Sondermüll um bis zu 80%. Ein elektronischer Starter braucht nicht ersetzt zu werden, wie dies bei Glimmstartern üblich ist und kann daher grundsätzlich ins Vorschaltgerät integriert werden. Wenn der elektronische Starter, im Gegensatz zum Glimmstarter, nach erfolglosem Startversuch bei ausgebrannter Röhre den Stromkreis unterbricht, können weitere Unterhaltskosten gespart werden, da in diesem Fall eine defekte Röhre nicht sofort ausgetauscht zu werden braucht, sondern dies zu einem späteren, günstigeren Zeitpunkt vorgenommen werden kann. Elektronische Starter sorgen für einen flackerfreien Start, was bei vielen Einsatzorten als sehr angenehm empfunden wird. Allerdings liegt dessen Preis weit über dem eines handelsüblichen Glimmstarters. Dies wird aber schon nach dem ersten Röhrenwechsel wettgemacht. Der in diesem Bericht vorgestellte, patentrechtlich geschützte, elektronische Starter ist als erster universell einsetzbar, mit vorgeschriebenem Störschutzkondensator ausgerüstet und zu einem vernünftigen Preis herstellbar.

Wie eine Fluoreszenzröhre Licht erzeugt

Die Warmkathoden-Fluoreszenzröhre besteht aus einem Glasrohr, an dessen Enden jeweils eine Elektrode in Form eines Glühwendels angebracht ist, wie in Fig. 1 dargestellt. Das Rohr ist vakuumdicht verschlossen und mit einem Edelgas bei sehr niedrigem Druck gefüllt, mit Krypton bei Röhren

