Buchreihe Elektronik 143

Hans Gath

Triacs und Diacs in Theorie und Praxis

TOPP

Buchreihe Elektronik 143

Hans Gath

Triacs und Diacs
in Theorie und Praxis

Frech-Verlag Stuttgart

Der Verlag bittet zu beachten:
Unsere Veröffentlichungen von Schaltungen und Verfahren erfolgen ohne Rücksicht auf bestehende Patente, da sie nur für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt sind. Eine gewerbliche Nutzung ist ausdrücklich untersagt.
Trotz sorgfältiger Überprüfung aller Schaltungen und Angaben durch Verfasser und Verlag lassen sich Fehler nie ganz vermeiden. Der Verlag kann deshalb weder eine Garantie für Fehlerlosigkeit noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung übernehmen.
Verfasser und Verlag sind für Hinweise auf Fehler sowie für Verbesserungs- oder Ergänzungsvorschläge dankbar.

ISBN 3-7724-0374-3 Art.-Nr. 143

frech-verlag
GmbH + Co. Druck KG Stuttgart

Wissenschaftl. Assistenz: Prof. O. Kilgenstein

Inhalt

A Vereinfachte Theorie

B Praktische Schaltungen

Vorwort

Triacs und Triggerdioden (Vierschichtdioden und Diacs) sind im Gegensatz zum analog steuerbaren Transistor digitale Bauelemente, die somit nur zwei elektrische Zustände kennen (leitend oder gesperrt). Sie sind damit zum Ein- und Ausschalten von größeren Leistungen geeignet und bieten dabei einige Vorteile.
Die Steuerleistung wird nur beim Einschalten und Zünden benötigt. Damit ist die Verstärkung dieser Bauelemente theoretisch unendlich groß.
Da im leitenden Zustand die Durchlaßverluste relativ gering sind, besitzen diese Bauelemente einen hohen Wirkungsgrad. Damit ist ein kompakter Aufbau des Bauelementes möglich. Die Sperrverluste sind gering und können bei Schaltungsauslegungen oft vernachlässigt werden.
Da die mechanischen Abmessungen sehr klein sind, gibt es heute Geräte auf dem Markt, die früher nicht realisiert werden konnten. Es sind dies z.B. Helligkeitsregler für Lampen, die in eine normale Schalterdose (55 mm Ø) passen oder Drehzahlregler für Handbohrmaschinen im Handgriff der Maschine.
Genauso wie bei Siliziumgleichrichtern ist auch beim Triac der aktive Teil ein kleines Siliziumplättchen mit sehr geringer Wärmekapazität. Es sind daher Überlastschutz-Elemente vorzusehen, die den Triac im Fall einer Überlastung vor Beschädigung schützen.

Alle Schaltungen wurden vom Verfasser selbst aufgebaut und nachgemessen. Es soll damit ein sicherer Nachbau gewährleistet werden. Grundsätzlich können alle im Handel erhältlichen äquivalenten Bauelemente eingesetzt werden. Es ist jedoch zu empfehlen, daß sich der Leser wenigstens die Halbleiterbauelemente alle neu besorgt. Oft schleichen sich Fehler ein, wenn defekte Bauteile aus der Bastelkiste verwendet werden.

A Vereinfachte Theorie

1. Die Vierschichtdiode

Vierschichtdioden gab es erstmals 1960 auf dem Markt. Ihr Erfinder war Shokley. Sie werden daher oft auch Shokley-Dioden genannt. Vierschichtdioden besitzen eine Schalt- und eine Sperrichtung und werden als Impulsgeneratoren zum Ansteuern von Thyristoren verwendet. Nach DIN 41786 und 41855 werden sie als rückwärtssperrende Thyristordiode bezeichnet.

1.1. Aufbau und Wirkungsweise der Vierschichtdiode

Ein kleines Einkristallsiliziumplättchen ist der aktive Teil der Vierschichtdiode. Durch Diffusion wird in diesem Siliziumplättchen die Zonenfolge P-N-P-N erzeugt. Somit ergeben sich vier Schichten mit unterschiedlicher Leitfähigkeit, die durch drei PN-Übergänge (Sperrschichten) voneinander getrennt sind. Das Bild 1 zeigt den Schnitt durch eine Vierschichtdiode, das Bild 2 die Schichtfolge und das Bild 3 die Zerlegung der Vierschichtdiode in zwei Transistoren und eine Diode. Das alte und neue Symbol der Vierschichtdiode ist in Bild 4 dargestellt.

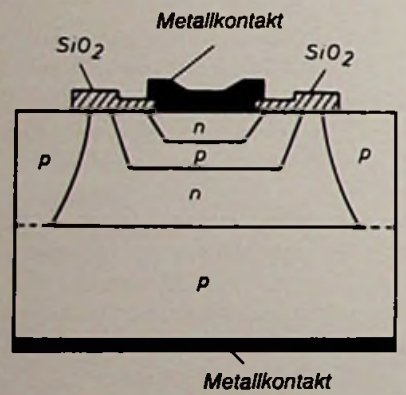


Bild 1 Schnitt durch eine Vierschichtdiode

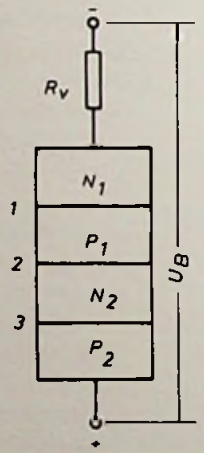


Bild 2 Schichtfolge bei der Vierschichtdiode

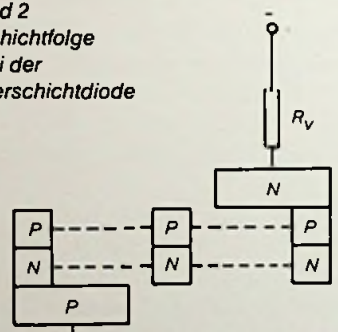


Bild 3 Zerlegung der Vierschichtdiode

Bild 4 Altes und neues Symbol der Vierschichtdiode

Wird über den Widerstand R_v (siehe Bild 2) eine Spannung mit Plus an die Schicht P_2 und mit Minus an die Schicht N_1 angelegt, so sind die PN-Übergänge 1 und 3 in Durchlaßrichtung und der PN-Übergang 2 in Sperrichtung gepolt. Es fließt nur ein sehr geringer Strom (Sperrstrom). An der Sperrschicht 2 fällt die gesamte Betriebsspannung U_B ab.

Die Vierschichtdiode entspricht in diesem Fall einer in Sperrichtung betriebenen Siliziumdiode. Beim Erhöhen der angelegten Spannung tritt bei einem bestimmten Spannungswert (Schaltspannung) am vorher gesperrten PN-Übergang 2 ein Lawinendurchbruch auf. Er wird durch die an der Sperrschicht herrschende Feldstärke verursacht. Die wenigen in der Sperrschicht vorhandenen frei beweglichen Elektronen werden stark beschleunigt. Sie schlagen dann weitere Elektronen aus ihrer Gitterbindung heraus. Die Ladungsträgerdichte in der Sperrschicht 2 steigt an. Auch der fließende Strom erfährt dabei einen lawinenartigen Anstieg. Aus der Schicht P_1 werden Defektelektronen und aus der Schicht N_2 Elektronen in die Sperrschicht 2 geliefert. Diese Sperrschicht wird schließlich mit Ladungsträgern überschwemmt.
Die Spannung bricht daraufhin an der Sperrschicht 2 zusammen und der Spannungsabfall an der Vierschichtdiode sinkt auf einen sehr kleinen Wert ab. Der durch die Vierschichtdiode fließende Strom wird praktisch nur noch vom Vorwiderstand R_v bestimmt. Die für die Vierschichtdiode typische Kennlinie ist in Bild 5 aufgezeigt.

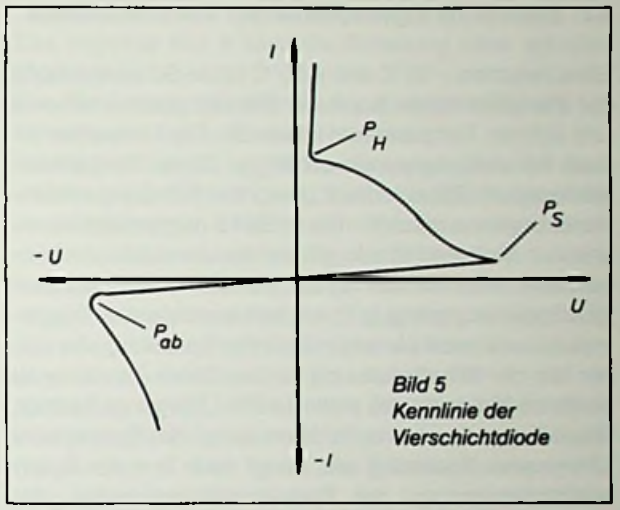


Bild 5
Kennlinie der Vierschichtdiode

In diesem Diagramm sind die für die Vierschichtdiode charakteristischen Punkte eingetragen. Es sind dies:

der Schaltpunkt P_s
der Haltepunkt P_H
der inverse Abbruchpunkt P_{ab}

Zwischen den beiden Punkten P_{ab} und P_s verhält sich die Vierschichtdiode wie zwei gegeneinander geschaltete Siliziumdioden (Sperrverhalten). Im Bereich zwischen den Punkten P_s und P_H wirkt sie jedoch wie ein stromabhängiger Widerstand. Ab dem Punkt P_H verhält sie sich wie eine Siliziumdiode im Durchlaßbereich.

1.2. Elektrische Eigenschaften der Vierschichtdiode

Etwa zwischen – 10 °C und + 50 °C ist die Schaltspannung der Vierschichtdiode konstant. Sie fällt nur bei höheren und tieferen Temperaturen etwas ab. Der Haltestrom jedoch ist stark temperaturabhängig. Diese Temperaturabhängigkeit läßt sich durch geeignete Schaltungsdimensionierungen verhindern. Die in Bild 5 dargestellte Kennlinie der Vierschichtdiode gilt nur für die statischen Verhältnisse. Wird nämlich an die Vierschichtdiode plötzlich eine Spannung gelegt (z. B. ein steil ansteigender Triggerimpuls), so zündet sie schon bei einer Spannung, die kleiner als die Schaltspannung U_s ist. Diese Tatsache ist durch die Kapazität des mittleren PN-Übergangs bedingt. Diese Kapazität ist eine Funktion der an der Sperrschicht anliegenden Spannung und hängt noch von der Sperrschichtabmessung, der Dielektrizitätskonstanten des Halbleitermaterials und vom Störstellengradienten in der Grenzschicht ab.

1.3. Anwendung der Vierschichtdiode

1.3.1. Der Impulsverstärker

Das Bild 6 zeigt einen Impulsverstärker im Prinzip.

Die Vierschichtdiode D_1 wird durch einen Triggerimpuls gezündet; damit wird sie niederohmig und bleibt solange in diesem Zustand, bis der Haltestrom unterschritten wird. Über den Widerstand R_1 liegt die Vierschichtdiode an der Betriebsspannung $-U_B$ an. Diese Betriebsspannung ist niedriger als ihre Schaltspannung. R_1 muß dabei so gewählt werden, daß der durch ihn fließende Strom in jedem Fall kleiner als der Haltestrom ist. Wird nun an den Eingang E ein positiver Impuls mit genügend großer Amplitude angelegt, so zündet über den Kondensator C_1 die Vierschichtdiode D_1. Jetzt wird über den Widerstand R_2 der Kondensator C_2 entladen. Damit wird der Haltestrom durch die Vierschichtdiode unterschritten und diese gelöscht. Am Ausgang der Schaltung (Punkt A) entsteht beim Zünden der Vierschichtdiode D_1 ein positiver Impuls in Höhe der Versorgungsspannung. Wird die Diode D_2 durch eine Vierschichtdiode ersetzt, so kann der Impulsverstärker mit positiven und negativen Impulsen angesteuert werden. Bei positivem Eingangsimpuls zündet dann die obere Vierschichtdiode (D_1), bei negativem Eingangsimpuls die untere (D_2).

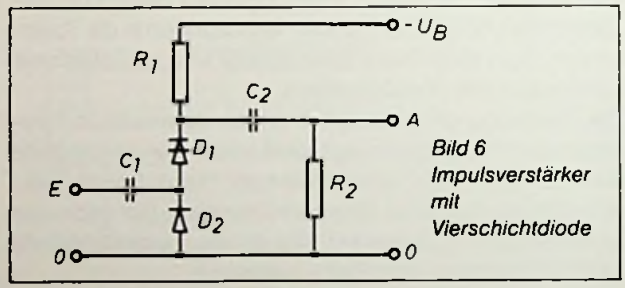


Bild 6 Impulsverstärker mit Vierschichtdiode

1.3.2. Der Sägezahngenerator

Das Prinzipschaltbild Bild 7 zeigt einen freischwingenden Sägezahngenerator.
Der Kondensator C wird über die Widerstände R_1 und R_2 von der Betriebsspannung $-U_B$ aufgeladen. Diese Spannung ist höher als die Schaltspannung der Vierschichtdiode D. Wird am Punkt A die Schaltspannung erreicht, so zündet die Vierschichtdiode. Über diese Spannung und den Widerstand R_2 wird der Entladestrom des Kondensators auf den für die Vierschichtdiode D zulässigen Wert begrenzt. Am Punkt A der Schaltung wird die Sägezahnspannung abgenommen. Beim Zünden der Vierschichtdiode treten am Punkt B positive Impulse auf. Die Amplituden dieser Impulse entsprechen den Amplituden der Schaltspannung. Durch Verändern des Widerstandes R_1 oder des Kondensators C oder durch gleichzeitiges Verändern von R_1 und C, läßt sich die Frequenz des Sägezahngenerators ändern.

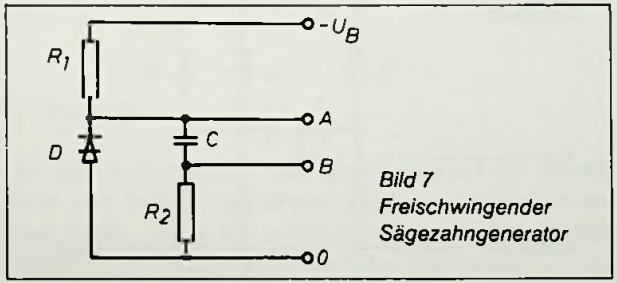


Bild 7
Freischwingender Sägezahngenerator

1.3.3. Die astabile Kippstufe

Das folgende Bild 8 zeigt die Schaltung einer astabilen Kippstufe.
Die Versorgungsspannung $-U_B$ ist hier höher als die Schaltspannung der Vierschichtdiode.
Die Widerstände R_1 und R_2 werden so gewählt, daß durch die Vierschichtdiode D_1 und D_2 ein Strom fließt, der größer als der Haltestrom ist. Nach dem Zünden der Vierschichtdiode D_1 lädt sich der Kondensator C über R_2 auf. Dieser Aufladevorgang dauert so lange an, bis die Schaltspannung von der Vierschichtdiode D_2 erreicht ist. D_2 zündet nun und die Vierschichtdiode D_1 erhält über den Kondensator C einen hohen positiven Impuls. Damit wird der Haltestrom von D_1 unterschritten. Die Vierschichtdiode D_1 wird gelöscht. D_1 zündet erst dann wieder, wenn sich der Kondensator C über R_1 auf die Schaltspannung von D_1 umgeladen hat. Nun beginnt der Vorgang in gleicher Weise wie bereits beschrieben von neuem abzulaufen.

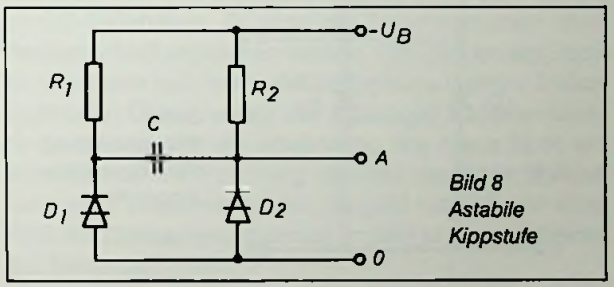


Bild 8
Astabile Kippstufe

1.3.4. Die monostabile Kippstufe

Das Bild 9 zeigt die Prinzipschaltung der monostabilen Kippstufe. Die Vierschichtdioden D_1 und D_2 sind so dimensioniert, daß die Schaltspannung der Vierschichtdiode D_1 größer und die Schaltspannung von D_2 kleiner als die Versorgungsspannung $-U_B$ ist. Damit ist im Ruhezustand D_1 gelöscht (Schaltspannung wird an D_1 nicht erreicht) und D_2 gezündet (Schaltspannung von D_2 wird erreicht bzw. überschritten). Wird an den Eingang E der Schaltung ein positiver Impuls angelegt, so zündet D_1. Über den Kondensator C erhält damit die Vierschichtdiode D_2 einen hohen positiven Impuls. Damit wird sie gelöscht. Der Ausgangszustand wird dann wieder erreicht, wenn sich der Kondensator C über den Widerstand R_2 bis auf die Schaltspannung von D_2 aufgeladen hat. Die Rückkippzeit der monostabilen Kippstufe wird durch C, R_2 und das Verhältnis der Versorgungsspannung $-U_B$ zur Schaltspannung der Vierschichtdiode D_2 bestimmt.

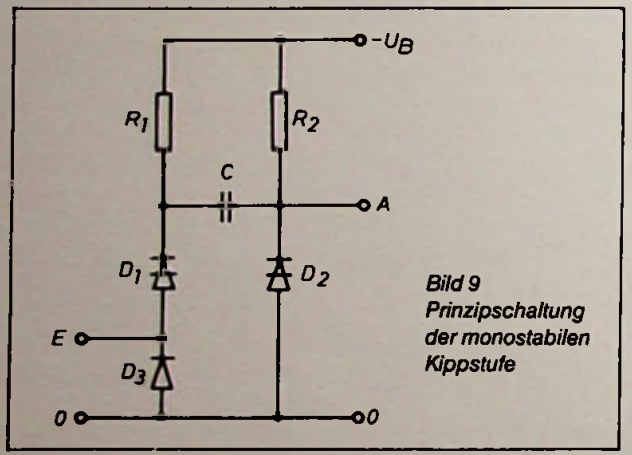


Bild 9 Prinzipschaltung der monostabilen Kippstufe

1.3.5. Die bistabile Kippstufe

Das Bild 10 zeigt die Prinzipschaltung der bistabilen Kippstufe.
Die Schaltspannungen beider Vierschichtdioden D_1 und D_2 müssen größer als die Versorgungsspannung $-U_B$ sein.

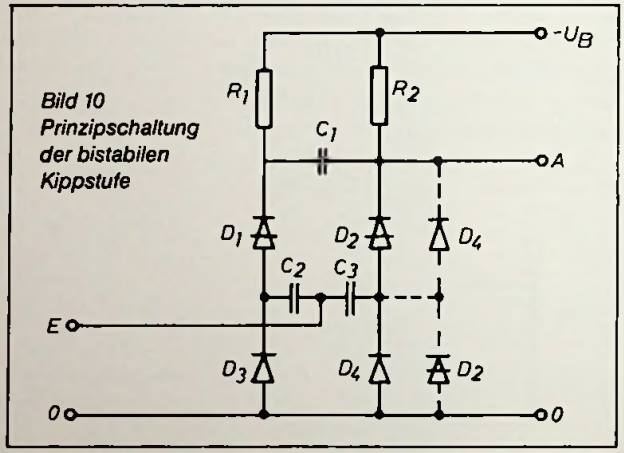


Bild 10 Prinzipschaltung der bistabilen Kippstufe

Die Widerstände R_1 und R_2 sind so auszulegen, daß der Haltestrom fließen kann. Zur Erläuterung der Funktion dieser Schaltung wird zunächst angenommen, daß D_1 gezündet und D_2 gelöscht ist. Der Kondensator C_1 hat sich dann annähernd auf die Höhe der Versorgungsspannung aufgeladen. Gelangt nun an den Eingang E der Schaltung ein positiver Impuls, so wird D_2 über C_3 gezündet. Im gleichen Moment erhält die Vierschichtdiode D_1 über den Kondensator C_1 einen positiven Impuls und wird damit gelöscht. Beim darauffolgenden Impuls (am Eingang E) kippt die Schaltung wieder in den ursprünglichen Zustand zurück. Werden nun die Dioden D_2 und D_4 gegeneinander vertauscht (in Bild 10 gestrichelt dargestellt), so erhält man eine bistabile Kippstufe, die auf die Polarität der Triggerimpulse anspricht. Durch einen positiven Impuls wird die Vierschichtdiode D_1 gezündet. Weitere darauffolgende positive Impulse lösen keinen Kippvorgang mehr aus. Erst ein negativer Impuls am Eingang E schaltet die Vierschichtdiode D_2 ein. Erst durch einen positiven Eingangsimpuls ändert sich dieser Schaltzustand wieder.