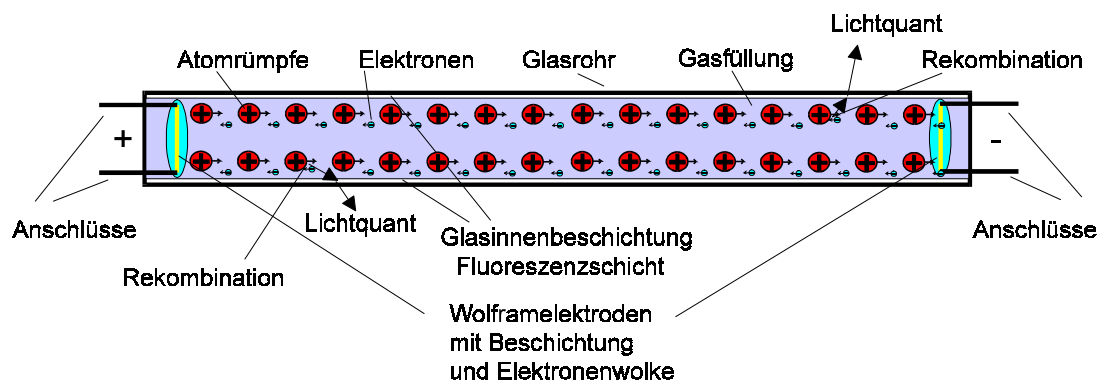


Fig. 1: Aufbau einer Fluoreszenzröhre mit Gas im ionisierten Zustand

mit 26 mm Durchmesser und Argon bei solchen mit 38 mm Durchmesser. Die Glühwendel bestehen aus Wolframdraht, die mit einer speziellen Schicht versehen sind zur besseren Elektronenemission bei entsprechender Temperatur. Bei Anlegen einer genügend grossen elektrischen Spannung an die beiden erhitzten Glühwendel entsteht ein elektrisches Feld im Glasrohr, das die Gassäule ionisiert. Den Gasatomen wird dabei jeweils ein Elektron entrissen, so dass eine grosse Zahl von einzelnen Elektronen (blaue Kreisflächen in Fig. 1) und positiv geladenen Atomrümpfen (rote Kreisflächen in Fig. 1) vorliegt. In diesem Zustand kann das Gas, das unter normalen Bedingungen ein Isolator ist, einen elektrischen Strom leiten. Die negativ geladenen Elektronen werden sich in Richtung positiver Elektrode bewegen und die positiv geladenen Atomrümpfe in Richtung der negativen. Diese Ionisation bleibt aufrechterhalten, solange ein elektrischer Strom fliesst und ein minimaler elektrischer Strom durch die Gassäule nicht unterschritten wird. Würden die Elektronen und die Atomrümpfe immer schön getrennt bleiben, so würde sich, ausser dass ein elektrischer Strom fliesst, nichts in der Röhre ereignen. In Wirklichkeit ist diese Ionisation aber nicht ein statischer Zustand, sondern es finden laufend Rekombinationen und Ionisationen statt. Bei der Ionisation wird dem im Inneren der Röhre vorhandene elektrischen Feld Energie entzogen, die von Aussen in Form von elektrischer Energie zugeführt wird, während bei der Rekombination ein Lichtquant emittiert wird. In der Regel handelt es sich dabei nicht um sichtbares Licht, sondern um nicht sichtbare ultraviolette Strahlung. Deshalb ist die Innenseite des Glasrohres mit einem fluoreszierenden weissen Pulver beschichtet, das ultraviolettes Licht in sichtbares Licht umwandelt, siehe dazu Fig. 2. Daher auch der Name dieser Lichtquelle. Fluoreszenzröhren haben einen hohen Wirkungsgrad mit gutem Lichtspektrum und sind deshalb weit verbreitet, besonders an jenen Orten, wo helles Licht gefordert ist, wie bei Arbeitsplätzen aller Art.

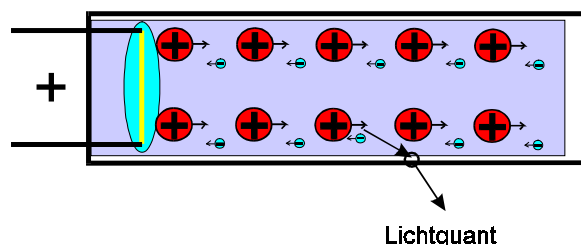


Fig. 2: Lichtemission einer Fluoreszenzröhre an der Fluoreszenzschicht:
vom ultravioletten in sichtbares Licht

Die Inbetriebnahme der Röhre erfolgt in Stufen

Leider lässt sich eine Gasentladungslampe, wie die Fluoreszenzröhre, nicht einfach an eine Spannungsquelle anschliessen, um sie zum Leuchten zu bringen, wie das etwa bei einer Glühlampe der Fall ist, sondern es braucht ein paar zusätzliche Massnahmen. Bevor ein Strom durch die Röhre fliesen kann, müssen die Elektroden auf eine Temperatur von ca. 700 °C gebracht werden. Erst dann können

Elektronen in genügender Zahl aus der speziellen Schicht, die auf den Elektroden aufgebracht ist, aus dem Material austreten. Diese Elektronen befinden sich in einer Wolke um die Elektroden herum, wie in Fig. 1 dargestellt. Nachdem die Elektroden aufgeheizt worden sind, muss noch eine hohe Zündspannung zum richtigen Zeitpunkt an die beiden Elektroden in Form eines Spannungsimpulses mit einem Spitzenwert von ca. 1'200V - 1'500V bei einer 58W Röhre mit Kryptongasfüllung angelegt werden. Damit wird die Ionisierung der Gassäule ausgelöst, so dass anschliessend ein elektrischer Strom fließen kann. Hat die Röhre einmal gezündet, so brennt sie nicht kontinuierlich, sondern in Intervallen von jeweils 10ms und wechselnder Intensität, denn bei Wechselstrom mit 50 Hz ist die Speisespannung sinusförmig und eine Halbwelle liegt nur während 10ms an. Jeweils beim Nulldurchgang des Stromes verlöscht die Röhre einen kurzen Moment, wird aber von der nachfolgenden Halbwelle sofort mit ca. 150V wieder gezündet. Es ist also während des Betriebs kein hoher Zündimpuls wie bei der Initialzündung erforderlich. Dieses dauernde Ein- und Ausschalten kann das Auge nicht wahrnehmen. Es kann dadurch aber zu Stoboskopeffekten kommen.