2. Der Diac

Der Diac kam mit dem Triac gleichzeitig auf den Markt, da er sich für die Triac-Ansteuerung als erforderlich erwies. Diacs zeigen ein anderes Schaltverhalten als die Vierschichtdioden (bei symmetrischer Kennlinie).

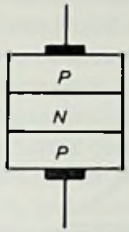


Bild 11 Schichtaufbau des Diacs

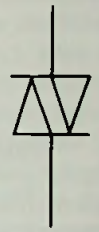


Bild 12 Schaltsymbol des Diacs

2.1. Aufbau und Wirkungsweise des Diacs

Der Diac besteht aus drei Halbleiterschichten und zeigt in beiden Stromrichtungen Kippverhalten. Das Bild 11 zeigt den schematischen Aufbau des Diacs, das Bild 12 sein Schaltsymbol.

Zur Herstellung des Kristalls bedient man sich heute der Planartechnik. Den Diac selbst findet man heute meistens im DO-7-Gehäuse. Er kann als Transistorsystem ohne Basisanschluß angesehen werden. Das Zünden des Diacs ist somit praktisch ein Kollektordurchbruch eines Transistors beim Überschreiten der zulässigen Kollektor-Emitter-Spannung. Für die Anwendung des Diacs ist es erwünscht, daß die Spannung am Diac nach dem Zünden nicht ganz zusammenbricht. Sie geht lediglich auf etwa 75% der Zündspannung zurück. Im Bild 13 ist die Kennlinie des Diacs dargestellt.

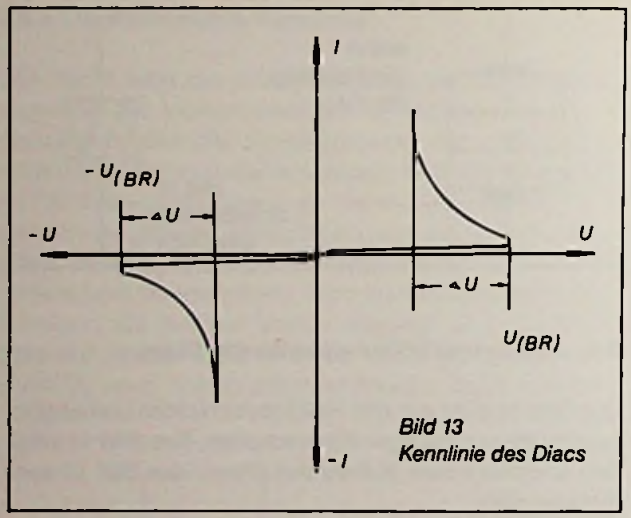


Bild 13
Kennlinie des Diacs

3. Der Triac

Der Triac wurde 1966 unter dem Namen „Vollweg-Thyristor" bekannt. In der DIN-Norm 41786 und 41855 ist der Name Triac für die Zweirichtungs-Thyristortriode als genormte Bezeichnung festgelegt. Er findet zum einen als stufenlose Steuerung der Leistungsaufnahme elektrischer Verbraucher durch Phasenanschnitt – oder Schwingungspaketsteuerung – und zum anderen als kontaktloser Ein- und Ausschalter von Verbrauchern Anwendung.

3.1. Aufbau, Wirkungsweise und elektrische Eigenschaften des Triacs

Der Triac oder auch Zweiweg-Thyristor genannt, ist eine Weiterentwicklung des Thyristors und ist in Vollwegschaltungen wirtschaftlicher einzusetzen. Über eine einzige Steuerelektrode kann in beiden Stromrichtungen gezündet werden. Der schematische Aufbau des Triacs ist in Bild 14 gezeigt, das Schaltsymbol in Bild 15.
Die Bezeichnung der Anschlüsse erfolgt nach DIN 41786. Die den Laststrom führenden Anschlüsse heißen Hauptanschluß 1 (H_1) und Hauptanschluß 2 (H_2), der Steueranschluß heißt Gate und ist dem Hauptanschluß 1 be-

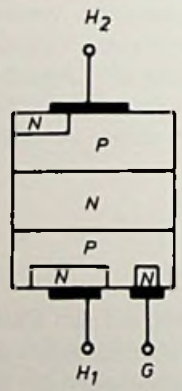


Bild 14
Schematischer Aufbau eines Triacs

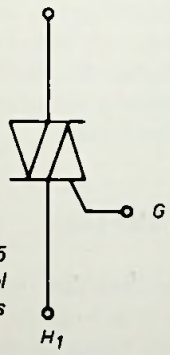


Bild 15
Schaltsymbol des Triacs

nachbart angeordnet. Die Hauptanschlüsse H_1 und H_2 werden oft mit A_1 bzw. A_2 bezeichnet. Zur Verdeutlichung der Funktionsweise denkt man sich ein Kristall, das aus zwei Thyristorkristallen zusammengesetzt ist. Das Bild 16 zeigt diese Zusammensetzung. In Bild 17 ist die Vereinigung auf einem Halbleiterkristall dargestellt. Der linke Thyristor Th_1 ist katodenseitig, der rechte Thyristor Th_2 anodenseitig angesteuert (Bild 16). Es genügt also ein Steueranschluß. Der Hauptstrom fließt in beiden Richtungen immer durch die Schichtfolge P-N-P-N. Wird der Hauptanschluß 2 positiver, so verläuft der Zündvorgang wie bei einem katodenseitig gesteuerten, nach rückwärts sperrenden Thyristor. Der Zündstrom muß in die Steuerelektrode hineinfließen. Dabei fließt der Hauptstrom vom Hauptanschluß 2 (H_2) von der Schicht P_2 über die Schicht P_1 zum Hauptanschluß 1 (H_1) über N_1 (Th_1). Wird der Hauptanschluß 2 negativ, so kann man sich einen aus der Steuerelektrode herausfließenden Zündstrom vorstellen. Er zündet den anodenseitig gesteuerten Thyristor Th_2. Der Hauptstrom fließt dann vom Hauptanschluß 1 über P_1 nach N_2 und über die Schicht P_2 zum Hauptanschluß H_2. Das Bild 18 zeigt die Hauptkennlinie des Triacs schematisch. Die Polaritätsangaben beziehen sich auf den Hauptanschluß 1.

Der Triac kann in beiden Richtungen mit Steuersignalen umgekehrter Polarität gezündet werden.

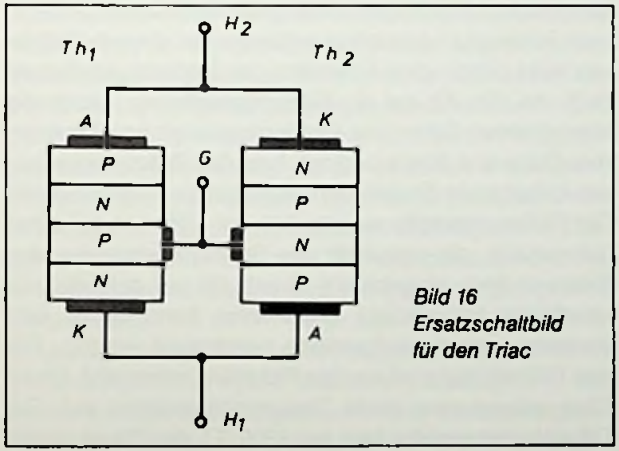


Bild 16
Ersatzschaltbild für den Triac

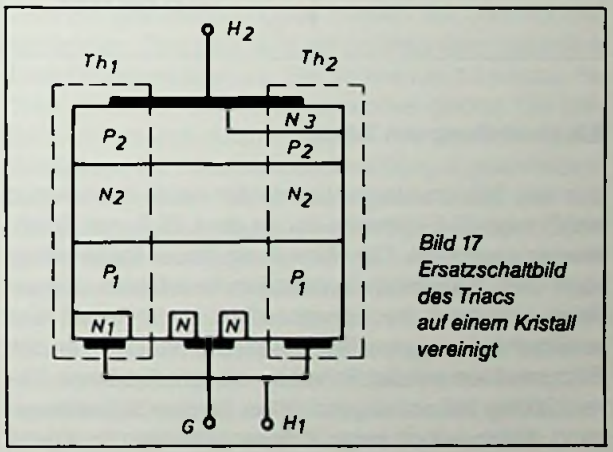


Bild 17
Ersatzschaltbild des Triacs auf einem Kristall vereinigt

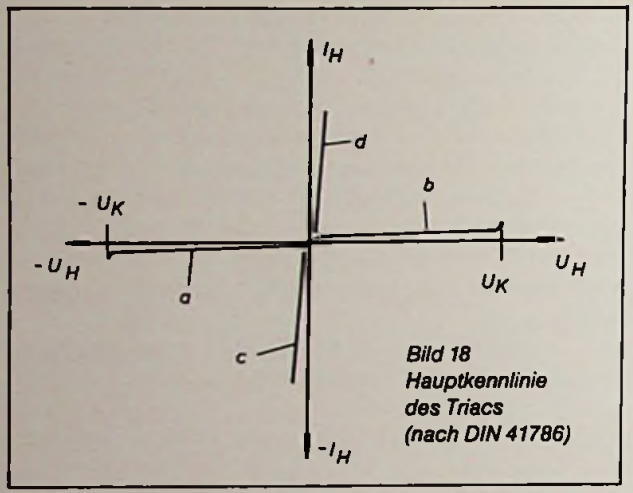


Bild 18
Hauptkennlinie des Triacs (nach DIN 41786)

3.2. Herstellung von Triacs

Von den Silizium-Herstellern werden heute hochwertige stabförmige Si-Einkristalle bis zu etwa 76,2 mm Durchmesser angeboten. Die Herstellung dieser Stäbe erfolgt nach dem tiegelfreien Zonenschmelzverfahren. Neuerdings wird durch Neutronenbeschuß im Si-Kristall eine erwünschte homogene Grunddotierung erreicht. Von den Siliziumstäben werden Scheiben mit verschiedenen Dikken (200 bis 500 µm) abgeschnitten. Bei dem Schneidevorgang dürfen jedoch keine Volumenstörungen im Kristall auftreten. Das Abschneiden erfolgt mit elektronisch gesteuerten Vollautomaten die überwiegend nach dem Innenlochsägeprinzip arbeiten. Die mit Diamant belegte Sägeschneide liegt an der Peripherie eines kreisförmigen Loches im Zentrum des Blattes. Die Schnittfläche muß möglichst rillen- und riefenfrei sein. Die sich beim Schneiden ergebenden feinen Rillen und Riefen werden mittels einer Ätzung fast restlos beseitigt. Die restlichen feinen Unebenheiten werden durch Polieren der Scheiben eliminiert.

Das gewünschte elektrische Verhalten des Halbleiterkristalls wird durch Dotierungsverfahren (Diffusionstechnik) erreicht. Dabei werden gezielt Störstellen in das Kristallgitter eingebaut. Zur Herstellung von Vielschichtstrukturen unterschiedlicher Leitfähigkeit im Silizium benutzte man früher das Legierungsverfahren. Bei diesem Verfahren wirkt örtlich eine Schmelze der Dotierungssubstanz (z. B. Au, Sb, Al) auf die Siliziumtablette ein. Durch die komplizierten Gate- und Emitterstrukturen von Thyristoren, Diacs und Triacs bedingt, fand das Diffusionsverfahren immer mehr Eingang in der Halbleiter-Prozeßtechnik. Die Dotierungsstoffe werden bei der Diffusion bei einer Temperatur, die unterhalb der Schmelztemperatur des Siliziums liegt, eingebracht. Durch die auf der Siliziumoberfläche befindlichen Oxydmaske kann heute jede denkbare Schichtkonfiguration verwirklicht werden. Für den Diffusionsprozeß werden Rohröfen verwendet. Diese Öfen weisen eine große Temperaturkonstanz auf. Die Diffusionstemperatur liegt bei 1200 °C, die Diffusionszeit

bei ca. 40 Stunden. Während der Diffusion darf die Temperatur nur um ± 0,5 °C abweichen.
Ein neues Dotierungsverfahren ist die Ionenimplantation. Bei diesem Verfahren werden die Dotierungsstoffe in einem elektrischen Feld beschleunigt und mit sehr hoher Energie in den Kristall geschossen. Besonders eng begrenzte Dotierungsbereiche lassen sich mit diesem Verfahren leicht erreichen.
Die diffundierten Halbleiterplättchen müssen nach ihrer Fertigstellung zur Stromleitung eine metallische Schicht erhalten. Dazu wird das Silizium vernickelt. Die so erreichte dünne Schicht kann durch weitere Galvanik- oder Aufdampfschichten verstärkt werden. Daneben wurde das CVD-Verfahren (Chemical-Vapor-Deposition) entwickelt. Durch dieses Verfahren wird Wolfram durch chemische Reaktion aus der Dampfphase auf Silizium abgeschieden. Die so erreichte Dicke der Wolframschicht ist wesentlich größer wie die der galvanisch abgeschiedenen Ni-Schicht.
Die fertigen Si-Scheiben müssen nach deren Fertigstellung noch zerteilt werden, um die einzelnen Thyristoren, Triacs und Diacs zu erhalten. Dazu bedient man sich verschiedener Verfahren. Es werden Gattersägen mit Diamantblättern verwendet oder Trennläppmaschinen. Bei den Trennläppmaschinen wird ein gespannt gehaltenes Lamellengatter mit einem Läppmittel auf der Si-Scheibe hin und her bewegt. Eine weitere Möglichkeit ist das Ritzen der Si-Scheibe mit einem Diamanten. Danach wird die geritzte Scheibe in Chips gebrochen. Als weitere Möglichkeit werden Drahtsägen verwendet. Hier wird ein mit Läppmittel benetztes Drahtgitter über einen Rollenmechanismus bewegt. Beim Ultraschallbohren erhält man Rund-Chips. Dazu wird ein Bohrwerkzeug in Ultraschallschwingungen versetzt. Diese Schwingungen werden auf in Wasser aufgeschwämmte Borcarbidkörner übertragen. Das glasharte Silizium wird dann durch Zerspannen getrennt. Eine weitere Möglichkeit ist das Aisbrasive-Verfahren. Es handelt sich dabei um ein sandstrahlenähnliches Verfahren. In einem Behälter wird ein Gemisch von feinkörnigem Pulver und ein Trägergas hergestellt. Dieses Gemisch wird mit Ultraschallgeschwindigkeit auf die Si-Scheibe geblasen. Auch mit Ätzverfahren ist die Zerteilung der Si-Scheibe möglich. In der neuesten Technik wird zum Zerschneiden der Si-Scheibe der Laserstrahl eingesetzt. Die gewonnenen Chips müssen nun noch kontaktiert werden. Dies geschieht bei großflächigen Halbleitern durch Druckkontaktierung. Bei Strömen ab 5 A werden die Chips direkt auf den Schraubensockel gelötet. Die Lötstelle wird danach durch eine glas- oder keramikisolierte Metallkappe mit Widerstandsschweißung abgeschlossen. Zum Verschweißen der Scheibengehäuse hat sich das Mikroplasma- und das Kaltschweißen bewährt. Beim Mikroplasmaschweißen werden die beiden aus dünnem Blech bestehenden Flansche unter Schutzgas verschmolzen. Beim Kaltschweißen werden die aus Kupfer bestehenden Flansche so fest aufeinander gepreßt, daß eine Kaltverschweißung der beiden Kupferbleche erfolgt. In neuester Zeit werden bei Bauelementen mit großer Leistung die Si-Plättchen direkt mit Kunstharz umpreßt.

3.3. Zündmöglichkeiten des Triacs

Prinzipiell gibt es drei Möglichkeiten, Triacs und Thyristoren zu zünden:

Zündung mit einer Gleichspannung bzw.
mit einem Gleichstrom
Zündung mit einer Wechselspannung bzw.
mit einem Wechselstrom
Zündung durch Impulse

Welche Zündmethode gewählt wird, das hängt von der Art der Anwendung und dem Aufbau der Schaltung ab.

3.3.1. Die Gleichspannungs-Zündung

Beim Zünden mit Gleichspannung wird über den Schalter S und den Vorwiderstand R_V die Gleichspannung direkt an das Gate gelegt. Das Bild 19 zeigt die Gleichspannungszündung beim Triac.

In der Schaltung nach Bild 19 kommt nur Wechselstrombetrieb in Frage, da Gleichstrombetrieb nicht sinnvoll ist. Wird der Schalter S geschlossen, so zündet der Triac zu Beginn jeder Halbwelle der Versorgungsspannung U_V. Durch den Lastwiderstand R_L fließt ein Vollwellenstrom. Wird der Schalter S geöffnet, so wird beim nächsten Nulldurchgang der Laststrom unterbrochen. Es ist gleichgültig, welche Polarität die Steuerspannung U_S hat.

Es ist jedoch wirtschaftlicher, mit negativer Steuerspannung zu arbeiten, da dabei der Steuerstrom am geringsten ist.

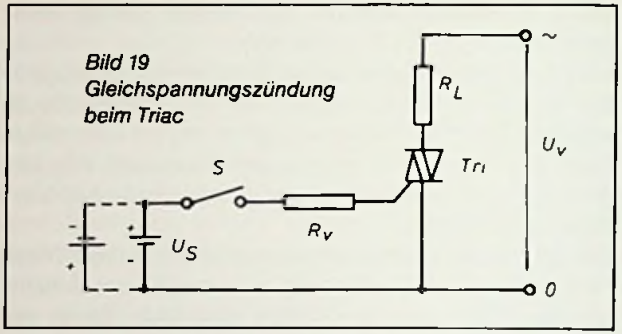


Bild 19
Gleichspannungszündung beim Triac

3.3.2. Die Wechselspannungs-Zündung

Die Bilder 20 und 21 zeigen das Prinzip der Wechselspannungszündung.

Wird der Zündkreis, wie in Bild 21 dargestellt, nach dem Lastwiderstand angeschlossen, so fließt nur bis zum Zündmoment des Triacs ein größerer Gatestrom. Somit kann der Vorwiderstand R_V für eine kleine Leistung bemessen werden. Die in den Bildern 20 und 21 aufgezeigte Wechselspannungsstörung ist die einfachste Möglichkeit der Phasenanschnittsteuerung. Sie wird durch entsprechende Dimensionierung des Vorwiderstandes R_V verändert. Wird R_V größer, so wird der Steuerstrom kleiner und der erforderliche Wert des Zündstroms zu einem späteren Zeitpunkt während des Anstiegs der positiven Spannungswelle erreicht. Eine Verschiebung des Zündeinsatzes bis 90° kann so erreicht werden.

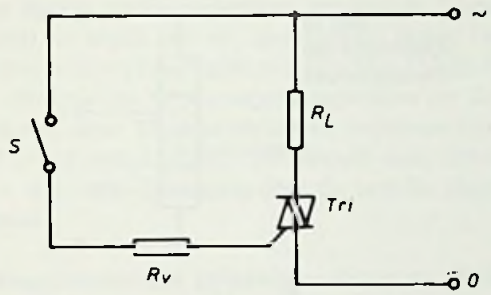


Bild 20 Wechselspannungszündung beim Triac, Gate-Vorwiderstand am Netz angeschlossen

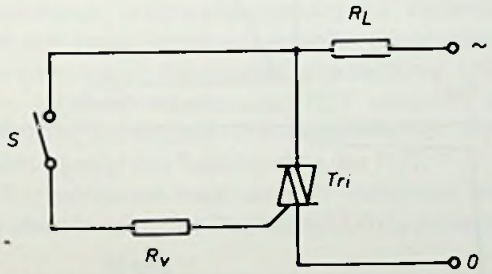


Bild 21 Wechselspannungszündung beim Triac, Gate-Vorwiderstand nach dem Lastwiderstand angeschlossen

4. Die Thyristortetrode und der PUT

Der Triac und der Thyristor können mittels eines Trigger-Impulses gezündet werden. Sie können dann jedoch nicht mehr ohne weiteres gelöscht werden, es sei denn, der Haltestrom wird unterschritten. Bei der Thyristortetrode jedoch kann über ein zusätzliches Gate diese wieder gelöscht werden. Das Bild 22 zeigt das Schaltsymbol der Thyristortetrode. Allerdings kann diese Thyristortetrode nur für Kleinleistungsanwendungen herangezogen werden.

Das folgende Bild 23 zeigt die Ersatzschaltung einer Thyristortetrode, dargestellt durch einen pnp- und einen npn-Transistor.

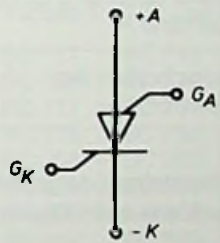


Bild 22 Schaltsymbol der Thyristortetrode

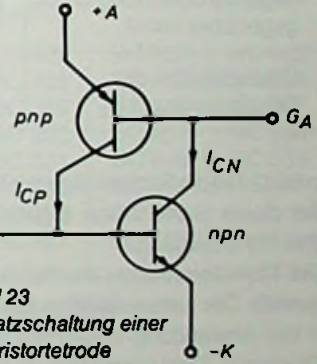


Bild 23 Ersatzschaltung einer Thyristortetrode

Liegt am Gateanschluß G_K eine gegenüber der Katode K positive Spannung, so wird der Thyristor (zwischen A und K) leitend. Ist der Gateanschluß G_A negativ gegenüber der Anode, so zündet die Thyristortetrode ebenfalls. Der Kollektorstrom I_{CP} ist gleichzeitig der Basisstrom des NPN-Transistors und steuert diesen durch. Damit wird die gesamte Anordnung zwischen der Anode und der Katode leitend. Die nachfolgende Tabelle gibt Aufschluß über das Zünden und Löschen dieser Anordnung.

Thyristortetrode gezündet	Thyristortetrode gelöscht
potitive Spannung an G_K gegenüber von K	negative Spannung an G_K gegenüber K
negative Spannung an G_A gegenüber von A	positive Spannung an G_A gegenüber A
Überschreiten der Schaltspannung U_S	Unterschreiten des Haltestroms I_H

In Bild 24 ist die Schichtfolge der Thyristortetrode dargestellt. Bei dieser Schichtfolge ergeben sich wie beim Thyristor drei PN-Übergänge.
Die Thyristortetroden werden heute in Planartechnik hergestellt. Der katodenseitige Steueranschluß G_K entspricht in der Anwendung und in seiner Funktion dem Gate des Thyristors. Das nachfolgende Bild 25 zeigt die Kennlinie der Thyristortetrode.

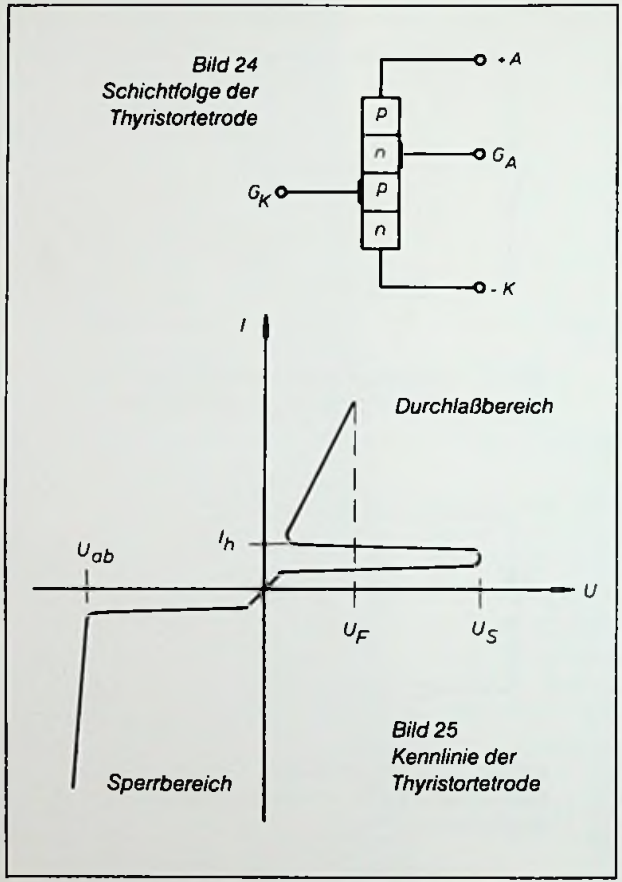


Bild 24
Schichtfolge der Thyristortetrode

Bild 25
Kennlinie der Thyristortetrode

Diese Kennlinie entspricht der Kennlinie des Thyristors. Ist die Anode positiv gegenüber der Katode (Vorwärtsrichtung), so ergibt sich ein Sperrbereich (linker Teil der Kennlinie) und ein Durchlaßbereich (rechter Teil der Kennlinie). Wird nun die Anode negativ gegenüber der Katode, so arbeitet diese Thyristortetrode im negativen Sperrzustand (Rückwärtsrichtung). Es besteht kein Schaltverhalten, d. h. eine Steuerung über G_K und G_A bleibt wirkungslos.

Der **P**rogrammierbare **U**nijunktions-**T**ransistor (PUT) ist ein Vierschichtbauelement und hat somit hinsichtlich des Aufbaues keine Ähnlichkeit mit einem normalen Unijunktionstransistor. Die Bezeichnung Unijunktion ist nicht vom Aufbau, sondern von seiner Funktion abgeleitet. Durch entsprechende äußere Beschaltung mit Widerständen lassen sich einige Kenndaten einstellen (programmieren). Damit kann dieses Bauelement verschiedenen Erfordernissen angepaßt werden. Der PUT entspricht einem anodenseitig steuerbaren rückwärtssperrenden Thyristor. Das Bild 26 zeigt das Schaltzeichen des PUT.
Die Thyristortetrode kann als PUT verwendet werden. Dazu bleibt lediglich der Steueranschluß G_K unbeschaltet.

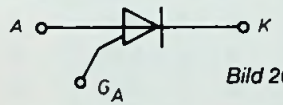


Bild 26 Schaltzeichen des PUT

5. Daten, Vergleichstabellen und Sockelschaltungen

Universell einsetzbare Transistor-Typen für die im praktischen Teil angegebenen Transistoren

Tabelle I: NPN-Transistoren:

BC 107	BC 173	BC 238	BC 383	BC 548
BC 108	BC 182	BC 239	BC 384	BC 549
BC 109	BC 183	BC 317	BC 407	BC 582
BC 147	BC 184	BC 319	BC 408	BC 583
BC 148	BC 207	BC 347	BC 409	BC 584
BC 149	BC 208	BC 348	BC 413	
BC 171	BC 209	BC 349	BC 414	
BC 172	BC 237	BC 382	BC 547	

Tabelle II: PNP-Transistoren

BC 157	BC 213	BC 307	BC 352	BC 513
BC 158	BC 214	BC 308	BC 415	BC 514
BC 177	BC 251	BC 309	BC 416	BC 557
BC 178	BC 252	BC 320	BC 417	BC 558
BC 204	BC 253	BC 321	BC 418	BC 559
BC 205	BC 261	BC 322	BC 419	
BC 206	BC 262	BC 350	BC 512	
BC 212	BC 263	BC 351	BC 513	

Mindestforderungen: $U_{CE} = 20$ V
$I_C = 100$ mA
$B = 100$
$P_{max} = 0{,}1$ W

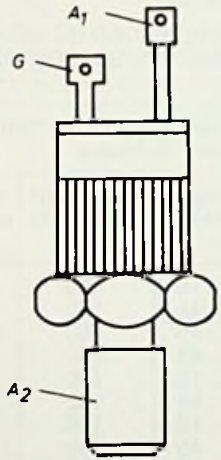
Tabelle III: Universell einsetzbare Siliziumdioden für die im praktischen Teil angegebenen Dioden			
BA 127 BA 217 BA 218 BA 221	BA 222 BA 317 BA 318 BAX 13	BAY 61 1 N 914 1 N 4148	Mindestbedingungen: $U_R = 25$ V $I_{Fmax} = 100$ mA $I_{Rmax} = 1\,\mu A$ $P_{max} = 250$ mW

Auszugsweise Typenübersicht für Triacs

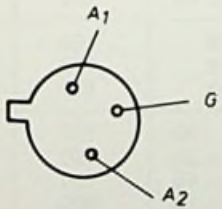
Type	Firma	Strom (A)	Spannung (V)	Anschluß-bild Nr.
TXD 99 A20	Siemens	10	200	1
TXD 99 A40		10	400	1
TW 6 N 100		6	100	1
TW 6 N 400		6	400	1
TW 8 N 100		8	100	1
TW 8 N 400		8	400	1
TW 10 N 100		10	100	1
TW 10 N 400		10	400	1
TW 12 N 400		12	400	1
2 N 5754	RCA	2,5	100	2
2 N 5756		2,5	400	2
T 2313 A		1,9	100	2
T 2313 D		1,9	400	2
2 N 5569		10	200	1
2 N 5570		10	400	1
2 N 5574		15	400	1
T 6411 D		30	400	1

Auszugsweise Übersicht für Triacs (Fortsetzung)

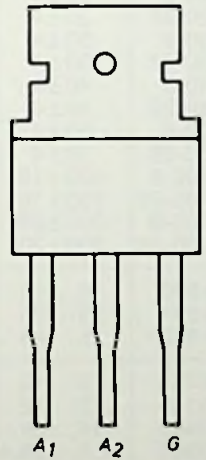
Type	Firma	Strom (A)	Spannung (V)	Anschluß-bild Nr.
BT 138/500	Valvo	10	500	3
BT 139/500		15	500	3
BTW 43/600		15	600	4
TXC 01 A10	Siemens	6	100	5
TXC 01 A40		6	400	5
TXD 98 A40		15	400	1
T 2500 B	RCA	6	200	3
T 2500 D		6	400	3
T 2800 B		8	200	3
T 2800 D		8	400	3
TXC 01 E50	Siemens	7,5	500	6
TXC 01 F50		7,5	500	6
TXC 03 E50		1	500	7
TXC 03 F50		1	500	7
TAG 261-500	TAG	6	500	6
TAG 241-500		5	500	8
TAG 271-500		8	500	4



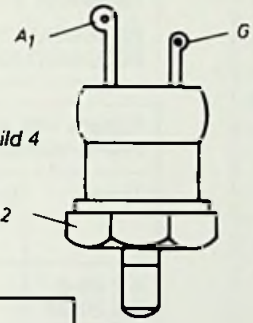
Anschlußbild 1



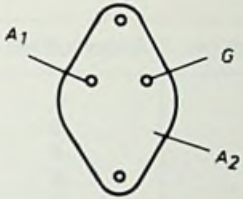
Anschlußbild 2



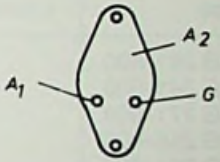
Anschlußbild 3



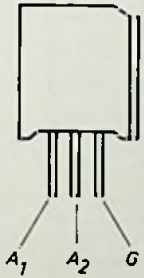
Anschlußbild 4



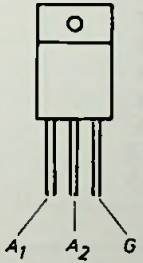
Anschlußbild 5



Anschlußbild 6



Anschlußbild 7



Anschlußbild 8

Anschlußbild 9

Bild 27 Sockelschaltungen von Triacs

Tabelle IV: Universell einsetzbare Typen für die im praktischen Teil verwendeten Triacs, den I_{Gmax} maximal 25 mA beträgt.

Type	Laststrom (A)	Anschlußbild Nr.
TAG 261-600	8	6
TAG 241-600	6,5	8
TAG 271-600	10	4
TAG 256-800	12	8
TAG 251-800	10	8
TAG 266-800	10	5
TAG 225-800	8	8
TAG 226-800	8	8
TAG 227-800	8	8
TAG 246-800	6,5	8
TAG 220-800	6	8
TAG 221-800	6	8
TAG 222-800	6	8
TAG 96-600	4	8
TAG 97-600	4	9
TAG 98-600	4	9
TAG 205-600	2,5	2
TAG 206-600	2,5	2

Tabelle V: Universell einsetzbare Typen für die im praktischen Teil verwendeten Diacs

A 9903	GT 40
ER 900	45 412

Tabelle VI: Ersatz-Typen für BD 135

BD 165/BD 175/BD 226/BD 233/BD 137/BD 167/BD 177/ BD 228/BD 235/BD 139/BD 169/BD 179/BD 230/BD 237

Tabelle VIII: Auszugsweise Typenübersicht der Silizium-PNPN-Vierschichtdioden im DO-7-Gehäuse

Type	Schaltspannung (V) U_S	Haltestrom (mA) I_H	Dauergleichstrom (mA) I_F	Hersteller
4 E 20-8	20±4	1...15	150	ITT und Tungsram
4 E 20-28	20±4	14...45	150	
4 E 30-8	30±4	1...45	150	
4 E 30-28	30±4	14...45	150	
4 E 40-8	40±4	1...15	150	
4 E 40-28	40±4	14...45	150	
4 E 50-8	50±4	1...15	150	
4 E 50-28	50±4	14...45	150	
4 E 100-8	100±10	1...15	150	
4 E 100-28	100±10	14...45	150	
4 E 200-8	200±20	1...15	150	
4 E 200-28	200±20	14...45	150	
4 Ex 580	15...10	8	150	ITT, TU
4 Ex 581	25...35	8	150	
4 Ex 582	35...45	8	150	
1 N 5158	8...10	1...20	150	Motorola
1 N 5160	10...12	1...20	150	
1 N 3490	16...24	14...45	150	
1 N 3301	17,6...26,4	1...15	200	
1 N 3302	21,6...32,4	5...20	200	
1 N 3304	26,4...39,6	5...20	200	
1 N 3838	90...110	0,5...15	150	

B Praktische Schaltungen

1. Funktionsprüfer für Triacs

Das Bild 28 zeigt die Schaltung des Funktionsprüfers für Triacs. Mit dieser Schaltung kann geprüft werden, ob der Triac funktionstüchtig ist. Der zu prüfende Triac wird an die drei Anschlußklemmen T_1, T_2 und G angeschlossen. Der Schalter S_3 steht dabei in einer beliebigen Stellung. Sollten gleich auf Anhieb die richtigen Anschlußbelegungen gefunden worden sein, so leuchtet die Lampe La_1 bei Betätigung des Tasters S_1 auf. Ist dies nicht der Fall, so ist eine andere Anschlußvariante zu suchen.
In der nebenstehenden Tabelle sind die sechs Variationsmöglichkeiten gezeigt.
Hat man die richtigen Anschlüsse gefunden (Lampe La_1 leuchtet) so wird der Schalter S_3 umgelegt. Danach wird der Taster S_2 betätigt. Ist der zu prüfende Triac in Ordnung, so muß jetzt die Lampe La_1 nochmals leuchten.

In der folgenden Tabelle sind die sechs Variationsmöglichkeiten gezeigt.

Variante Nr.	Anschluß-bezeichnung des Triacs	Verbinden mit den Anschluß-punkten des Funktionsprüfers	Anschluß des Triacs
1	T_2 T_1 G	1 2 3	richtig
2	T_2 T_1 G	2 1 3	richtig
3	T_2 T_1 G	3 2 1	falsch
4	T_2 T_1 G	1 3 2	falsch
5	T_2 T_1 G	2 3 1	falsch
6	T_2 T_1 G	3 1 2	falsch

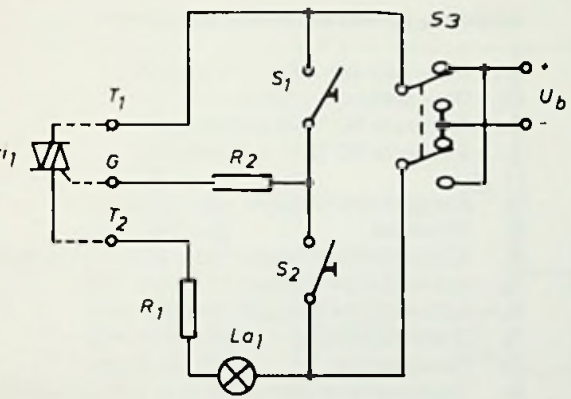


Bild 28 Schaltung des Funktionsprüfers für Triac

Stückliste für den Funktionsprüfer für Triacs

Tri_1	Triac (Prüfling)
R_1	Drahtwiderstand 100 Ω/5 W/5%
R_2	Kohleschichtwiderstand 100 Ω/¼ W/5%
S_1	Taster mit Arbeitskontakt
S_2	Taster mit Arbeitskontakt
S_3	Doppelpoliger Umschalter
U_b	Batterie 9 V oder entsprechendes Netzgerät
La_1	Glühlampe mit Fassung 6,3 V/0,3 A
	3 Telefonbuchsen für den Anschluß des Prüflings

2. Automatischer Dimmer

Mit dem in Bild 29 gezeigten automatischen Dimmer ist das allmähliche Aufleuchten und Löschen einer Raumbeleuchtung möglich. Wird der Schalter S_1 geschlossen (S_1 ist vorher geöffnet gewesen), so lädt sich der Kondensator C_1 über den Widerstand R_3 langsam auf. Hat nun die Kondensatorspannung den Wert von ca. 0,65 V erreicht, wird der Transistor T_1 in den leitenden Zustand gesteuert. Über die Kollektor-Emitter-Strecke von T_1 beginnt der Kollektorstrom zu fließen. Der Spannungsabfall, der dann an der Kollektor-Emitter-Strecke von T_1 entsteht, steuert nun den Transistor T_2 zu. Die Lampe La_1 wird dunkler. Steigt jetzt die Kondensatorspannung an C_1 weiter an, so wird der Transistor T_1 immer mehr in den leitenden Zustand gesteuert. Der Kollektorstrom wird größer und damit wird der Kollektor-Emmitter-Widerstand von T_1 kleiner. Jetzt wird auch der Transistor T_2 immer mehr in den Sperrzustand gesteuert, sein Kollektorstrom wird kleiner und damit wird die Lampe La_1 noch dunkler. Die Helligkeit der Lampe La_1 steuert nun den Fotowiderstand R_8. Sein Widerstand wird mit zunehmendem Dunklerwerden der Lampe La_1 größer. Dadurch wird der Triac Tri_1 nicht mehr über den Diac Di_1 voll durchgesteuert (Verschiebung des Zündzeitpunktes).
So erhält man ein allmähliches Abfallen der Beleuchtungsstärke der Lampe La_1, die in den Laststromkreis des Triacs geschaltet ist. Der Anfangswert der Beleuchtungsstärke von La_1 und damit auch von La_2 kann mit dem Trimm-

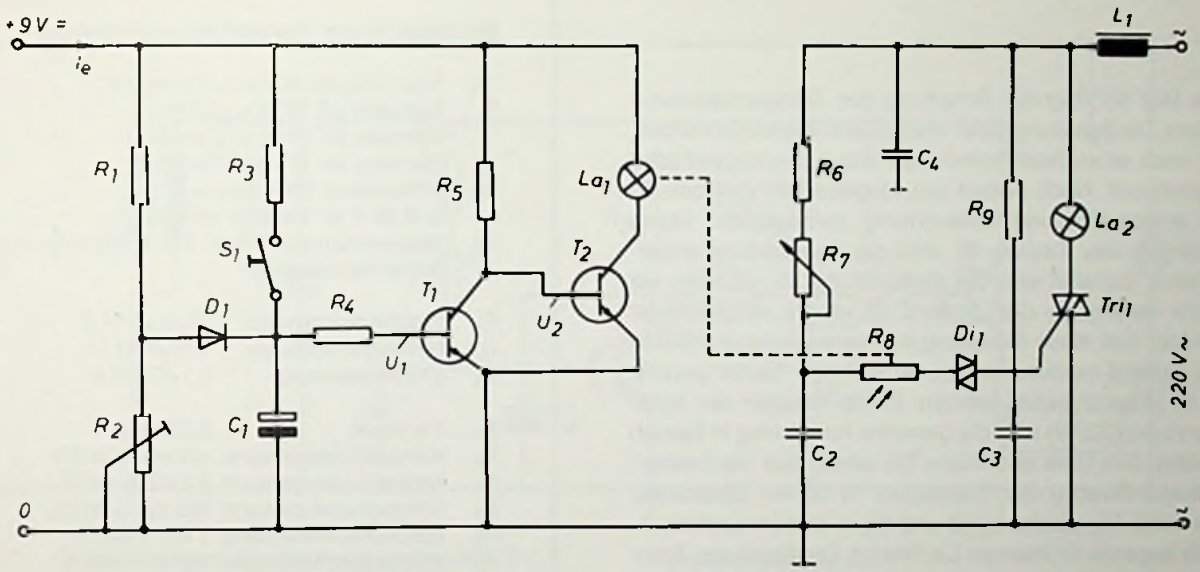
potentiometer R_2 eingestellt werden. Über R_1, R_2 und D_1 wird die Kondensatorspannung auf einem bestimmten Wert festgehalten. Dieser Wert wird mit dem Trimmpotentiometer R_2 eingestellt. Nach Öffnen des Schalters S_1 steigt die Beleuchtungsstärke langsam an. Der Kondensator C_1 entlädt sich über den Widerstand R_4 und die Basis-Emitter-Strecke von T_1. Wird der Widerstandswert von R_4 erhöht (z. B. 47 kΩ), so verlängert sich die Entladezeit entsprechend. Mit dem Potentiometer R_7 wird der auszusteuernde Helligkeitsbereich der Glühlampe La_2 eingestellt. Soll die Lampe La_2 noch langsamer ausgehen, so muß R_3 erhöht werden (z. B. 220 kΩ, 470 kΩ . . . 1 MΩ). Wird R_3 mit 100 kΩ eingesetzt, so geht die Lampe La_2 nach Schließen von S_1 innerhalb von ca. 10 sec langsam aus. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß ein Gatestrom von 30 mA fließen kann.