Erfolgt der Zündimpuls zu früh, so dass die Elektroden noch nicht heiss genug sind, fällt das Gas nach dem Zündimpuls wieder in den nichtionisierten Zustand zurück und wird wieder nichtleitend. Die Röhre leuchtet nicht, sie blitzt nur kurz auf. Bei genügend grosser Zündspannung kann die Röhre jedoch trotzdem gezündet werden. Dieses vorzeitige Zünden, auch Kaltstart genannt, führt zu Schäden bei der Elektrodenbeschichtung, die die Lampenlebensdauer etwa um 1.5 Std. pro vorzeitige Zündung verkürzen. Dies ist also extrem schädlich für die Röhre, und sollte vermieden werden.

Da eine Gasentladungslampe eine negative Strom-Spannungskennlinie aufweist, darf sie nicht direkt an die Netzspannung angelegt werden, sondern es muss ein sog. Vorschaltgerät zwischen Netz und Röhre geschaltet werden, das den Strom begrenzt, siehe dazu Fig. 3. Im einfachsten Fall handelt es sich um eine Spule, die symmetrisch (L) oder asymmetrisch (L,L') bewickelt sein kann. Diese Serieschaltung von Spule und Röhre bildet eine komplexe Impedanz, die zu einer erheblichen Phasenverschiebung zwischen angelegter Spannung und hindurchfliessendem Strom führt. Die Elektrizitätswerke schreiben deshalb vor, dass bei grösseren Lichtenanlagen die Phasenverschiebung mit geeigneten Massnahmen zu kompensieren sei. Dies geschieht meistens dadurch, dass man induktive Vorschaltgeräte und sog. kapazitive Vorschaltgeräte, die eine Phasenverschiebung in entgegengesetzter Richtung bezüglich ersteren aufweisen, in entsprechender Menge in einer Lichtenanlage kombiniert. Röhren mit kapazitiven Vorschaltgeräten starten in der Regel schlechter als induktive.

Daneben gibt es eine Reihe anderer Vorschaltgeräte, auf die hier aber wegen ihrem kleinen Marktpotential nicht eingegangen werden soll. Auch rein elektronische Vorschaltgeräte sind seit einiger Zeit im Einsatz. Hier gibt es noch Probleme mit der Zuverlässigkeit und sie sind relativ teuer. Deshalb soll auf diesen Typ hier ebenfalls nicht eingegangen werden.

Unbeliebter Glimmstarter funktioniert wenigstens zuverlässig

Die weiter oben beschriebene Beschaltung allein reicht noch nicht aus, um die Röhre in Betrieb zu setzen. Es wird noch ein Starter benötigt, der dafür sorgt, dass folgende Phasen nach dem Einschalten durchlaufen werden:

1. Vorheizen der Elektroden auf ca. 700°C .
2. Anlegen eines Zündimpulses zum richtigen Zeitpunkt, Höhe max. ca. $1' 500\text{V}$.
3. Röhre brennt, Starter ausser Betrieb.

Die preislich günstigste Lösung für eine Fluoreszenzröhrenleuchte besteht in der Verwendung eines rein induktiven Vorschaltgerätes, wie weiter oben beschrieben, kombiniert mit einem sog. Glimmstarter. Dieser wird, wie in Fig. 3 gezeigt, in die Schaltung eingefügt. Der Glimmstarter ist ein Thermobimetallschalter, der in einem Glasgehäuse untergebracht ist, das mit einem Gas bei kleinem Druck gefüllt ist. Die Bimetal Elektroden dieses Bimetallschalters sind dabei so angeordnet, dass sie im kalten Zustand keinen Kontakt machen, sich im warmen Zustand jedoch berühren. Der Startvorgang einer Fluoreszenzröhre soll anhand von Fig. 3 erläutert werden. Wird die Schaltung ans Netz (230V) angeschlossen, so leuchtet die Röhre nicht. Die Netzspannung ist bekanntlich eine sinusförmige Spannung mit einem Scheitelwert von ca. 325V bei einer Effektivspannung von 230V. Diese 325V reichen normalerweise nicht aus, um die Röhre zu zünden. Deshalb liegt zu Beginn die volle Netzspannung über der Röhre und über dem Glimmstarter an. Der Gasdruck im Innern des Glimmstarters ist so gewählt, dass seine Elektroden glimmen, wenn die angelegte Spannung ca. 120V übersteigt. Der Glimmvorgang erhitzt die Elektroden, so dass sie sich aufeinander zu bewegen und schliesslich Kurzschluss machen. Der Glimmvorgang wird somit abgebrochen, die Elektroden kühlen ab und trennen sich schliesslich wieder. Während der kurzen Zeit, wo sie kurzgeschlossen sind, fliesst ein Wechselstrom durch die Spule (L), die Röhrenelektroden und den Glimmstarter. In dieser Zeit werden die Röhrenelektroden aufgeheizt und für den Zündvorgang und den Betrieb vorbereitet. Falls sich die