Die Schaltung wurde praktisch aufgebaut. Dabei wurde der Strom I_e der 9-V-Gleichspannungsversorgung zu 7,5 mA gemessen, wenn die Lampe La_1 nicht brennt und 90 mA, wenn die Lampe La_1 brennt. Die Messung der Spannungen U_1 und U_2 wurde mit einem Vielfachmeßinstrument durchgeführt. Der Innenwiderstand dieses Instrumentes betrug $R_i = 25$ kΩ/V. Folgende Spannungswerte wurden gemessen:

U_1 wenn La_1 nicht brennt:	2 V
U_1 wenn La_1 brennt:	0 V
U_2 wenn La_1 nicht brennt:	0,15 V
U_2 wenn La_1 brennt:	0,7 V

Stückliste für den automatischen Dimmer

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
Di_1	Diac A9903 o. ä. (Tabelle V)	
T_1	Transistor BC 109 o. ä. (Tabelle I)	
T_2	Transistor BD 135 o. ä. (Tabelle VI)	
R_1	Kohleschichtwiderstand	68 kΩ/¼ W/5%
R_2	Trimmpoti	20 kΩ lin
R_3	Kohleschichtwiderstand	100 kΩ/5%/¼ W (s. Text)
R_4	Kohleschichtwiderstand	22 kΩ/5%/¼ W
R_5	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/5%/¼ W
R_6	Drahtwiderstand	5,6 kΩ/5%/6 W
R_7	Potentiometer	470 kΩ lin/1 W
R_8	Fotowiderstand LDR 07 o. ä. (z. B. LDR 03, LDR 05, ORP 12, RPY 30)	
R_9	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/5%/¼ W
C_1	Elektrolytkondensator	1000 µF/16 V
C_2	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
C_3	Erofolkondensator	0,1 µF/630 V
C_4	Erofolkondensator	0,1 µF/630 V
La_1	Glühlampe 6,3 V/50 mA	
La_2	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	
S_1	Taster mit Arbeitskontakt	
1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \lessapprox 2{,}5$ °C/W		
L_1	Spule mit Ferritstab 150 µH (s. Wickelangabe)	



Wickelangabe für L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm Ø vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 m).

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

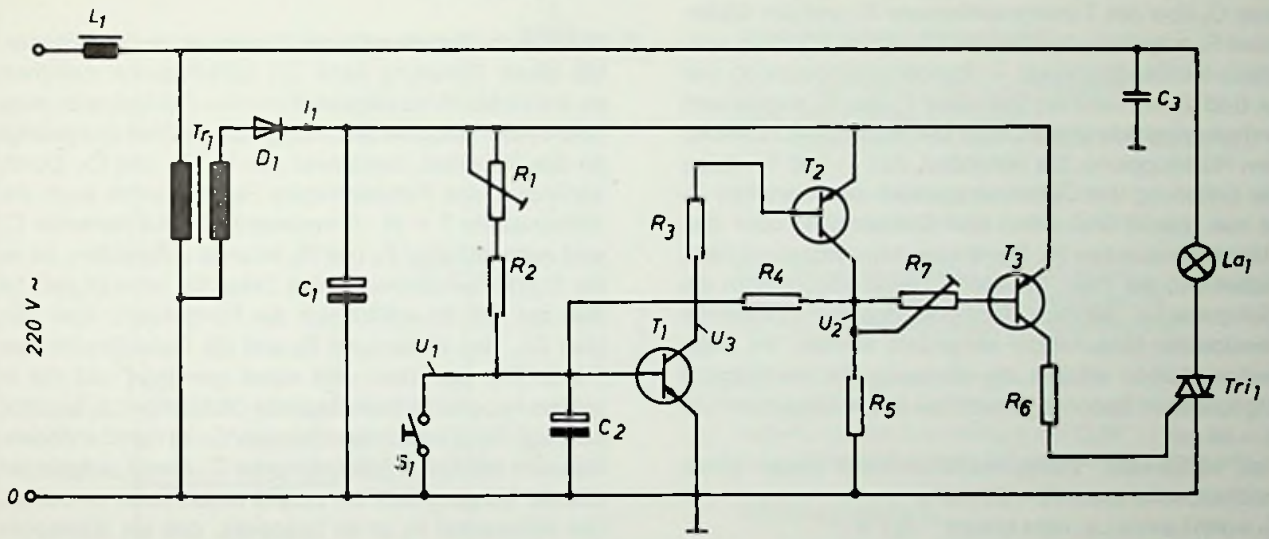
Bild 29
Schaltung des automatischen Dimmers

3. Treppenhausautomat

Das Bild 30 zeigt die Schaltung des Treppenhausautomaten. Die Schaltung kann überall dort eingesetzt werden, wo nach einer bestimmten Zeit das Licht abgeschaltet werden soll. Nach Ablauf der eingestellten Zeit erlischt die angeschlossene Beleuchtung automatisch. Durch Betätigen des Tasters S_1 wird die Beleuchtung eingeschaltet. Schaltet sich die Beleuchtung ab, so kann sie durch Betätigung des Tasters S_1 wieder eingeschaltet werden. Soll diese Schaltung von verschiedenen Stellen aus betätigt werden, so können mehrere Tasten parallel zu S_1 angeschlossen werden. Durch Anlegen der Netzspannung (220 V) wird die gesamte Anordnung in Betrieb gesetzt. Das Gate des Triacs Tri_1 erhält über die Emitter-Kollektor-Strecke des Transistors T_3 seinen Zündstrom. Der Triac Tri_1 zündet somit und die in seinem Laststromkreis liegende Glühlampe La_1 brennt. Die Basis des Transistors T_3 wird über das Trimmpotentiometer R_7 angesteuert. Mit diesem Trimmpotentiometer kann der Gatestrom von Tri_1 zwischen 17 und 48 mA eingestellt werden. Der verwendete Triactyp besitzt einen maximalen Zündstrom von 25 mA. Der Einstellbereich von R_7 ist damit ausreichend. Es können auch andere Triactypen zur Anwendung kommen. Der Gatestrom ist dann mit R_7 so einzustellen, daß der verwendete Triactyp noch sicher durchschaltet.

Stückliste für den Treppenhausautomaten

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
T_1	Transistor BC 107 o. ä. (Tabelle I)	
T_2	Transistor BC 177 o. ä. (Tabelle II)	
T_3	Transistor BC 177 o. ä. (Tabelle II)	
D_1	Siliziumdiode 1 N 4002 o. ä. (z. B. BYX 36/300, BTX 18/200)	
Tr_1	Netztransformator Primär: 220 V/Sekundär: 6,3 V (siehe Wickelangabe)	
C_1	Elektrolytkondensator	1000 µF/16 V
C_2	Elektrolytkondensator	470 µF/16 V
C_3	Erofolkondensator	0,1 µF/630 V
R_1	Trimmpoti	2,5 MΩ lin
R_2	Kohleschichtwiderstand	470 kΩ/¼ W/5%
R_3	Kohleschichtwiderstand	2,2 kΩ/¼ W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	390 kΩ/¼ W/5%
R_5	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/¼ W/5%
R_6	Kohleschichtwiderstand	150 Ω/¼ W/5%
R_7	Trimmpoti	100 kΩ lin
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	
S_1	Taster mit Arbeitskontakt	
1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leqq 2{,}5$ °C/W		
L_1	Spule mit Ferritstab 150 µH (nach Wickelangabe)	



Wickelangabe für den Netztransformator Tr_1

Primärspannung: 220 V
Sekundärspannung: 6,3 V
Kern nach DIN: M 42/15
Primärwicklung: 5080 Wdg., CuL-Draht 0,04 mm Ø.
Drahtlänge ca. 400 m
Sekundärwicklung: 147 Wdg., CuL-Draht 0,2 mm Ø,
Drahtlänge ca. 15 m

Wickelangabe für L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm Ø vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 m).

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

Bild 30
Schaltung des Treppenhausautomaten

Die Lampe La_1 brennt nun solange, bis sich der Kondensator C_2 über das Trimmpotentiometer R_1 und den Widerstand R_2 aufgeladen hat und der Transistor T_1 leitend wird. (Basis-Emitter-Spannung = Kondensatorspannung von ca. 0,65 V). Nun wird der Transistor T_2 über R_3 angesteuert und wird ebenfalls leitend. Über den Widerstand R_4 erfolgt eine Rückkopplung. Sie verhindert, daß T_1 und T_2 infolge der Entladung von C_2 erneut sperren. Der Transistor T_2 ist nun leitend und sperrt den Transistor T_3 über das Trimmpotentiometer R_7. Damit kann kein Gatestrom mehr fließen und der Triac Tri_1 sperrt. Damit erlischt auch die Glühlampe La_1. Mit dem Trimmpotentiometer R_1 kann die gewünschte Einschaltzeit eingestellt werden. Im praktischen Aufbau erfolgte die Messung der nachfolgend angegebenen Spannungswerte bei einem Gatestrom von $I_G = 30$ mA.
Das verwendete Vielfachmeßinstrument besaß einen Innenwiderstand von $R_i = 25$ kΩ/V.

U_1 wenn Lampe La_1 nicht brennt:	0,7 V
U_1 wenn Lampe La_1 brennt:	0 . . . 0,69 V (bei 0,7 V erlischt La_1 wieder)
U_2 wenn Lampe La_1 nicht brennt:	8,5 V
U_2 wenn Lampe La_1 brennt:	0 V
U_3 wenn Lampe La_1 nicht brennt:	0,1 V
U_3 wenn Lampe La_1 brennt:	8 V
I_1 wenn Lampe La_1 nicht brennt:	12 mA
I_1 wenn Lampe La_1 brennt:	30 mA

Mit der angegebenen Dimensionierung wurden im praktischen Aufbau einstellbare Schaltzeiten von ca. 20 sec. bis 10 Minuten erreicht.

4. Triac-Blinker

Die einfache Schaltung in Bild 31 zeigt einen Triac-Blinker. Mit dieser Schaltung kann die Blinkfrequenz zwischen ca. 0,5 Hz bis 10 Hz eingestellt werden. Die Netzspannung (220 V) wird durch die Diode D_1 gleichgerichtet und gelangt an das RC-Glied, bestehend aus R_1, R_2 und C_1. Durch Verändern des Potentiometers R_2 wird somit auch die Zeitkonstante $T = R \cdot C$ verändert. Der Kondensator C_1 wird zunächst über R_1 und R_2 solange aufgeladen, bis er die Durchbruchspannung des Diacs Di_1 erreicht hat. Ist dies der Fall, so entlädt sich der Kondensator über den Diac Di_1, den Widerstand R_3 und die Gate-Strecke des Triacs Tri_1. Der Triac wird somit getriggert und die in seinem Hauptstromkreis liegende Glühlampe La_1 leuchtet kurz auf. Der Elektrolytkondensator C_1 ist damit entladen. Nun wird der Elektrolytkondensator C_1 erneut aufgeladen und der Vorgang läuft wie bereits beschrieben erneut ab. Der Widerstand R_3 ist so ausgelegt, daß ein Gatestrom von max. 31 mA fließen kann. Damit ist beim angegebenen Triactyp ein sicheres Zünden gewährleistet. Die Schaltung ist relativ einfach. Es ist jedoch zu beachten, daß die Hell- und Dunkelzeit größeren Streuungen unterworfen ist. Beim praktischen Aufbau wurde eine Hellzeit von ca. 0,1 bis 0,5 sec erreicht. Am Elektrolytkondensator C_1 wurde eine Spannung von 34 V gegen 0 und am Potentiometer R_2 34...118 V (siehe Schaltbild) je nach Stellung des Potentiometers R_2 gemessen. Das verwendete Vielfachmeßinstrument hat einen Innenwiderstand $R_1 = 25$ kΩ/V.

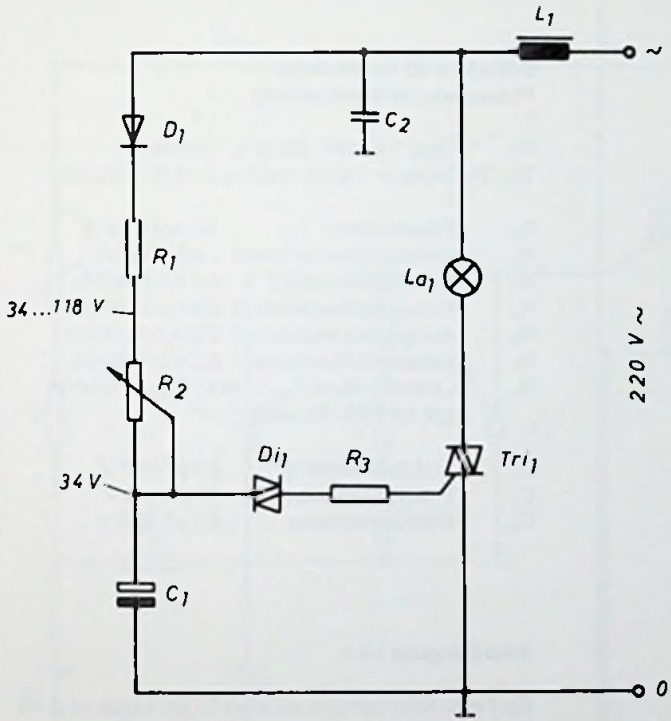


Bild 31 Schaltung des Triac-Blinkers

Stückliste für den Triac-Blinker

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
Di_1	Diac A9903 o. ä. (Tabelle V)	
D_1	Siliziumdiode 1 N 4007 o. ä. (DS 2-07, DS 1,2-07)	
C_1	Elektrolytkondensator	250 µF/70 V
C_2	Erofolkondensator	0,1 µF/630 V
R_1	Hochlastwiderstand 2,7 kΩ/3 W/5%	
R_2	Potentiometer	100 kΩ lin/1 W
R_3	Kohleschichtwiderstand	100 Ω/5%/¼ W
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261 600)	
	1 Kühlkörper für Triac mit R_{th} ≦ 2,5 °C/W	
L_1	Spule mit Ferritkern 150 µH (nach Wickelangabe)	

Wickelangabe für L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwas 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm Ø vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 m)

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

5. Einfache Phasenschnittsteuerung

In Bild 32 ist eine Schaltung dargestellt, die sich z. B. zur stufenlosen Veränderung der Leistungsaufnahme eines Heizkörpers oder eines Lötkolbens verwenden läßt. Diese Leistungsänderung erfolgt mit dem Potentiometer R_1. Die Ansteuerung des Triacs Tri_1 geschieht über eine bistabile Kippstufe, die aus den beiden Thyristoren Th_1 und Th_2 besteht. Der Kondensator C_2 liefert hier die Zündenergie für den Triac Tri_1. Die Phasenverschiebung wird durch die RC-Kombination R_1, R_2 und C_1 bewirkt. Die Zeitkonstante T wird mittels des Potentiometers R_1 verändert. Beim praktischen Aufbau wurden folgende Ströme und Spannungen gemessen. Das Vielfachinstrument, das zur Messung verwendet wurde, hatte einen Innenwiderstand von 25 kΩ/V. Alle Spannungen sind gegen Masse gemessen.

Spannung am Kondesator C_1: 35...200 V je nach Stellung des Potentiometers R_1

Gateströme von Th_1 und Th_2: je Thyristor 1,5 mA

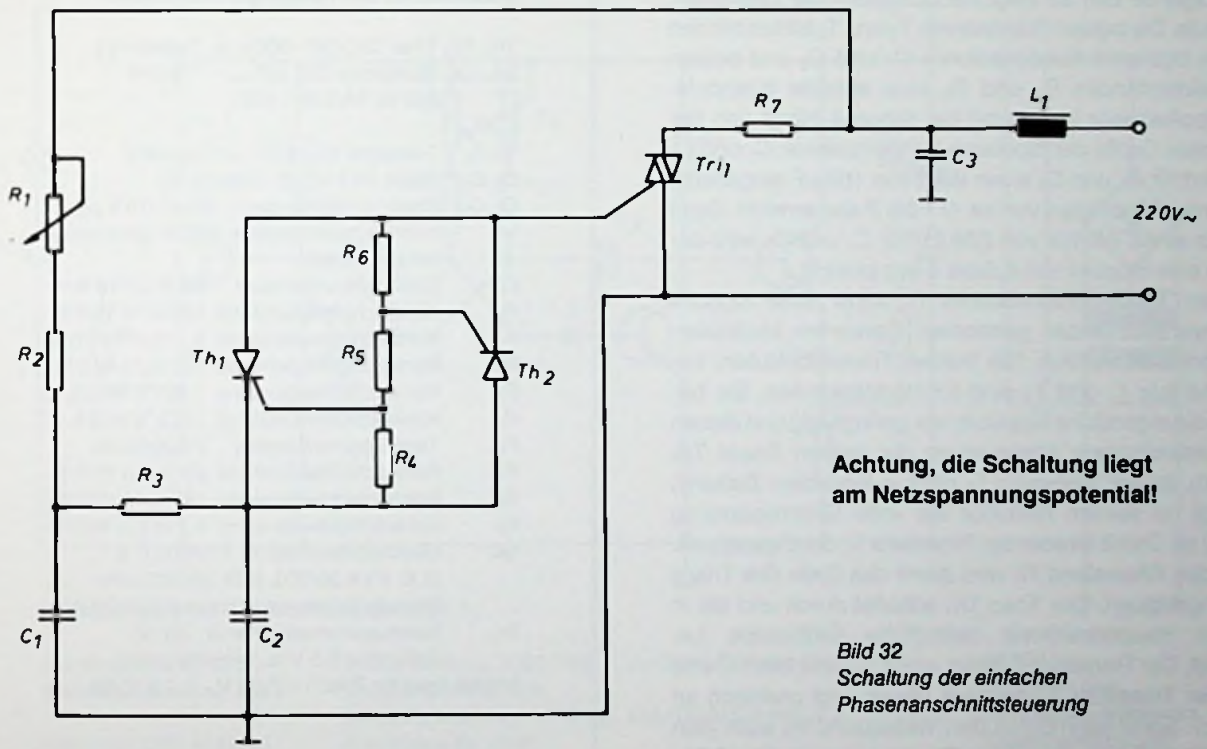
Beim Einsatz eines Widerstandes für R_3 von 6,2 kΩ, mit einer Leistung von 6 W, wurde ein Gatestrom für Tri_1 von 28 mA gemessen. Für den angegebenen Triactyp ist dies ausreichend, um diesen sicher durchzusteuern. Wird für den Widerstand R_3 ein Wert von 2,7 kΩ mit einer Leistung von 10 W eingesetzt, so kann ein Gatestrom von 55 mA fließen. Der Widerstand R_2 muß dann eine Leistung von 4 W aufweisen. Es können somit auch Triactypen, deren oberer Zündstromwert bei 55 mA liegt, eingesetzt werden.

Stückliste für die einfache Phasenanschnittssteuerung

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
Th_1, Th_2	Thyristor TAG 614-800 o. ä. (z. B. BRX 49)	
R_1	Potentiometer	100 kΩ lin/2 W
R_2	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/1 W/5%
R_3	Hochlastwiderstand	6,2 kΩ/6 W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	2,2 kΩ/¼ W/5%
R_5	Kohleschichtwiderstand	300 kΩ/¼ W/5%
R_6	Kohleschichtwiderstand	2,2 kΩ/¼ W/5%
R_7	Lastwiderstand R_{min} = 28 Ω/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	
C_1	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
C_2	Erofolkondensator	47 nF/400 V
C_3	Erofolkondensator	0,1 µF/630 V

Wickelangabe für L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm Ø vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 mm).



Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

Bild 32
Schaltung der einfachen Phasenanschnittsteuerung

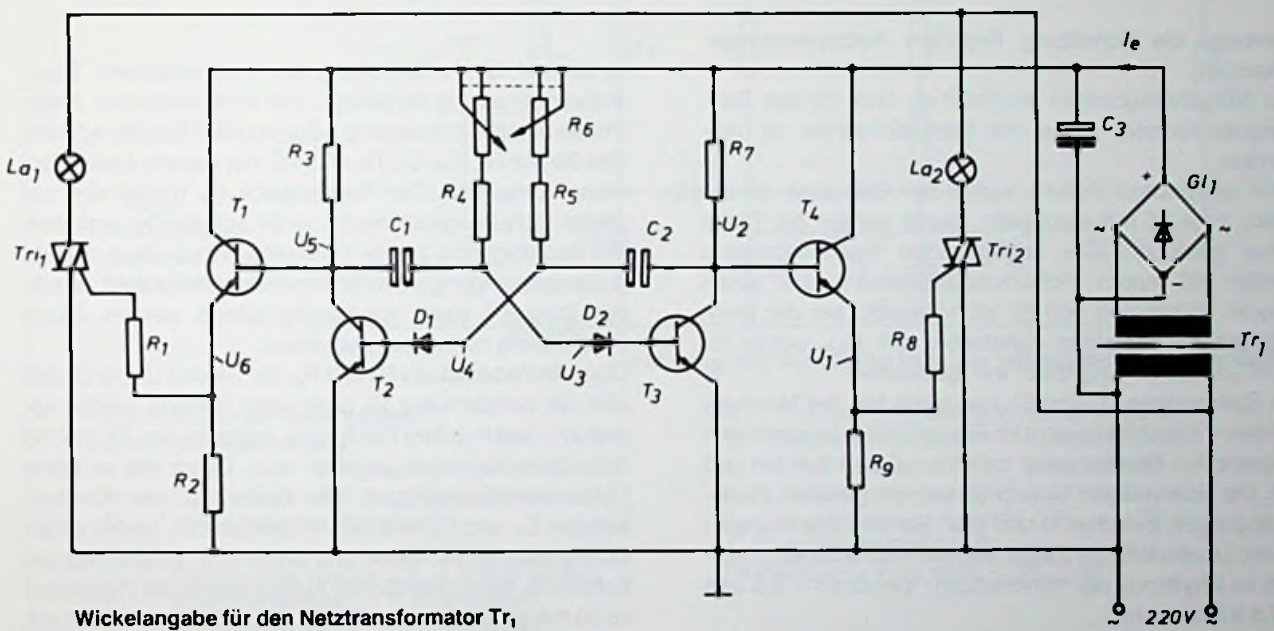
6. Leistungskippstufe

Das folgende Bild 33 zeigt die Schaltung der Leistungskippstufe. Die beiden Transistoren T_3 und T_2 bilden mit den beiden bipolaren Kondensatoren C_1 und C_2 und beiden Basiswiderständen R_4 und R_5 eine astabile Kippstufe. Die Kippfrequenz und damit die Kippzeit hängt von der gewählten Größe der bipolaren Kondensatoren C_1 und C_2 ab. Wird für C_1 und C_2 je ein Wert von 100 µF eingesetzt, so werden Kippzeiten von ca. 0,1 bis 2 sec erreicht. Beim Einsatz eines Wertes von 220 µF für C_1 und C_2 wird dagegen eine Kippzeit von 0,5 bis 3 sec erreicht.
Mit dem Tandempotentiometer R_6 kann diese Kippzeit zwischen den beiden genannten Eckwerten kontinuierlich verändert werden. Die beiden Transistorstufen, bestehend aus T_1 und T_4 sind Emitterfolgestufen. Sie belasten die eigentliche Kippstufe nur geringfügig und dienen der niederohmigen Ansteuerung der beiden Triacs Tri_1 und Tri_2. Ist der Transistor T_2 nicht in leitendem Zustand, so liegt an seinem Kollektor die volle Gleichspannung (7,6 V) an. Damit ist aber der Transistor T_1 durchgesteuert. Über den Widerstand R_1 wird damit das Gate des Triacs Tri_1 angesteuert. Der Triac Tri_1 schaltet durch und die in seinem Hauptstromkreis befindliche Glühlampe La_1 leuchtet. Der Transistor T_3 leitet, wenn T_2 nicht leitet. Damit wird der Transistor T_4 gesperrt (Basis liegt praktisch an Masse). Somit kann durch den Widerstand R_8 auch kein Gatestrom fließen. Der Triac Tri_2 ist gesperrt. Die Glühlampe La_2 bleibt dunkel.

Stückliste für den Leistungsmultivibrator

Tri_1, Tri_2	Triac TAG 241-600 o. ä. (Tabelle IV)	
La_1, La_2	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 241-600)	
T_1, T_2, T_3, T_4	Transistor BC 107 o. ä. (Tabelle I)	
D_1, D_2	Diode 1N914 o. ä. (Tabelle III)	
C_1, C_2	Bipolarer Kondensator 100 µF/16 V oder zwei Tantalelkos mit je 220 µF gegeneinander geschaltet	
C_3	Elektrolytkondensator	2200 µF/16 V
R_1	Kohleschichtwiderstand	180 Ω/¼ W/5%
R_2	Kohleschichtwiderstand	4,7 kΩ/¼ W/5%
R_3	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/¼ W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/¼ W/5%
R_5	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/¼ W/5%
R_6	Tandempotentiometer	2 x 10 kΩ lin
R_7	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/¼ W/5%
R_8	Kohleschichtwiderstand	180 Ω/¼ W/5%
R_9	Kohleschichtwiderstand	4,7 kΩ/¼ W/5%
Gl_1	Gleichrichterdiode 4 x 1N4002 o. ä. (z. B. BYX 36/300, BTX 18/200) oder Silizium-Brückengleichrichter B30C500	
Tr_1	Netztransformator Primär: 220 V/ Sekundär: 6,3 V (s. Wickelangabe)	

2 Kühlkörper für Triac 1 + 2 mit $R_{th} \leq 2{,}5$ °C/W



Wickelangabe für den Netztransformator Tr_1

Primärspannung: 220 V
Sekundärspannung: 6,3 V

Kern nach DIN: M 42/15

Primärwicklung: 5080 Wdg., CuL-Draht 0,04 mm Ø, Drahtlänge ca. 400 m
Sekundärwicklung: 147 Wdg., CuL-Draht 0,2 mm Ø, Drahtlänge ca. 15 m

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

Bild 33
Schaltung des Leistungsmultivibrators (Leistungskippstufe)

Die Widerstände R_1 und R_8 dienen der Strombegrenzung für die beiden Transistoren T_1 und T_4.

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!
Aus Sicherheitsgründen empfiehlt es sich, für das Tandempotentiometer eines mit Kunststoffachse zu verwenden.
Beim praktischen Aufbau wurde der Gatestrom beider Triacs zu je 35 mA gemessen. Damit werden die Triacs sicher getriggert. Die angegebenen Spannungswerte wurden mit einem Vielfachmeßinstrument, das einen inneren Widerstand von 25 kΩ/V besitzt, bei der langsamsten Blinkfrequenz (einstellbar mit R_6), wobei für $C_1 = C_2 = 220\ \mu F$ eingesetzt war, gemessen.
Die Spannungen U_1 und U_6 pendelten bei der Messung mit dem Vielfachinstrument im Rhythmus der langsamsten eingestellten Blinkfrequenz zwischen 0 und 7 V hin und her. Die Spannungen U_2 und U_5 bei den gleichen Randbedingungen zwischen 0 und 8 V. Bei den Spannungen U_3 und U_4 pendelte der Zeiger des Meßinstrumentes ebenfalls im Rhythmus der Blinkfrequenz zwischen −4,5 und +0,8 V hin und her.
Die beiden Triacs Tri_1 und Tri_2 können durch entsprechende Thyristoren (Gatestrom und Schaltleistung beachten) ersetzt werden. Jedoch werden dann die beiden Glühlampen La_1 und La_2 nur in jeder zweiten Halbperiode der Netzwechselspannung gesteuert. Der Strom I_C wurde zu 50 mA gemessen.

7. Hysteresefreie Triac-Vollwegsteuerung

In Bild 34 ist die Schaltung der hysteresefreien Triac-Vollwegsteuerung dargestellt. Bei einer einfachen Triac-Phasenanschnittsteuerung wäre von der Schaltung nach Bild 36 nur R_4, R_5, C_3, R_6 und Tri_1 mit seinem Lastwiderstand vorhanden. Der Kondensator C_3 würde sich bei dieser Schaltungsauslegung nicht vollständig entladen. Die nachfolgende zweite Halbwelle würde dann andere Anfangsbedingungen vorfinden. Dadurch bedingt, würde der Triac Tri_1 dann sprungartig leitend werden. Diese Erscheinung nennt man Hysterese.
Über die Widerstände R_2 und R_3, die Dioden D_1 bis D_4 lädt sich der Kondensator C_3 nach jeder Periode wieder soweit auf, daß in jedem Fall für das Aufladen von C_3 gleiche Anfangsbedingungen gegeben sind. Damit gibt es keine Hystereseerscheinungen. Die Spule L_1, die Kondensatoren C_1 und C_2 und der Widerstand R_1 bilden einen LC-Tiefpaß mit RC-Glied und dienen zur Entstörung der Schaltung. Beim praktischen Aufbau wurde der Gatestrom zu 30 mA gemessen. Der Strom durch R_2 wurde zu 5,6 mA und durch R_3 zu 6 mA gemessen. Obwohl beide Widerstände den gleichen Wert aufgedruckt hatten (Farbcode), müssen die Toleranzen berücksichtigt werden. Daher die beiden etwas von einander abweichenden Stromwerte. Der Spannungsabfall betrug an beiden Widerständen 120 V.

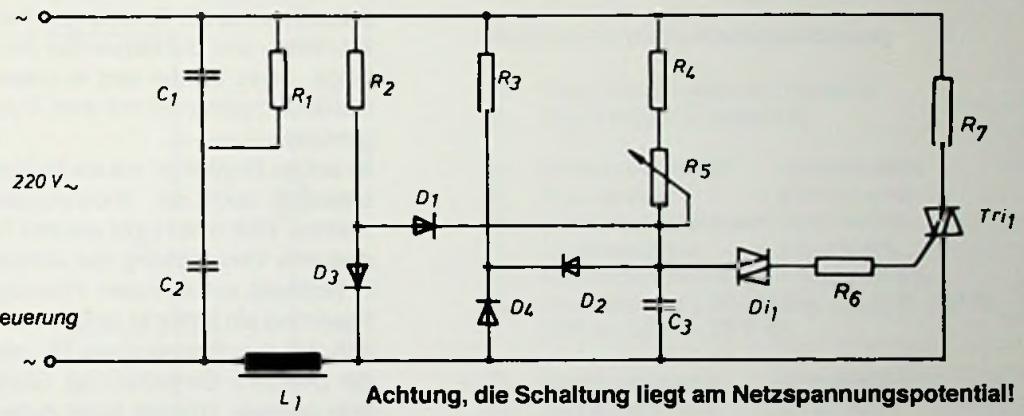


Bild 34
Schaltung der hysteresefreien Triac-Vollwegsteuerung

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

Stückliste für die hysteresefreie Triac-Vollwegsteuerung

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
Di_1	Diac A 9903 o. ä. (Tabelle V)	
D_1, D_2, D_3, D_4	Siliziumdiode 1N4004 o. ä. (z. B. BYX 36/600)	
C_1	Erofolkondensator	47 nF/630 V
C_2	Erofolkondensator	0,22 µF/630 V
C_3	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
L_1	Spule mit Ferritstab	150 µH (s. Wickelangabe)
R_1	Kohleschichtwiderstand	150 Ω/¼ W/5%
R_2	Kohleschichtwiderstand	22 kΩ/¼ W/5%
R_3	Kohleschichtwiderstand	22 kΩ/¼ W/5%
R_4	Hochlastwiderstand	5,6 kΩ/6 W/5%
R_5	Potentiometer	500 kΩ lin/1 W
R_6	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/1 W/5%
R_7	Lastwiderstand R_{min} = 28 Ω/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	

1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leq 2{,}5$ °C/W

Wickelangabe für L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm Ø vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 m).

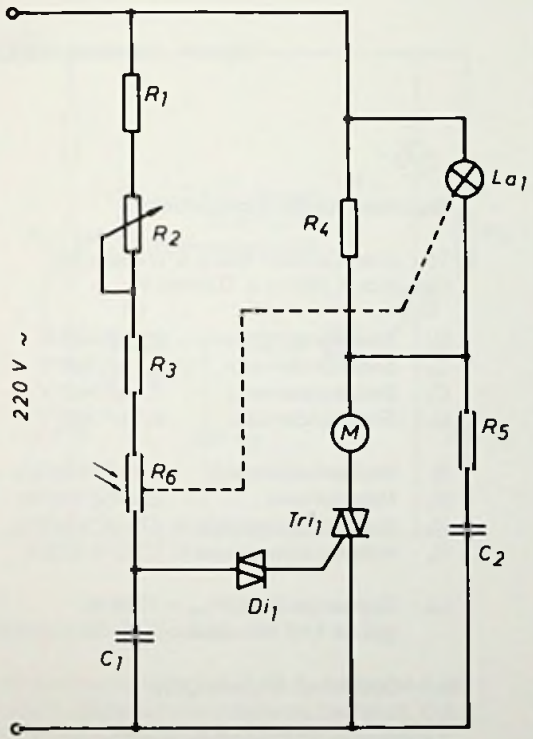
8. Drehzahlstabilisierung

Die Schaltung der Drehzahlstabilisierung ist in Bild 35 dargestellt. Mit dieser Schaltung läßt sich die Drehzahl innerhalb eines bestimmten Bereiches stabilisieren. Im Hauptstromkreis des Triacs Tri_1 liegt in Serie zum Motor M, dessen Drehzahl stabilisiert werden soll, der Widerstand R_4. Nach dem ohmschen Gesetz $U = I \times R$ fällt an ihm eine Spannung ab. Die Höhe dieser Spannung ist vom Strom I abhängig. Wird nun der laufende Motor abgebremst (Belastung des Motors an der Antriebswelle z. B. einer Bohrmaschine), so erhöht sich die Stromaufnahme. Dadurch bedingt, wird der Spannungsabfall an R_4 größer. Mit schwankender Belastung des Motors schwankt somit auch die Spannung an R_4 zwischen zwei Eckpunkten hin und her. Mit dieser Spannung wird die Lampe La_1 gespeist. Die Helligkeit dieser Lampe ist somit proportional zu den Belastungsschwankungen des Motors. Ein Heller- und Dunklerwerden der Glühlampe La_1 ist die Folge. Diese Lampe wird in einem lichtundurchlässigen Gehäuse zusammen mit dem Fotowiderstand R_6 untergebracht.

Im selben Rhythmus, wie die Helligkeit von La_1 schwankt, schwankt auch der Widerstandswert des Fotowiderstandes. Fällt mehr Licht auf den Fotowiderstand, so hat dies eine Verschiebung des Zündzeitpunktes des Triacs in Richtung auf kleineren Phasenwinkel zur Folge. Die Spannung am Motor M steigt an und die Drehzahl erhöht sich. Mit dem Potentiometer R_2 erfolgt die Voreinstellung der Drehzahl. Da jedoch der Glühfaden der Lampe La_1 eine gewisse Trägheit beim Aufleuchten oder Dunklerwerden besitzt, erfolgt die Nachregelung der Drehzahl mit einer gewissen Verzögerung.

Bei der praktisch aufgebauten Schaltung wurde der Gatestrom von Tri_1 mit 30 mA gemessen. Als Motor wurde eine Handbohrmaschine mit einer Leistung von 220 W verwendet. Der Strom durch R_4 wurde mit 0,2 . . . 1A gemessen. Der Widerstand R_5 und der Kondensator C_2 dienen der Funkentstörung.

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!



Stückliste für die Drehzahlstabilisierung

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
Di_1	Diac A 9903 o. ä. (Tabelle V)	
R_1	Hochlastwiderstand	5,6 kΩ/6 W/5%
R_2	Potentiometer	270 kΩ lin/1 W
R_3	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/1 W/5%
R_4	Drahtwiderstand	3 Ω/3 W/5%
R_5	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/¼ W/5%
R_6	Fotowiderstand LDR 07 Valvo o. ä. (z. B. LDR 03, LDR 05, ORP 12, RPY 30)	
C_1	Erofolkondensator	0,15 µF/400 V
C_2	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
M	Motor mit max. Leistung von 220 W	

1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leqq 2{,}5$ °C/W

La_1 Glühlampe für 4 V

Bild 35 Schaltung der Drehzahlstabilisierung

9. Lichtdimmer

Das Bild 36 zeigt die Schaltung des Lichtdimmers. In der Schaltung nach Bild 38 ist kein Ein-Aus-Schalter vorgesehen. Befindet sich das Potentiometer R_2 in Anfangsstellung (Linksanschlag), so ist der Lichtdimmer außer Betrieb, die Lampe La_1 bleibt dunkel. Erst nach etwa einer Viertelumdrehung des Potentiometers nach rechts beginnt der Dimmer zu arbeiten.
Der Triac Tri_1 leitet nur etwa während eines Viertels der Periodendauer. Über den Widerstand R_1, das Potentiometer R_2 und den Diac Di_1 erhält der Triac Tri_1 seinen Zündstrom. R_1 ist so dimensioniert, daß ein maximaler Gatestrom von 30 mA fließen kann.

Beachten Sie auch hier: Die Schaltung liegt am Netzspannungspotential. Es ist daher vorteilhaft, für R_2 ein Potentiometer mit Kunststoffachse zu verwenden.

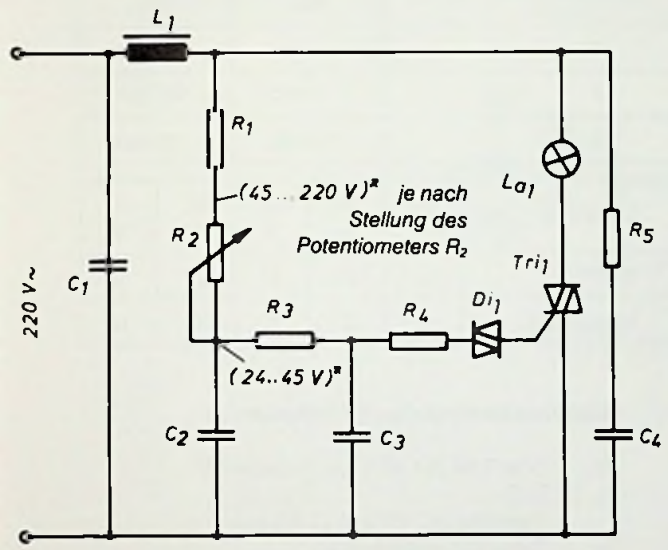
Der Widerstand R_5 und der Kondensator C_4 dienen zur Funkentstörung. Die Spule L_1 und der Kondensator C_1 sind eine zusätzliche Entstörungsmaßnahme. Diese Maßnahme ist dann notwendig, wenn der Dimmer in unmittelbarer Nähe (Abstand unter 1 m) von Sendern und Empfängern betrieben wird, die in einem Frequenzbereich unterhalb von 20 MHz arbeiten. Zu beachten ist jedoch, daß die Spule L_1 vom Laststrom durchflossen wird.

Bild 36 Schaltung des Lichtdimmers

Stückliste für den Lichtdimmer

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
Di_1	Diac A 9903 o. ä. (Tabelle V)	
C_1	Erofolkondensator	0,1 µF/630 V
C_2	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
C_3	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
C_4	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
R_1	Hochlastwiderstand	6,2 kΩ/6 W/5%
R_2	Potentiometer	250 kΩ/1 W/lin
R_3	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/½ W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	27 Ω/¼ W/5%
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	
L_1	Spule nach Wickelangabe	

1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leqq 2{,}5\,°C/W$



Wickelangabe für die Spule L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) vollständig bewickelt. CuL-Draht 1,5 mm ∅ (Drahtlänge ca. 4,5 mm).