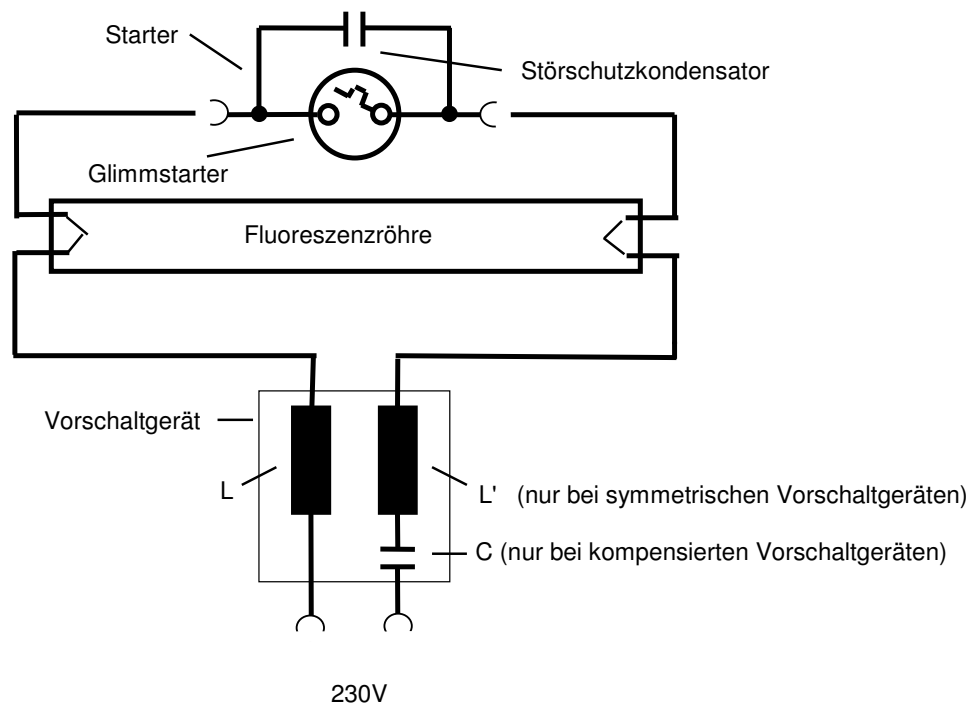


Fig. 3: Schaltung mit Glimmstarter.

Bimetallelektroden des Starters zu einem Zeitpunkt trennen, wo der Strom nicht gerade null ist, wird in der Spule (L) eine Induktionsspannungsspitze von bis zu 1' 500V erzeugt, die parallel zur Röhre und zum Glimmstarter liegt. Wenn die Röhrenelektroden genügend lang vorgeheizt worden sind, genügt dieser Spannungsimpuls, um die Röhre zu zünden. Leuchtet die Röhre einmal, so wird die Spannung über der Röhre auf die Brennspannung von ca. 110V begrenzt aufgrund ihrer negativen Widerstandscharakteristik. In diesem Fall bleibt der Glimmstarter inaktiv und die Röhre brennt.

Leider kommt es beim Einschalten oft zu Mehrfachzündungen, weil der erste Zündversuch meistens zu früh erfolgt und die Röhrenelektroden damit nicht genügend vorgeheizt sind. Hier handelt es sich um den sog. Kaltstart, der für die Röhre besonders schädlich ist und leider meistens stattfindet. In Fig. 4 ist die Röhrenlebensdauer in Funktion der Brenndauer einer Fluoreszenzröhre dargestellt. Je häufiger mit Glimmstarter eingeschaltet wird und entsprechend kürzer deren Brenndauer, desto kürzer die Lebensdauer der Röhre. Bei korrektem Start wird die Lebensdauer jedoch nicht beeinträchtigt. Ein weiterer Grund für Mehrfachzündungen ist der, dass die Zündspannung auch über dem Glimmstarter anliegt und dabei dessen Bimetallelektroden aufheizt, so dass sie sich wieder kurzschliessen. Dieses unangenehme Flackern beim Startvorgang wird hingenommen, weil es sich um die kostengünstigste Lösung handelt, die zudem recht zuverlässig funktioniert.

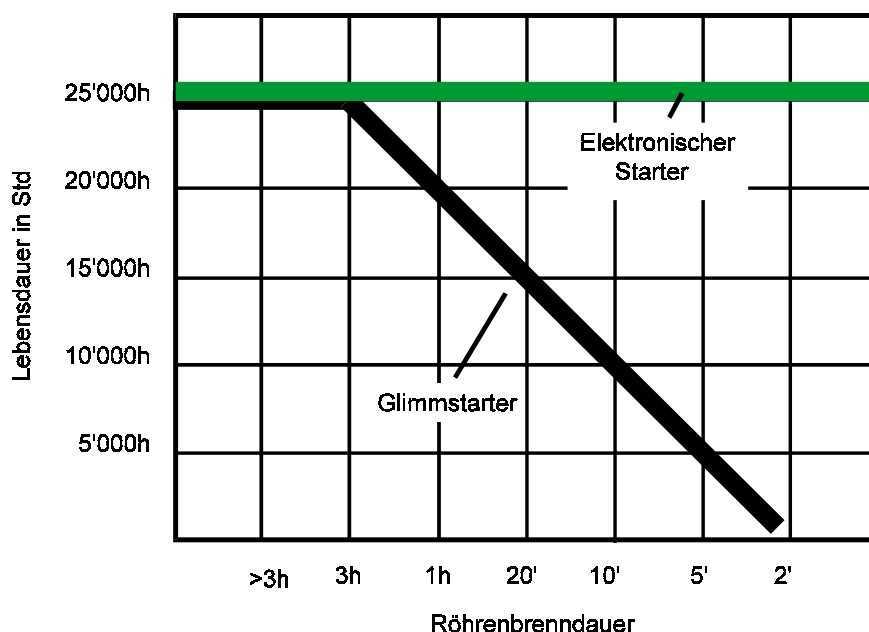


Fig. 4: Lebensdauer in Funktion der Brenndauer einer Röhre
Glimmstarter und elektronischer Starter

Weit unangenehmer sind die andauernden Zündversuche, die ein Glimmstarter am Ende der Röhrenlebensdauer von ca. 5' 000Std ausführt. Dieses Flackern kann an Arbeitsplätzen oder bei Verkaufsf-

chen unerträglich sein, so dass die Röhre baldmöglichst ersetzt werden muss. Das ist teuer. Zudem verursacht dies unnötige elektrische Verluste.

Elektronik übernimmt das Zepter

Die weiter oben beschriebenen Nachteile des Glimmstarters können mit einem vollelektronischen Starter vollständig eliminiert werden. Anstelle des Glimmstarters tritt ein Leistungshalbleiter, vorzugsweise mit geringer Steuerleistung, z.B. ein feldeffektgesteuerter Baustein. Hinzu kommt eine Steuerelektronik, die folgenden Ablauf steuert:

1. Den Leistungshalbleiter einschalten, damit der Vorheizstrom fließen kann.
2. Nach der Vorheizphase den Leistungshalbleiter im richtigen Moment öffnen, um hiermit eine genügend hohe Zündspannung zu erzeugen.
3. Den Leistungshalbleiter in jedem Fall ausschalten.

Ein elektronischer Starter muss natürlich den Vorschriften entsprechen und mindestens so universell einsetzbar sein, wie der Glimmstarter, wenn er auf dem Markt erfolgreich sein soll. Das bedeutet, dass der elektronische Starter in einem handelsüblichen Zweipol-Startergehäuse untergebracht sein muss und für alle gängigen Röhrenleistungen von 4W - 65W, bei induktiven sowie kapazitiven Vorschaltgeräten, bei Unter- bzw. Überspannung und bei Temperaturen von -25°C bis 80°C zuverlässig zu funktionieren hat. Ebenso muss der vorgeschriebene Störschutzkondensator eingebaut sein, denn ohne diesen darf ein Starter nicht in den Handel kommen.