10. Einstellbarer Zeitgeber

Das Bild 37 zeigt die Schaltung des einstellbaren Zeitgebers. Dieser Zeitgeber kann z. B. als Belichtungszeitgeber für Vergrößerungsapparate eingesetzt werden. Der Schalter S_2 dient zur Einstellung des entsprechenden Zeitbereiches. In diesem eingestellten Bereich läßt sich dann die Zeit mit dem Potentiometer R_6 stufenlos auf den gewünschten Zeitwert einstellen. Die so eingestellte Zeit läuft ab, wenn der Taster S_1 betätigt wurde.
Innerhalb dieses Zeitraumes ist der Triac Tri_1 leitend und die Lampe La_1 ist eingeschaltet. Über den Taster S_1, den Kondensator C_1 und die Diode D_1 erhält die Basis von T_1 ihre Ansteuerung. Der Transistor T_1 wird leitend. Damit liegt einer der Bereichskondensatoren (C_2, C_3 oder C_4 je nach dem mit S_2 eingestellten Bereich) mit seiner positiven Seite (am Kondensator mit Plus gekennzeichnet) an Masse. Die negative Seite des Elektrolytkondensators liegt dagegen an der Basis von T_2 an. Dadurch bedingt sperrt nun der Transistor T_2. Jetzt erhält der Transistor T_3 positives Potential an seiner Basis. T_3 wird damit durchgesteuert. Der nun fließende Kollektorstrom durch T_3 erzeugt am Widerstand R_8 einen Spannungsabfall der den Transistor T_4 nun ebenfalls durchsteuert. Damit erhält das Gate des Triac Tri_1 seinen notwendigen Steuerstrom. Der Triac wird durchgesteuert, die Lampe La_1 leuchtet.

Hat sich nun der Bereichskondensator entladen, so wird der Transistor T_2 leitend, sodaß dann die positive Spannung über $R_5 + R_6$ überwiegt. Damit werden die Transistoren T_3 und T_4 gesperrt. Es kann kein Gatestrom mehr fließen, der Triac Tri_1 sperrt und die Lampe La_1 leuchtet nicht mehr. Über den Widerstand R_4 erhält nun die Basis von T_1 Massepotential. Die Folge ist, daß nun T_1 sperrt. Durch erneutes Betätigen der Taste S_1 läuft der Vorgang wieder ab.
Die Schaltung ist praktisch aufgebaut worden. Dabei wurde der Gatestrom zu 31 mA gemessen. Damit ist ein sicheres Durchschalten des Triacs Tri_1 gewährleistet.

In den nachstehenden Tabellen sind die erreichten Zeiten in den einzelnen Stellungen des Stufenschalters S_2 angegeben. In der Praxis weicht der rechnerische Wert ab, da ja die Bauelemente Toleranzen besitzen.

Die in der unteren Tabelle angegebenen Spannungswerte wurden mit einem Vielfachmeßgerät, dessen $R_i = 25\,k\Omega/V$ betrug, gegen Masse gemessen.

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

Stellung von S_2	einstellbare Zeit von	einstellbare Zeit bis
1	1 sec	10 sec
2	10 sec	150 sec
3	150 sec	10 Min.

Lampe La_1	U_1 V	U_2 V	U_3 V	U_4 V	U_5 V
brennt	10,5	11,5	12	0,7	0
brennt nicht	0	0	0	0	12

Stückliste für einstellbaren Zeitgeber

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
T_1, T_2, T_3, T_4	Transistor BC 107 o. ä. (Tabelle I)	
S_1	Taster mit Arbeitskontakt	
S_2	Stufenschalter 1 Ebene, 1 x 3 Kontakte	
C_1	Erofolkondensator	15 nF/63 V
C_2	Elektrolytkondensator	2200 µF/16 V
C_3	Elektrolytkondensator	220 µF/16 V
C_4	Elektrolytkondensator	22 µF/16 V
D	Siliziumdiode 1N914 o. ä. (Tabelle III)	
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	

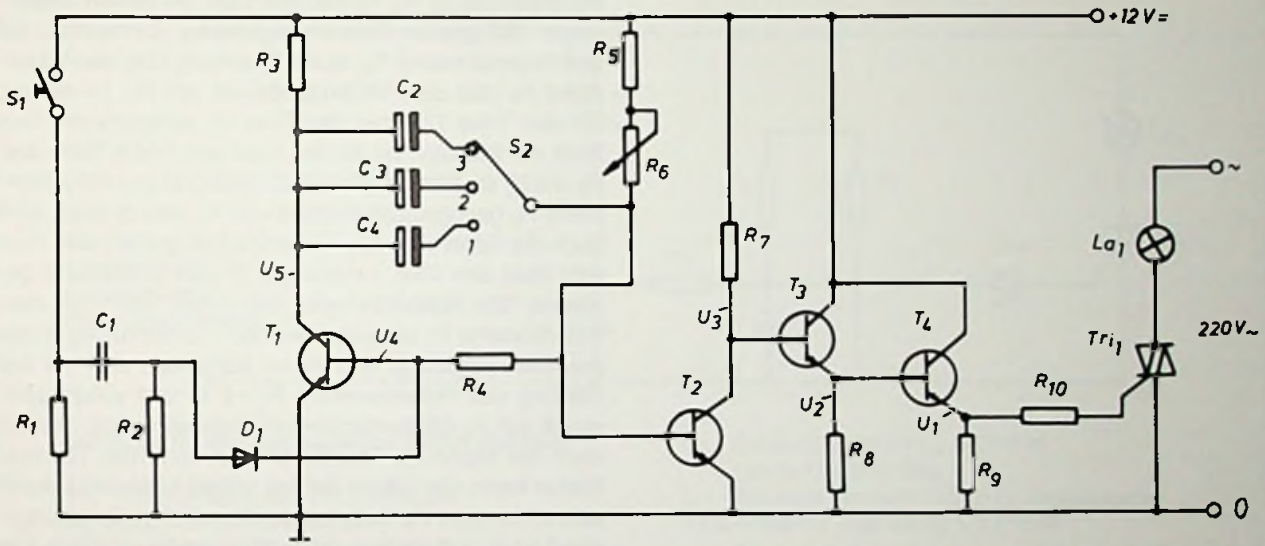


Bild 37 Schaltung des einstellbaren Zeitgebers

R_1	Kohleschichtwiderstand	24 kΩ/¼ W/5%
R_2	Kohleschichtwiderstand	180 kΩ/¼ W/5%
R_3	Kohleschichtwiderstand	4,7 kΩ/¼ W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	150 kΩ/¼ W/5%
R_5	Kohleschichtwiderstand	27 kΩ/¼ W/5%
R_6	Potentiometer	500 kΩ lin
R_7	Kohleschichtwiderstand	4,7 kΩ/¼ W/5%
R_8	Kohleschichtwiderstand	22 kΩ/¼ W/5%
R_9	Kohleschichtwiderstand	4,7 kΩ/¼ W/5%
R_{10}	Kohleschichtwiderstand	300 kΩ/½ W/5%

1 Kühlkörper für Triac mit R_{th} = 2,5 °C/W

11. Automatischer Helligkeitsregler

In Bild 38 ist die Schaltung des automatischen Helligkeitseinstellers dargestelt. Mit dieser Schaltung wird die Helligkeit an einer Arbeitsstelle konstant gehalten. Dies läßt sich durch eine lichtstärkeabhängige Phasenanschnittsteuerung mittels eines Fotowiderstandes realisieren. Der Fotowiderstand ist im Steuerkreis des den Triac Tri_1 triggernden Diacs Di_1 angeordnet.

Das Gate des Triacs Tri_1 erhält über das Potentiometers R_1, die Widerstände R_2, R_3 und den Diac Di_1 seinen Steuerstrom. Bei großer Beleuchtungsstärke (Lichteinfall auf den Fotowiderstand R_5) ist die Spannung über den Widerstand R_4 plus dem Widerstandswert von R_5, zu niedrig, um den Triac Tri_1 über den Diac Di_1 aufzusteuern. Das heißt der Steuerstrom für das Gate des Triacs fließt über R_4 und R_5 ab. Wird der Helligkeitseinfall auf den Fotowiderstand R_5 geringer (Widerstand von R_5 wird größer), wird auch die Spannung des Steuerkreises größer, der Triac wird über den Diac zunehmend in den Leitzustand gesteuert. Die Ansprechswelle des Triacs kann mit dem Potentiometer R_1 eingestellt werden. Die Schaltung wurde praktisch aufgebaut und ist so ausgelegt, daß bei der Stellung des Potentiometers $R_1 = 0\ \Omega$ und voller Lichteinfall auf R_5 (Widerstandswert niederohmig ca. 100 Ω) noch der maximale Steuerstrom für den Triac (25 mA) fließen kann. Der Strom der bei vollem Lichteinfall durch den Widerstand R_5 fließt, betrug 32 mA. Der Spannungsabfall an $R_4 + R_5$ betrug dabei 30 V, bei $I_G = 32$ mA. Die Messungen wurden mit einem Vielfachinstrument, dessen $R_i = 25\ k\Omega/v$ betrug, durchgeführt.
Die bei dem Betrieb dieser Triacschaltung auftretenden Störungen werden durch das LC-Glied, bestehend aus L_1 und C_1 und dem Kondensator C_3 weitgehend unterdrückt.

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

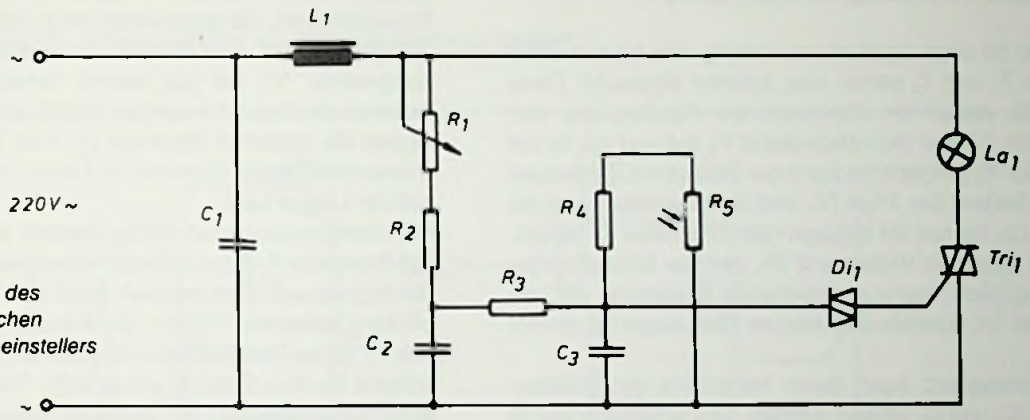


Bild 38
Schaltung des automatischen Helligkeitseinstellers

Stückliste für den automatischen Helligkeitsregler

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. Tabelle IV)	
Di_1	Diac A 9903 o. ä. (Tabelle V)	
C_1	Erofolkondensator	o,1 µF/630 V
C_2	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
C_3	Erofolkondensator	0,22 µF/400 V
R_1	Potentiometer	25 kΩ lin/1 W
R_2	Hochlastwiderstand	4,7 kΩ/5 W/5%
R_3	Kohleschichtwiderstand	1,0 kΩ/2 W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/0,5 W/5%
R_5	Fotowiderstand RPY 30 o. ä. (z. B. LDR 07, LDR 03, LDR 05, ORP 12)	

La_1 Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)
L_1 Spule mit Ferritkern 150 µH (s. Wickelangabe)
1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leq 2{,}5$ °C/W

Wickelangabe für L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm ∅ vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 m).

12. Blinkerschaltung mit einer Lampe

Das Bild 39 zeigt die Blinkerschaltung. Die beiden Transistoren T_1 und T_2 bilden eine astabile Kippstufe. Diese Kippstufe steuert im Rhythmus der Kippfrequenz den Transistor T_3 über den Widerstand R_5 auf und zu. Ist der Transistor T_3 gesperrt, so kann der Gatestrom (gemessen 27 mA) fließen. Der Triac Tri_1 wird durchgesteuert und die Lampe La_1 brennt. Ist dagegen der Transistor T_3 leitend, so liegt über den Widerstand R_7, der der Gatestrombegrenzung dient, keine ausreichende Steuerung vor, die den Triac Tri_1 durchsteuern könnte. Die Lampe La_1 brennt nicht.

Die Blinkfrequenz kann durch Verändern der Kondensatoren C_1 und C_2 variiert werden. Die Schaltung wurde praktisch aufgebaut. Die Spannungen wurden mit einem Vielfachinstrument mit R_i = 25 kΩ/V gegen Masse gemessen.

Im praktischen Aufbau wurden die Kondensatoren C_1 und C_2 mit je 1 µF eingesetzt. Die Folge war eine sehr hohe Blinkfrequenz. Die Lampe La_1 flackerte. Beim Einsetzen zweier Kondensatoren (C_1 und C_2) mit einem Kapazitätswert von je 2 µF blinkte die Glühlampe La_1 ca. alle 0,25 sec auf. Als nächstes wurde für C_1und C_2 der Wert von 10 µF je Kondensator eingesetzt. Jetzt blinkte die Glühlampe La_1 ca. jede Sekunde einmal auf. Beim Einsetzen des Kapazitätswertes von 50 µF blinkte die Glühlampe alle 5 sec und bei einem Kapazitätswert von 100 µF alle 7 sec einmal auf. C_1 und C_2 sind bipolare Kondensatoren.

Es können z. B. auch zwei Tantalelkos mit dem doppelten Kapazitätswert, die gegeneinander zu schalten sind, verwendet werden. Das Messen der angegebenen Spannungswerte (U_1 bis U_3) konnte zunächst nicht ohne weiteres durchgeführt werden. Durch das Hin- und Herkippen der astabilen Kippstufe (T_1 und T_2) waren die zu messenden Spannungen nur kurz vorhanden (kurze Blinkzeit der Lampe La_1).

Um die Spannungen U_1 bis U_3 messen zu können wurde der Transistor T_1 durch Anlegen einer positiven Spannung durchgesteuert. Dies geschah durch Herstellen einer Verbindung zwischen +12 V= der Schaltung und der Basis von T_1. Diese Drahtbrücke muß nach der Messung wieder entfernt werden. Danach wurde beim Transistor T_2 in der eben beschriebenen Form genauso verfahren. Die folgende Tabelle gibt Aufschluß über das Meßergebnis.

Lampe La_1 brennt nicht				
Plusspannung an Basis T_2	U_1 (V) 11,4	U_2 (V) 0	U_3 (V) 0,25	T_1 gesperrt T_2 durchgesteuert T_3 durchgesteuert

Lampe La_1 brennt				
Plusspannung an Basis T_1	U_1 (V) 0	U_2 (V) 11,4	U_3 (V) 4	T_1 durchgesteuert T_2 gesperrt T_3 gesperrt

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

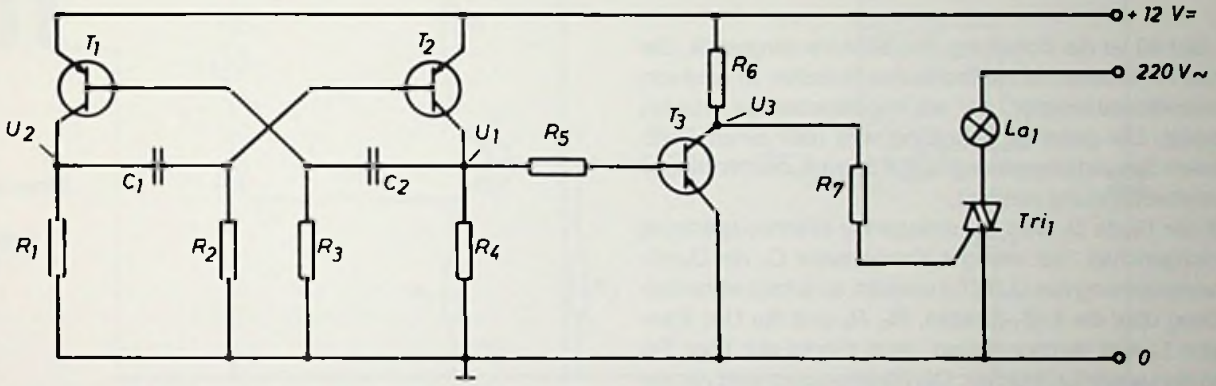


Bild 39 Blinkerschaltung mit einer Lampe

Stückliste Blinkerschaltung

Tri_1 Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)
T_1, T_2 Transistor BC 177 o. ä. (Tabelle II)
T_3 Transistor BC 107 o. ä. (Tabelle I)
R_1 Kohleschichtwiderstand 500 Ω/½ W/5%
R_2 Kohleschichtwiderstand 100 kΩ/¼ W/5%
R_3 Kohleschichtwiderstand 100 kΩ/¼ W/5%
R_4 Kohleschichtwiderstand 500 Ω/½ W/5%
R_5 Kohleschichtwiderstand 10 kΩ/¼ W/5%
R_6 Kohleschichtwiderstand 270 Ω/½ W/5%
R_7 Kohleschichtwiderstand 100 Ω/¼ W/5%
C_1, C_2 Bipolarer Kondensator (s. Text) oder zwei Tantal mit doppeltem Wert gegeneinander geschaltet
La_1 Lampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)
1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leq 2{,}5$ °C/W

13. Blinkerschaltung mit Unijunktionstransistor

In Bild 40 ist die Schaltung des Blinkers dargestellt. Der Triac Tri_1 arbeitet als elektronischer Schalter. Er wird vom Unijunktionstransistor, der als Impulsgenerator arbeitet, betätigt. Die gesamte Schaltung wird über einen Trafo, dessen Sekundärspannung 12,6 V beträgt, mit der nötigen Betriebsspannung versorgt.
Mit der Diode D_1 wird die anliegende Wechselspannung gleichgerichtet. Hat nun der Kondensator C_1 die Durchbruchspannung des UJT (T_2) erreicht, so erfolgt seine Entladung über die E-B_1-Strecke, R_5, R_4 und R_3. Der Transistor T_1 wird durchgesteuert. Jetzt zündet der Triac Tri_1 und die Lampe La_1 leuchtet. Die Blinkfrequenz wird von der Zeitkonstanten R_6, R_7 und C_1 bestimmt. Mit dem Potentiometer R_7 wird die Blinkfrequenz, mit dem Trimmpotentiometer R_5 die Leuchtdauer der Lampe La_1 bestimmt. Alle angegebenen Spannungen wurden mit einem Voltmeter, dessen R_i = 25 kΩ/V betrug, gegen Masse gemessen. Es sind dies die folgenden Spannungswerte:

U_1 (V): 0,2...1,5 V
U_2 (V): 1...2,2 V je nach Stellung des Potentiometers R_7
U_3 (V): 5,6...15 V

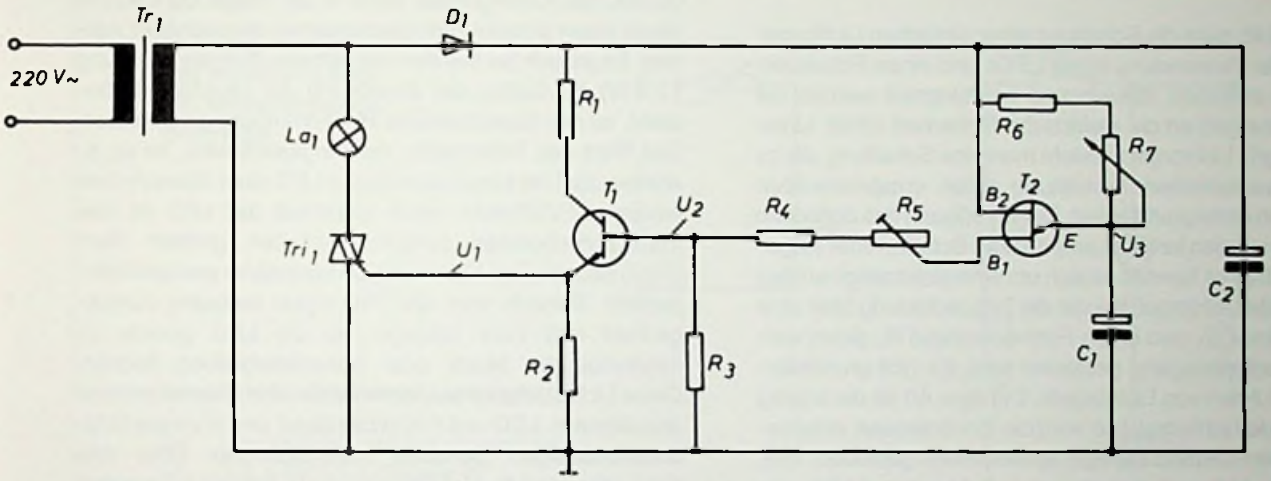
Der Gatestrom wurde zu 28 mA gemessen.