Die elektronische Lösung braucht nicht kompliziert zu sein

In Fig. 5 ist ein zum Patent angemeldeter, elektronischer Starter beschrieben, der als einziger alle oben genannten Anforderungen erfüllt und zudem zu einem marktgerechten Preis herstellbar ist. Hierbei bedeutet von links nach rechts:

- 1 das Vorschaltgerät, wie vorgängig beschrieben,
- 2 die Fluoreszenzröhre mit den Elektroden 3 und 4,
- 21 den elektronischen Starter, der den Glimmstarter vollständig ersetzt, mit den Anschlussklemmen 21a und 21b,
- 5 den vorgeschriebenen Störschutzkondensator,
- 7 Brückengleichrichter,
- 12 den feldeffektgesteuerten Leistungshalbleiter,
- 22 die Steuerschaltung, die den Ablauf der verschiedenen Phasen bewerkstelligt,

Beim Anlegen der Netzspannung von 230V ist der Kondensator 17 nicht geladen und das Steuerelement 19 sperrt. Dadurch ist der feldeffektgesteuerte Leistungs-Halbleiter 12 über Widerstand 8 aufge-

steuert und daher im leitenden Zustand. Damit ist die Gleichrichterbrücke 7 ausgangseitig kurzgeschlossen und somit natürlich ebenso dessen Eingang, bei den Klemmen 21a und 21b. In dieser ersten Phase fließt ein Vorheizstrom I_H durch die Drosselspule L den Heizwendel 3, den Starter (Klemme 21a und 21b), durch den Heizwendel 4 und falls vorhanden durch L' und C zurück ins Netz. Dieser Strom fließt ausgangseitig des Gleichrichters 7 durch die Diode 13 und den Leistungshalbleiter 12. Wegen des pulsierenden Stromes liegt über der Diode 13 eine pulsierende Spannung, die