Bild 40
Blinkerschaltung mit Unijunktions-Transistor

Wickelangabe für den Netztransformator Tr_1

Primärspannung: 220 V
Sekundärspannung: 12,6 V

Kern nach DIN: M 65/27
Primärwicklung: 1700 Wdg., CuL-Draht 0,2 mm ∅, Drahtlänge ca. 213 m
Sekundärwicklung: 97 Wdg., CuL-Draht 0,8 mm ∅, Drahtlänge ca. 16 m



Stückliste für die Blinkerschaltung mit UJT

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
T_1	Transistor BC 107 o. ä. (Tabelle I)	
T_2	Unijunktionstransistor 2 N 2646	
D_1	Siliziumdiode 1 N 4002 o. ä. (z. B. BYX 36/300, BTX 18/200)	
La_1	Glühlampe 12 V/P_{max} = 12 W	
C_1	Elektrolytkondensator	2,2 µF/16 V Tantal
C_2	Elektrolytkondensator	1000 µF/25 V
R_1	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/1/2 W/5%
R_2	Kohleschichtwiderstand	2,2 kΩ/1/4 W/5%
R_3	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/1/4 W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	100 Ω/1/4 W/5%
R_5	Trimmpoti	2 kΩ lin
R_6	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/1/4 W/5%
R_7	Potentiometer	47 kΩ lin

1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leq 2{,}5$ °C/W

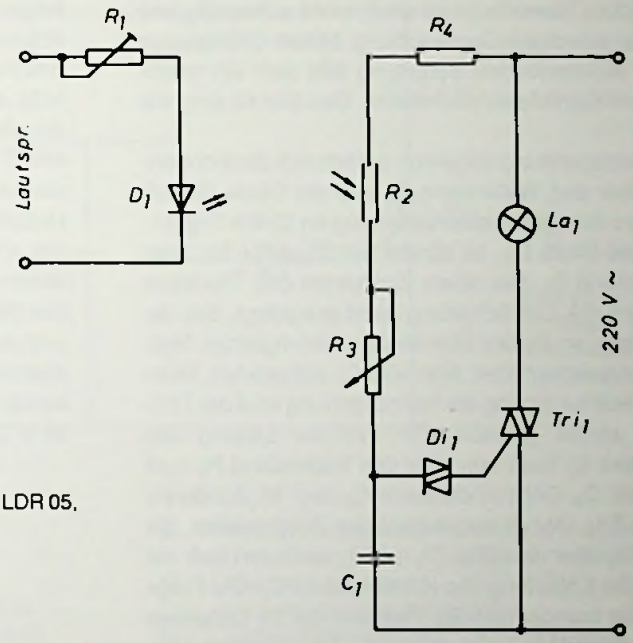
Tr_1 Netztransformator Primär: 220 V/Sekundär: 12,6 V (s. Wickelangabe)

14. Einfache Lichtorgel

Das Bild 41 zeigt die Schaltung einer einfachen Lichtorgel. Durch die Verwendung eines LEDs und eines Fotowiderstandes zwischen Steuer- und Leistungsteil werden die Anforderungen an die elektrische Sicherheit erfüllt. Unter dem Begriff Lichtorgel versteht man eine Schaltung, die zu einer musikalischen Darbietung einen entsprechenden optischen Untergrund liefert. Zur Erzeugung des optischen Effektes werden farbige Lampen oder Scheinwerfer eingesetzt. In Bild 44 handelt es sich um eine einkanalige analog arbeitende Lichtorgel, bei der die Triacschaltung über eine Leuchtdiode D_1 und einen Fotowiderstand R_2 direkt vom Lautsprecherausgang gesteuert wird. Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Lichtorgeln. Die eine Art ist die analog arbeitende Lichtorgel. Hier wird die Lichtintensität entsprechend dem Lautstärkepegel kontinuierlich gesteuert, d. h. zwischen hell und dunkel sind beliebig viele Lichtwerte möglich. Bei der digitalen Lichtorgel bleibt die Lampe nach Überschreiten eines bestimmten Lautstärkewertes für eine bestimmte (einstellbare) Zeitdauer mit konstanter Stärke eingeschaltet. Eine dritte Variante ist die hybride Lichtorgel. Hier wird die Lichtquelle beim Überschreiten eines Lautstärkeschwellwertes konstant eingeschaltet, sie verlischt jedoch erst wieder, wenn die Lautstärke unter den Schwellwert sinkt.

Bei der Schaltung nach Bild 44 wird die Leuchtdiode parallel über R_1 zum Lautsprecher geschaltet. Die LED benötigt eine Spannung von 2 V und einen Strom von 20 mA. Bei Koffergeräten kann in der Regel die Leuchtdiode direkt parallel zum Lautsprecher angeschaltet werden. Da jedoch bei Geräten mit höherer Ausgangsleistung (> 4 W) die Gefahr der Zerstörung der Leuchtdiode besteht, ist der Vorwiderstand R_1 (Trimmpoti) einzusetzen. Der Wert des Trimmpotis, der eingestellt wird, ist so zu wählen, daß die Maximalwerte der LED nicht überschritten werden (2 V/20 mA). Nach Anschluß der LED ist das Trimmpotentiometer zunächst auf den größten Wert (1 kΩ) einzustellen. Dann wird die Lautstärke am Gerät eingestellt. Danach wird das Trimmpoti langsam zurückgedreht und zwar solange, bis die LED gerade im Rhythmus der Musik oder Sprachdarbietung flackert. Diese Lichtstärke ist ausreichend um den Fotowiderstand anzusteuern. LED und Fotowiderstand sind in einem lichtundurchlässigen Gehäuse unterzubringen. Über den Fotowiderstand R_2 wird dann das Gate des Triacs über den Diac entsprechend gesteuert. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß der verwendete Triac-Typ auch an der oberen Zündstromgrenze liegen kann (25 mA). Mit dem Potentiometer R_3 kann noch der Hell- und Dunkelbereich, in dem die Lampe La_1 im Rhythmus der Musik flackern soll, eingestellt werden. Der verwendete Fotowiderstand vom Typ LDR 07 besitzt eine maximale Leistung von 200 mW. An ihm fällt eine Spannung von 4,6 V ab. Der Strom durch R_2 wurde zu 30 mA gemessen. Die an R_2 abfallende Leistung ist dann $P = U \times I = 4{,}6 \times 0{,}03 = 0{,}138\ W = 138\ mW$. Der Typ ist somit ausreichend.

Achtung, ein Teil der Schaltung liegt am Netzspannungspotential!



Stückliste für die einfache Lichtorgel

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
Di_1	Diac A 9903 o. ä. (Tabelle V)	
R_1	Trimmpoti	1 kΩ lin
R_2	Fotowiderstand LDR 07 o. ä. (z. B. LDR 03, LDR 05, ORP 12, RPY 30)	
R_3	Potentiometer	47 kΩ lin
R_4	Hochlastwiderstand	6,8 kΩ/7 W/5%
C_1	Erofolkondensator	0,47 µF/400 V
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	
1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leq 2{,}5$ °C/W		
D_1	Leuchtdiode 2 V, 20...30 mA	

Bild 41 Schaltung der einfachen Lichtorgel

15. Elektrisches Kaminfeuer

Ein natürliches Kaminfeuer ist doch recht aufwendig und bedarf einer ständigen Überwachung. Mittels Glühlampen und einer elektronischen Schaltung läßt sich ein relativ realistisches Kaminfeuer nachbilden. Das Bild 42 zeigt die Schaltung.

Wird die Netzspannung angelegt, so lädt sich der Kondensator C_1 über den Widerstand R_2 und die Diode D_1 auf. Erreicht nun die Kondensatorspannung an C_1 die Triggerschwelle des Diacs Di_1, so zündet der Thyristor Th_1 über den Widerstand R_1. Der obere Zündstrom des Thyristors Th_1 beträgt 5 mA. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß der Thyristor, falls er an der oberen Zündstromgrenze liegt, noch sicher durchschaltet. Nun wird C_2 aufgeladen. Beim folgenden Nulldurchgang der Netzspannung wird der Thyristor Th_1 wieder gelöscht. Ein Teil der Ladung des Kondensators C_2 fließt nun über den Widerstand R_3 zum Kondensator C_3. Der Kondensator C_3 liegt im Zündkreis des Triacs Tri_1. Der Phasenwinkel der Zündimpulse, die der Triac Tri_1 über den Diac Di_2 erhält, verändert sich mit zunehmender Entladung des Kondensators C_2. Die Folge davon ist ein unregelmäßiges Flackern der im Ladekreis des Triacs liegenden Glühlampe La_1. Der gesamte Vorgang wiederholt sich, wenn die Spannung an C_1 erneut die Triggerschwelle des Diacs Di_1 erreicht. Um ein sicheres Zünden des Triacs zu gewährleisten (oberer Zündstrom nach dem Datenblatt 25 mA), wurde die Schaltung so dimensioniert, daß dieser Zündstrom im Bedarfsfall auch sicher fließen kann. Die maximale Lampenleistung darf beim eingesetzten Triac-Typ (TGA 261-600) 1700 W betragen. Der Triac ist auf einen Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand von $R_{th} = 2{,}5\,°C/W$ zu montieren. Durch Erhöhen der Kapazität von C_1 wird der Flackereffekt erhöht. Im praktischen Aufbau wurde für den Elektrolytkondensator C_1 der Wert von 1500 µF eingesetzt. Der Flackereffekt reichte dann (im Gegensatz zu C_1 = 500 ⊠F) vom Glimmen des Glühfadens der Lampe bis hin zur vollen Helligkeit der Lampe.

Die angegebenen Spannungen wurden mit einem Vielfachinstrument gemessen, dessen R_i = 25 kΩ/V betrug. Der Strom durch den Widerstand R_i wurde zu 3,5...5 mA und der Strom durch R_3 zu 11...25 mA, je nach Flackerzustand der Lampe La_1, gemessen. Am Kondensator C_2 wurde eine Spannung von 230 V gemessen, an C_1 jedoch 35 V. Der Gatestrom des Thyristors betrug 5 mA.

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

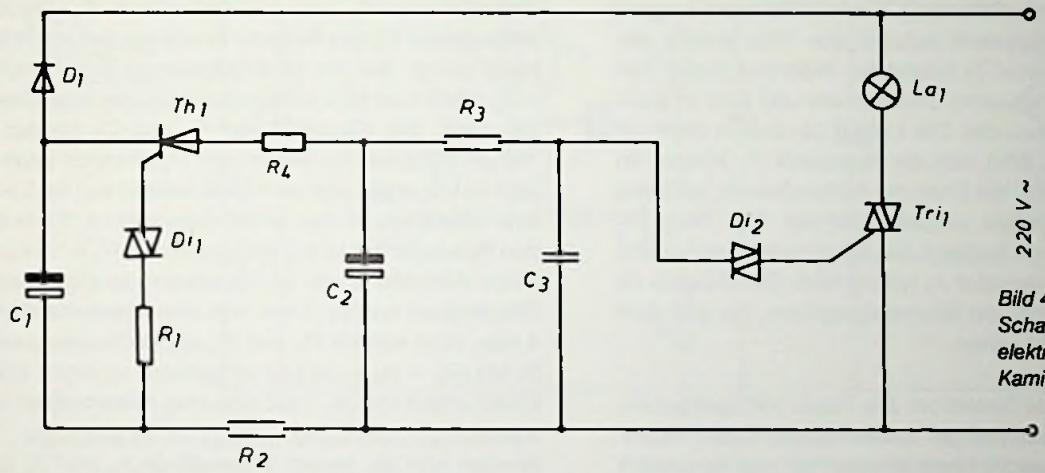


Bild 42
Schaltung des elektronischen Kaminfeuers

Stückliste für das elektrische Kaminfeuer

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)
Th_1	Thyristor TAG 614-800 o. ä. (z. B. BRX 43, TAG 06-400, TAG 511-600, TAG 512-600)
D_1, D_2	Diac A 9903 o. ä. (Tabelle V)
D_1	Siliziumdiode 1N4005 o. ä. (z. B. BYX 36/600)
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)

C_1	Elektrolytkondensator	500 µF/50 V (andere Werte siehe Text)
C_2	Elektrolytkondensator	10 µF/350 V
C_3	Erofolkondensator	4,7 nF/100 V
R_1	Kohleschichtwiderstand	150 Ω/¼ W/5%
R_2	Kohleschichtwiderstand	27 kΩ/1 W/5%
R_3	Hochlastwiderstand	6,8 kΩ/5 W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	100 Ω/½ W

1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leqq 2{,}5$ °C/W

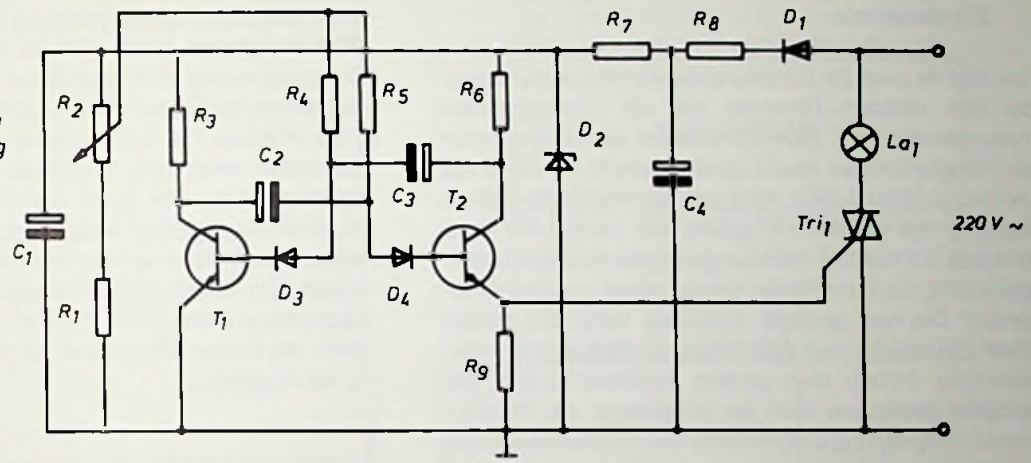
16. Netzbetriebene Blinkerschaltung

Das Bild 43 zeigt die Schaltung. Ein Triac in Verbindung mit einer astabilen Kippstufe schaltet den Triac jeweils ein, wenn der Transistor T_2 leitend ist. Während dieser Zeit erhält der Triac dauernd Steuerstrom und wird in jeder Netzhalbwelle gezündet. Die Lampe La_1 brennt dann mit voller Helligkeit. Wird nun der Transistor T_1 leitend, so löscht der Triac Tri_1 am Ende der Netzhalbwelle, während welcher die Kippstufe umgeschaltet hat. Der Triac Tri_1 bleibt dann solange gesperrt, bis die Kippstufe umschaltet und damit der Transistor T_2 leitend wird. Die Z-Diode D_3 dient zur Ableitung von Spannungsspitzen, die aus dem Netz herkommen können.

Wird der fließende Gatestrom des Triacs nachgemessen, so ist zu beachten, daß der Gatestrom im Rhythmus der Blinkfrequenz zwischen zwei Werten hin- und herpendelt (Meßwert: 3,5...4,5 mA). Dieser Meßwert ist auf die Trägheit des Meßinstrumentes zurückzuführen. Um den maximalen Gatestrom (25 mA) zu messen, wurde über die Diode D_4 der Basis von T_2 direkt positives Spannungspotential zugeführt. Die Blinkfrequenz betrug bei Verwendung von zwei Elkos mit je 50 µF für C_2 und C_3 je nach Potentiometereinstellung des Potis R_2 1...1,5 Hz. Bei Verwendung von zwei Elkos mit je 100 µF für C_2 und C_3 betrug die Blinkfrequenz 2...3 Hz.
Diese Schaltung kann auch zur Veränderung der von einem Heizkörper (z.B. Lötkolben), aufgenommenen Leistung dienen. Soll die Schaltung für diesen Zweck eingesetzt werden, so entfällt der Elektrolytkondensator C_1, das Potentiometer R_2 und der Widerstand R_1. Die beiden Widerstände R_4 und R_5 (je zu 15 kΩ) werden an Plusspannung gelegt. Bei der so angegebenen Schaltungsänderung erhält man eine Einschaltzeit für den Heizkörper von ca. 1 sec. Die Kapazität von C_2 und C_3 beträgt dabei 100 µF. Wird nun der Widerstand R_4 geändert (statt 15 kΩ jetzt 56 kΩ, ergibt sich eine Einschaltzeit von ca. 2 sec und eine Ausschaltzeit des Heizkörpers von ca. 1,5 sec. Wird nun R_4 wieder mit 15 kΩ eingesetzt und R_5 = 15 kΩ durch einen Widerstand von 56 kΩ ersetzt, so ergibt sich eine Einschaltzeit von ca. 1 sec und eine Abschaltzeit von ca. 4 sec. Wird nun für R_4 und R_5 ein Widerstandswert von 56 kΩ ($R_4 = R_5 = 56$ kΩ) eingesetzt, so ergibt sich eine Einschaltzeit von ca. 1 sec und eine Ausschaltzeit von ca. 3 sec.
Werden jetzt die beiden Widerstände R_4 und R_5 und die beiden Dioden D_3 und D_4 weggelassen, so ergibt sich eine Einschaltzeit des Heizkörpers von ca. 2 sec und eine Ausschaltzeit von ca. 3 sec.
Bei dem verwendeten Triac-Typ TGA 261-600 darf der Verbraucher eine Leistung bis zu 1700 W besitzen.

Achtung, die Schaltung liegt am Netzspannungspotential!

Bild 43
Schaltung der netzbetriebenen Blinkerschaltung



Stückliste für die netzbetriebene Blinkerschaltung

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
D_1	Siliziumdiode 1N4007 o. ä. (z. B. BYX 36/600)	
D_2	Z-Diode ZPD 18 o. ä. (z. B. ZP 18, ZF 18)	
D_3, D_4	Siliziumdiode BA 170 o. ä. (Tabelle III)	
T_1, T_2	Transistor BC 107 o. ä. (Tabelle I)	
C_1	Elektrolytkondensator	250 µF/25 V
C_2	Elektrolytkondensator	50 µF/25 V (andere Werte siehe Text)
C_3	Elektrolytkondensator	50 µF/25 V
C_4	Elektrolytkondensator	100 µF/100 V
R_1	Kohleschichtwiderstand	2,2 kΩ/¼ W/5%
R_2	Potentiometer	2,5 kΩ lin
R_3	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/1 W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	15 kΩ/¼ W/5% (andere Werte siehe Text)
R_5	Kohleschichtwiderstand	15 kΩ/¼ W/5% (andere Werte siehe Text)
R_6	Kohleschichtwiderstand	470 Ω/1 W/5%
R_7	Kohleschichtwiderstand	1 kΩ/1 W/5%
R_8	Hochlastwiderstand	2,7 kΩ/4 W/5%
R_9	Kohleschichtwiderstand	2,2 kΩ/¼ W/5%
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)	

1 Kühlkörper für Triac mit $R_{th} \leq 2{,}5$ °C/W

17. Helligkeitsregelung bei verschiedenen Zündwinkeln

Das Bild 44 zeigt die Schaltung dieses Helligkeitsreglers. Bei den meisten Dimmern tritt ein unangenehmer Hystereseeffekt auf. Beim Einschalten der Lampe, wenn der Helligkeitsregler relativ dunkel gestellt ist, bleibt die Lampe zunächst dunkel. Wird nun der Helligkeitsregler in Richtung hell aufgedreht, springt die Lampe mit ihrer Helligkeit auf halbhell. Werden geringere Helligkeitswerte gewünscht, muß der Regler wieder etwas zurückgedreht werden. Die hier gezeigte Schaltung vermeidet diesen Effekt. Sie arbeitet nach dem Prinzip der Phasenanschnittsteuerung. Neben dem großen Aussteuerbereich der Helligkeit besitzt sie auch die Möglichkeit, die Phasenanschnittsspannung zu symmetrieren und ohne Hysterese zu steuern.

Alle Spannungen sind gegen Masse mit einem Vielfachinstrument, dessen Innenwiderstand 25 kΩ/V betrug, gemessen. Die gemessenen Werte sind Wechselspannungs- und -stromwerte. Für die Wechselspannung U_3 ergab sich ein Meßwert zwischen 12...31 V, je nach Stellung des Potentiometers R_3. Der Wechselstrom I_3 wurde zu 0,45...30 mA gemessen, je nachdem, wie das Potentiometer R_3 eingestellt wurde. Damit der Strom $I_1 = I_2$ wird, müssen die Widerstände R_4 und R_5 gleich groß sein. Die Schaltung wurde mit 10%igen Widerständen aufgebaut und hat ganz gute Ergebnisse gebracht. Die maximalen Meßwerte für U_3 und I_3 erhält man, wenn das Potentiometer so eingestellt ist, daß sein Widerstandswert gleich Null ist. Bei der angegebenen Dimensionierung der Bauelemente wurde der größte Gatestrom des Triacs mit 30 mA gemessen. Damit wird der Triac in jedem Fall sicher durchgeschaltet, da der obere Zündstrom nach dem Datenblatt bei 25 mA liegt. Der Hystereseeffekt, der durch den Spannungszusammenbruch am Kondensator C_1 beim Zünden des Diacs Di_1 verursacht wird, kann unterdrückt werden, indem man C_1 zwingt, sich vollständig zu entladen, auch dann, wenn die Kippspannung des Diacs Di_1 nicht erreicht wird. Dies wird durch die Dioden-Widerstand-Kombination D_1 bis D_4 und R_4 mit R_5 erreicht.

Stückliste für die Helligkeitsregelung bei verschiedenen Zündwinkeln

Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)
Di_1	Diac A 9903 o. ä. (Tabelle V)
La_1	Glühlampe 220 V/P_{max} = 1700 W (gilt für TAG 261-600)
1 Kühlkörper für Triac mit R_{th} = 2,5 °C/W	
D_1, D_2, D_3, D_4	Siliziumdiode 1N4005 o. ä. (z. B. BYX 36/600)
R_1	Hochlastwiderstand 6,8 kΩ/7 W/5%
R_2	Kohleschichtwiderstand 100 kΩ/¼ W/5%

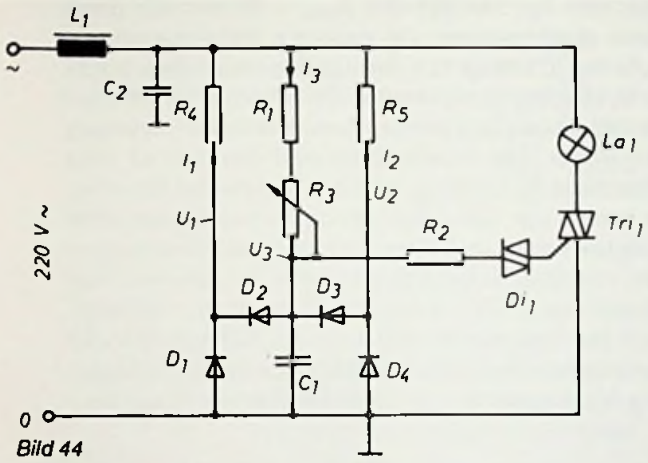
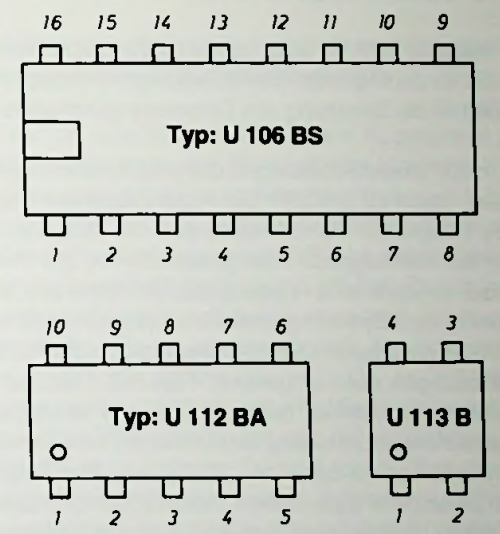


Bild 44

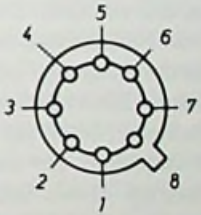
Schaltung der Helligkeitssteuerung bei verschiedenem Zündwinkel

R_3	Potentiometer	500 kΩ lin/1 W
R_4	Kohleschichtwiderstand	(Werte siehe Text)
R_5	Kohleschichtwiderstand	(Werte siehe Text)
C_1	Erofolkondensator	0,15 µF/400 V
C_2	Erofolkondensator	0,1 µF/630 V
L_1	Spule mit Ferritkern (nach Wickelangabe)	

Wickelangabe für L_1:
Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm ∅ vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 m).



Typ: U 102 P



Ansicht von oben

Bild 45
Sockelschaltung der ICs für die folgenden drei Schaltungen

18. IC-Dämmerungsschalter

Das folgende Bild 45 zeigt zunächst die Sockelbeschaltung der für die folgenden drei Schaltungen benötigten ICs, das Bild 46 die Schaltung des Dämmerungsschalters.

Das „Herz" dieser Schaltung ist der integrierte Fotowellenschalter vom Typ U 102 P. Die Anschlußpunkte 1 und 2 dieses integrierten Schaltkreises sind die Ausgänge, mit denen der nachfolgende Triac gesteuert wird. Der Punkt 2 ist dabei der invertierte Ausgang des Schaltkreises. Wenn an Punkt 1 eine Spannung ansteht, so ist am Punkt 2 keine Spannung vorhanden. Diese Aussage gilt auf die Punkte 1 und 2 bezogen auch umgekehrt. Fällt nun Licht auf den integrierten Schaltkreis (seine Oberfläche ist mit einer Glasschicht lichtdurchlässig verschlossen), so ist am Ausgang Punkt 1 keine Spannung vorhanden. Der Triac Tri_1 erhält an seinem Gate keinen Steuerstrom und schaltet nicht durch. Sobald die Glasfläche des ICs abgedunkelt wird, ist am Punkt 1 eine Spannung vorhanden und der Triac wird gezündet, die Lampe La_1 brennt damit. Dieser Vorgang erfolgt in genau umgekehrter Reihenfolge, wenn der Schalter S so umgelegt wird, daß der Ausgang Punkt 2 an das Gate des Triacs zu liegen kommt. Damit funktioniert diese Schaltung als Ein- oder Ausschalter, wenn auf der Glasfläche des ICs ein Lichteinfall stattfindet. Der maximale Gatestrom, der fließen darf, beträgt 70 mA. Das ist der Strom, der an den beiden Ausgängen Punkt 1 und 2 des ICs maximal zur Verfügung steht. Der verwendete Triac vom Typ TAG 261-600 (I_{Gmax} = 25 mA) wird damit sicher durchgesteuert. Die maximale Betriebsspannung U_b für den IC beträgt 15 V. Beim praktischen Aufbau wurde für U_b eine Spannung von 8 V und eine von 12 V verwendet. Mit beiden Spannungen funktionierte die Schaltung einwandfrei. Die Einschaltbeleuchtungsstärke ist vom Widerstand R_1 abhängig. Wird er weggelassen ($R_1 = \infty$), so spricht der Dämmerungsschalter bereits bei einer Helligkeit von 5 Lux (lx) an. Wird für R_1 ein Widerstandswert von 10 kΩ eingesetzt, so spricht der Dämmerungsschalter erst ab einer Beleuchtungsstärke von 3000 lx an. Nach der folgenden Formel kann der Widerstand R_1 für verschiedene Beleuchtungsstärken, bei denen die Schaltung erst ansprechen soll, annähernd berechnet werden.

$$R_1 = \frac{25 \cdot U_b}{E_A - 8}$$

R_1 = Widerstandswert ergibt sich in MΩ

U_b = Versorgungsspannung des IC in V

E_A = Beleuchtungsstärke, die auf den IC einfällt in lx

Der Widerstand R_2 kann zwischen 10 kΩ und 47 kΩ liegen. Der Widerstand R_3 wurde so dimensioniert, daß ein maximaler Gatestrom von 25 mA (wenn nötig) fließen kann. R_3 beträgt bei einer Spannung von 8 V 200 Ω und bei 12 V 330 Ω.

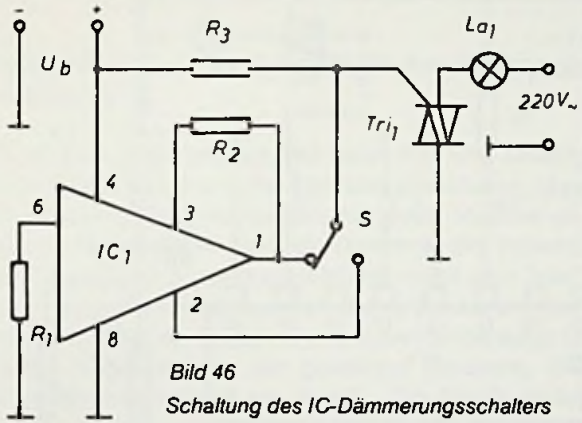


Bild 46
Schaltung des IC-Dämmerungsschalters

Stückliste für den IC-Dämmerungsschalter

IC_1	Integrierter Schaltkreis U 102 P	
R_1	Kohleschichtwiderstand	47 kΩ/¼ W
R_2	Kohleschichtwiderstand	47 kΩ/¼ W
R_3	Kohleschichtwiderstand	200 Ω/¼ W bei U_b = 8 V und 330 Ω/¼ W bei U_b = 12 V
S	Einpoliger Schalter	
Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
La_1	Glühlampe 220 V/100 W	
U_b	Spannungsquelle 8 oder 12 V	

19. Überwachungsschaltung mit IC

In Bild 47 ist eine Überwachungsschaltung mit einem integrierten Nullspannungsschalter dargestellt.

Der Triac Tri_1 wird über den Widerstand R_2 gezündet. Dieser Widerstand ist an den Punkt 10 des ICs angeschlossen. Über diesen Punkt wird eine Spannung von 5 V und ein maximaler Strom von 250 mA geliefert. Es ist somit möglich, daß der im ungünstigsten Fall benötigte maximale Gatestrom von 25 mA fließen kann. Mit dem Potentiometer R_5 wird der Schwellwertbereich eingestellt. Ist nun das Potentiometer R_5 so eingestellt, daß der Schleifer am Punkt 8 des ICs anliegt (R_5 = 0 Ω), so beträgt die Spannung am Punkt 8 Null Volt. Wird R_5 so eingestellt, daß der gesamte Widerstandswert von 100 kΩ wirksam wird, so hat die Spannung am Punkt 8 einen Wert von 6 V. Weicht nun der Widerstand von R_6 (infolge von Lichteinfall auf den Fotowiderstand) von dem mit dem Potentiometer R_5 eingestellten Sollwert nach oben oder nach unten hin ab, so erhält der Triac Tri_1 Zündstrom und schaltet durch. Die Folge davon ist, daß nun die Lampe La_1 leuchtet. Verändert sich darauf der Widerstandswert R_6 soweit, daß er wieder dem mit R_5 eingestellten Sollwert entspricht, so erlischt die Lampe La_1 wieder. Mit dem Schalter S kann die gesamte Funktion der Schaltung außer Betrieb gesetzt werden. Der Strom, der durch den beleuchteten Fotowiderstand R_6 fließt, wurde zu 1 mA gemessen. Wird R_6 nicht beleuchtet, so fließt ein Strom von 0,4 mA.

Die angegebenen Spannungen wurden mit einem Röhrenvoltmeter, dessen Innenwiderstand 1 MΩ betrug, gemessen. An Stelle des Fotowiderstandes kann auch ein NTC-Widerstand eingesetzt werden. Damit ist es dann möglich, Temperaturen zu überwachen, wobei die Temperaturabweichungen nach oben oder unten hin durch das Aufleuchten der Lampe La_1 angezeigt werden. Wird der NTC-Widerstand mechanisch mit einem Heizkörper verbunden, so wird der mit dem Sollwertgeber eingestellte Temperaturbereich konstant gehalten. Durch entsprechende Auswahl des NTC-Widerstandes kann auch die Temperatur eines Lötkolbens geregelt werden.

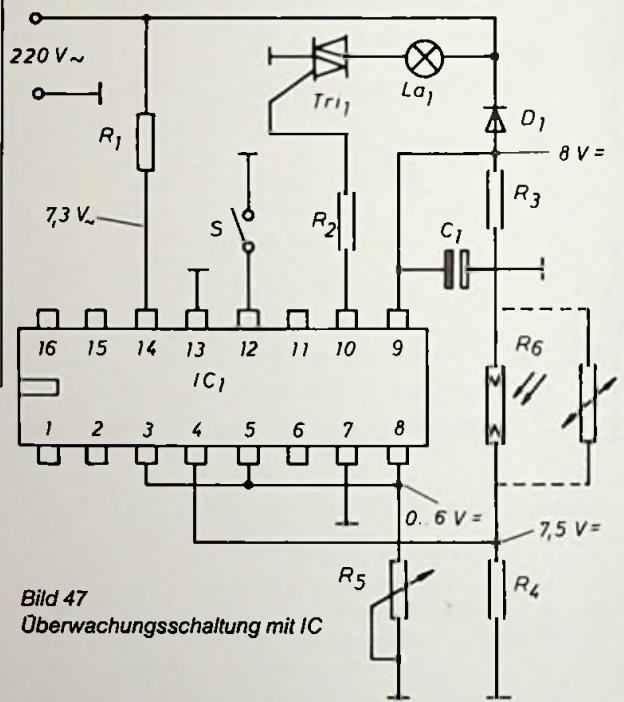


Bild 47
Überwachungsschaltung mit IC

Stückliste für die Überwachungsschaltung mit IC

IC_1	Integrierter Schaltkreis U 106 BS	
Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
D_1	Siliziumdiode 1N4007 o. ä. (z. B. BYX 36/600)	
R_1	Kohleschichtwiderstand	82 kΩ/1 W
R_2	Kohleschichtwiderstand	15 Ω/¼ W
R_3	Kohleschichtwiderstand	5,6 kΩ/5 W
R_4	Kohleschichtwiderstand	11 kΩ/¼ W
R_5	Potentiometer	100 kΩ log
R_6	Fotowiderstand LDR 07 o. ä. (z. B. LDR 03, LDR 05, ORP 12, RPY 30)	
C_1	Elektrolytkondensator	220 µF/35 V
La_1	Glühlampe	220 V/100 W
S	Einpoliger Ausschalter	

Beim praktischen Aufbau der Schaltung ist Vorsicht geboten. Die gesamte Schaltung liegt am Netzspannungspotential.

20. Ein-Aus-Berührungsschalter mit ICs

Das Bild 48 zeigt die Schaltung des Ein-Aus-Berührungsschalters.

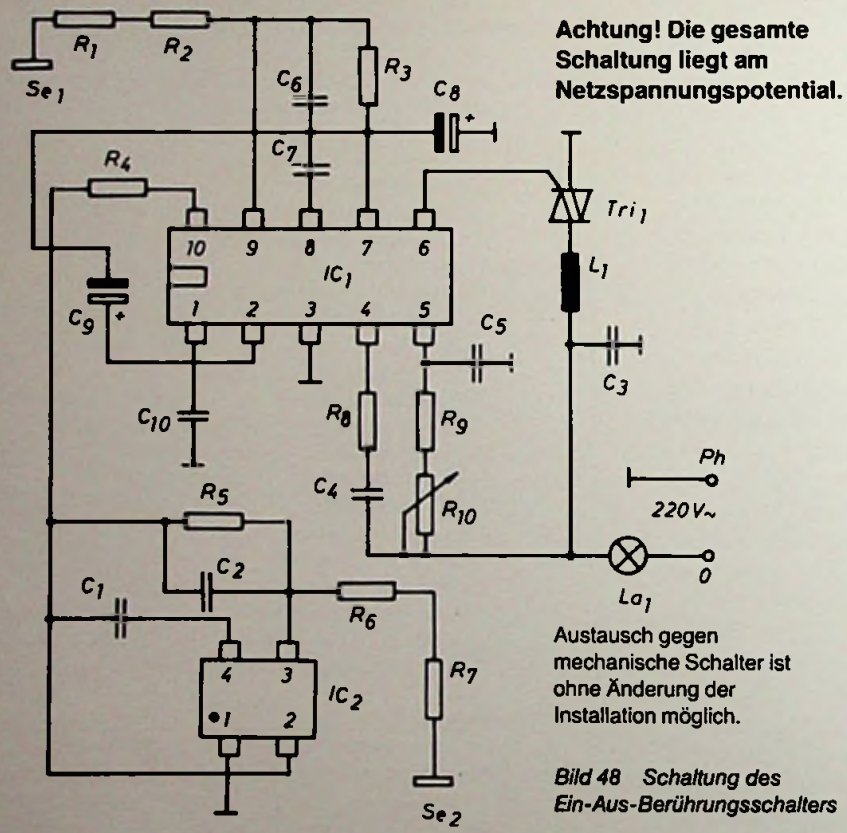
Mit diesem Berührungsschalter kann man von beliebig vielen Stellen aus eine Lampe ein- oder ausschalten. Über den Punkt 6 des IC_1 wird das Gate des Triacs Tri_1 direkt gesteuert. Dem Punkt 6 kann ein Gatestrom bis maximal 500 mA entnommen werden. Es können somit auch Triac-Typen verwendet werden, deren oberer Zündstrom noch höher als 25 mA ist. Die Spule L_1 und der Kondensator C_3 dienen der Entstörung der gesamten Schaltung. Die Grundschaltung besteht aus dem IC_1. Der Schaltungsteil mit dem IC_2 stellt eine Fernbedienung dar. Es können beliebig viele Fernbedienungen über ein Installationskabel angeschlossen werden. Es werden nur zwei Drähte (einer ist die Masse, der andere geht auf den Widerstand R_4) benötigt. Mit dem Potentiometer R_{10} kann die Helligkeit der Lampe La_1 (zwischen Glimmen des Glühfadens bis zur vollen Helligkeit) eingestellt werden. Damit der Berührungskontakt (Sensor Se_1) nicht zu empfindlich wird, (zur Vermeidung von Störungen) ist der Kondensator C_7 vorgesehen. Bei der Fernsteuerung (IC_2) ist dies der Kondensator C_1. Zu beachten ist, daß der Nulleiter über die Lampe La_1 angeschlossen wird, die Phase der Netzspannung dagegen entspricht der Masse. Nur so ist ein sicheres Arbeiten der Schaltung gewährleistet.

Stückliste für Ein-Aus-Berührungsschalter mit IC

IC_1	Integrierter Schaltkreis U 112 BA	
IC_2	Integrierter Schaltkreis U 113 B	
Tri_1	Triac TAG 261-600 o. ä. (Tabelle IV)	
R_1, R_2	Kohleschichtwiderstand	4,7 MΩ/¼ W/5%
R_3	Kohleschichtwiderstand	470 kΩ/¼ W/5%
R_4	Kohleschichtwiderstand	120 kΩ/¼ W/5%
R_5	Kohleschichtwiderstand	820 kΩ/¼ W/5%
R_6, R_7	Kohleschichtwiderstand	4,7 MΩ/¼ W/5%
R_8	Kohleschichtwiderstand	33 kΩ/¼ W/5%
R_9	Kohleschichtwiderstand	150 kΩ/¼ W/5%
R_{10}	Potentiometer	2,2 MΩ lin
C_1	Erofolkondensator	0,15 µF/400 V
C_2	Erofolkondensator	4,7 nF/400 V
C_3, C_4	Erofolkondensator	68 nF/630 V
C_5	Erofolkondensator	33 nF/400 V
C_6	Erofolkondensator	4,7 nF/400 V
C_7	Erofolkondensator	0,1 µF/400 V
C_8	Elektrolytkondensator	22 µF/35 V
C_9	Elektrolytkondensator	1 µF/35 V
C_{10}	Erofolkondensator	33 nF/400 V
L_1	Spule nach Wickelangabe	
La_1	Glühlampe 220 V/100 W	
S_1, S_2	Sensor (Metallplättchen 1 cm · 2 cm)	

Wickelangabe für L_1

Ein Ferrit-Antennenstab mit etwa 10 cm Länge wird mit CuL-Draht (Kupferlackdraht) 1,5 mm Ø vollständig bewickelt (Drahtlänge ca. 4,5 m).



Achtung! Die gesamte Schaltung liegt am Netzspannungspotential.

Austausch gegen mechanische Schalter ist ohne Änderung der Installation möglich.

Bild 48 Schaltung des Ein-Aus-Berührungsschalters

ISBN 3-7724-0374-3