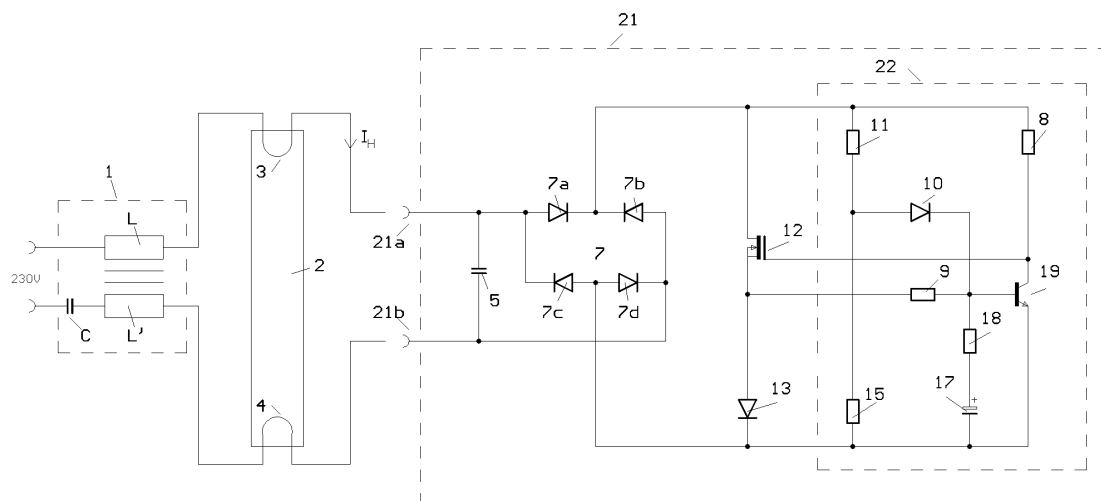


Fig. 5: Gesamtschaltung mit detailliertem elektronischen Universal-Starterschema

über die Widerstände 9 und 18 den Kondensator 17 langsam auflädt. Wenn die Spannung am Steuerelement 19 ca. 0.7 Volt erreicht hat, beginnt das Steuerelement 19 zu leiten und vermindert dadurch die Aufsteuerung des Leistungshalbleiters 12. Dieser Letztere steuert nicht mehr ganz durch und die Spannung über diesem steigt an. In dem Moment, wo diese Spannung einen solch hohen Wert erreicht hat, dass die abgegriffene Spannung über dem Widerstand 15 ca. 1.4 Volt erreicht hat, wird das Steuerelement 19 über die Diode 10 zusätzlich aufgesteuert und der Leistungshalbleiter 12 vollkommen gesperrt. Dieser Ausschaltvorgang geschieht äusserst rasch, so dass sich über der Vorschalt-drossel L (und L' , falls vorhanden) eine hohe Induktionsspannung einstellt, die die Röhre 2 zündet. Dieser Zündvorgang wiederholt sich mehrmals kurz hintereinander, so dass die Röhre 2 auch unter schlechten Bedingungen sicher zündet. Dieser Zündvorgang wird ca. 2sec. nach dem Anlegen der Netzspannung eingeleitet und zwar unabhängig von der angelegten Netzspannung, dem fließenden Vorheizstrom I_H , und der Temperatur. Nach dieser Phase bleibt das Steuerelement 19 eingeschaltet und demzufolge ist der Leistungshalbleiter 12 ausgeschaltet solange bis die Netzspannung wieder abgeschaltet wird.

Bei einer defekten Röhre, z.B. am Ende Ihrer Lebensdauer nach ca. 25' 000Std. (mit elektronischem Starter), ist ein Zünden nicht mehr möglich. In diesem Falle läuft der Vorgang nach dem Anlegen der Netzspannung wie weiter oben beschrieben ab. Nach erfolglosem Zündversuch schaltet der Starter

aus und es fließt kein Strom mehr, die Röhre bleibt dunkel. Es gibt also keine andauernden, lästigen Zündversuche, wie dies bei einem Glimmstarter der Fall ist.

Da die Funktion des beschriebenen Starters nicht von der Netzspannung abhängig ist, lässt er sich auch bei 110V betreiben, wie dies bei sog. Vorschaltgeräten im Tandembetrieb der Fall ist. Hierbei werden zwei Röhren in serie mit nur einem Vorschaltgerät betrieben. Jede Röhre benötigt für den Betrieb aber einen Spezialglimmstarter (Betrieb mit gewöhnlichem Glimmstarter nicht möglich; es wird ein spezieller 110V Typ benötigt, d.h. es besteht Verwechslungsgefahr).

Fig. 6 zeigt einen elektronischen Starter. Wie zu sehen ist, lässt sich der Starter in einem handelsüblichen Startergehäuse unterbringen. Deutlich zu sehen ist auch der Hybridbaustein, auf dem der Steuer- teil enthalten ist.

Der vorgestellte elektronische Starter ersetzt den Glimmstarter vollständig. Er funktioniert unter allen Bedingungen unter denen ein Glimmstarter auch funktioniert und kann überdies auch im Tandembetrieb eingesetzt werden. Mit einem gewöhnlichen Glimmstarter ist dies nicht möglich. Da der Startvorgang des elektronischen Starters die Röhre schonend in Betrieb setzt, wird deren Lebensdauer um bis zu einem Faktor fünf verlängert. Somit werden einerseits die Menge an Sondermüll drastisch verringert und andererseits die höheren Anschaffungskosten eines elektronischen Starters innert kürzester Zeit amortisiert. Der Starter kann so zuverlässig hergestellt werden, dass er problemlos in das Vorschaltgerät integriert werden kann. Die beschriebene Schaltung eines elektronischen Starters ist patentrechtlich geschützt.

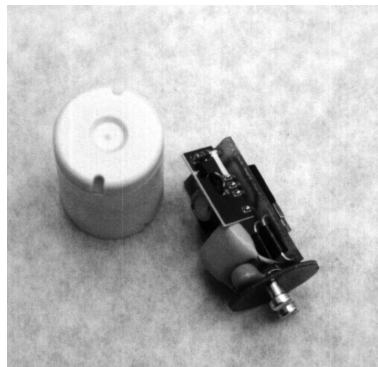


Fig. 6: Bild eines fertig aufgebauten elektronischen Zweipol-Starters