



Leistungseinstellung von Netzverbrauchern durch Phasenanschnittsteuerung

Vorliegender Artikel beschreibt die verschiedenen Möglichkeiten der Leistungseinstellung von Netzverbrauchern mit Hilfe der Phasenanschnittsteuerung. Dazu werden Theorie und praktische Anwenderschaltungen vorgestellt.

Allgemeines

Die einfachste Methode zur Einstellung der Leistung eines Verbrauchers stellt sicherlich ein Serienwiderstand zum Verbraucher dar, siehe Abbildung 1. Je nach Wert begrenzt er den vom Verbraucher aufgenommenen Strom und somit seine Leistung. Diese Möglichkeit läßt sich, falls

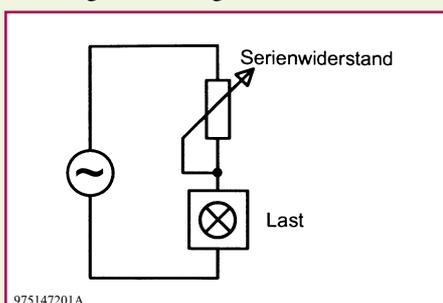
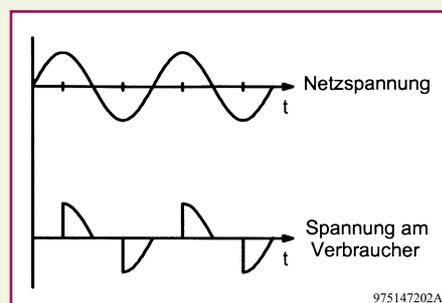


Bild 1: Leistungseinstellung durch Serienwiderstand

überhaupt, nur bei Kleinverbrauchern anwenden, da auch am Serienwiderstand erhebliche Verlustleistung umgesetzt wird.

Eine Möglichkeit, die Verbraucherleistung nahezu verlustlos einzustellen, besteht in der Verwendung einer Phasenanschnittsteuerung. Die Spannung wird nur für einen bestimmten Zeitraum pro Netzperiode auf den Verbraucher geschaltet, siehe Abbildung 2. Die im Mittel umgesetzte Leistung, hier 50% der Vollast, wird

Bild 2: Leistungseinstellung durch Phasenanschnitt



von der Länge der Zeitspanne bestimmt. Möglich wird dies durch Einsatz von Halbleiter-Schaltelementen wie Thyristoren und Triacs. Diese vermögen es, bei hohen Spannungen und Strömen große Leistungen zu schalten. Die nahezu verlustlose Leistungseinstellung wird dadurch erreicht, daß am Schalter selbst kaum Leistung abfällt. 3 Zustände sind zu betrachten:

1. Die Last ist eingeschaltet: Der Schalter ist niederohmig, es wird aufgrund des geringen Spannungsabfalls wenig Leistung im Schalter umgesetzt.
2. Die Last ist ausgeschaltet: Verlustleistung am Schalter wird lediglich durch einen geringfügigen Sperrstrom hervorgerufen.
3. Während des Ein- bzw. Ausschaltens wird Leistung umgesetzt, die aber aufgrund der kurzen Schaltzeiten relativ gering ist.

In heute eingesetzten Phasenanschnittschaltungen sind meistens Triacs vorzuzufinden, da sie den entscheidenden Vorteil aufweisen, sowohl positive als auch negative Spannungen schalten zu können. Abbildung 3 zeigt das Schaltbild eines Triacs mit den 3 Anschlüssen Anode 1, Anode 2

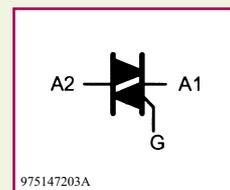


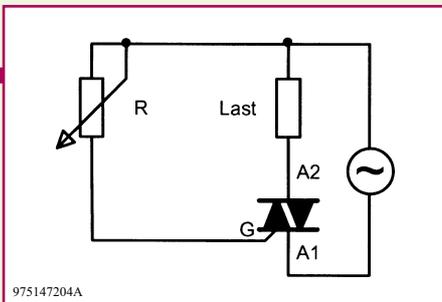
Bild 3: Schaltbild und Anschlüsse eines Triacs

und Gate (A1, A2, G). Die Zündung des Triacs, d. h. der Übergang vom hochohmigen in den leitenden Zustand, wird durch einen Zündstrom erreicht, der vom Gate aus zur Anode 1 fließt und je nach Typ einen Mindestwert aufweisen muß. Die Polarität dieses Zündstromes ist vom Prinzip her gleichgültig, zu beachten ist lediglich, daß für das Zünden im 4ten Quadranten (Anode 2 negativ, Gate positiv) ein höherer Zündstrom erforderlich ist.

Der Laststrom fließt solange, bis kurz vor dem nächsten Nulldurchgang der Haltestrom unterschritten wird und der Triac sperrt. In der darauffolgenden Halbwelle muß dann ein erneuter Zündimpuls erfolgen. Die zeitliche Lage der Zündung bestimmt die Verbraucherleistung.

Einfache Phasenanschnittsteuerung

Abbildung 4 zeigt die einfachste Phasenanschnittsteuerung, die man sich vorstellen kann. Je nach Wert des Vorwiderstandes wird der zur Zündung des Triacs erforderliche Strom während einer Halb-

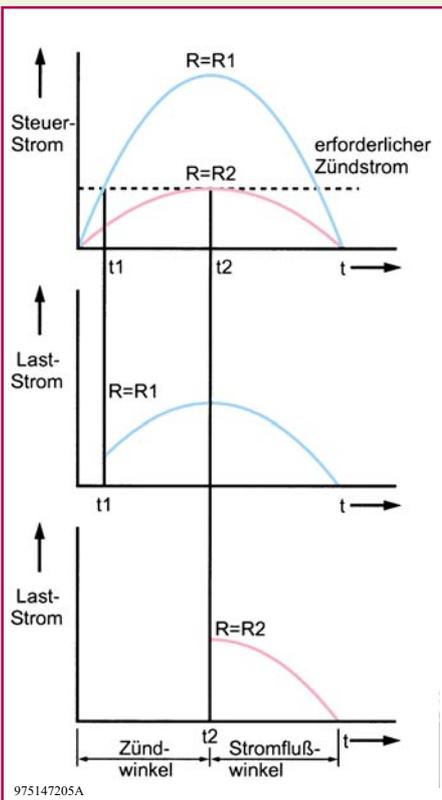


975147204A

Bild 4: Einfache Phasenanschnittsteuerung

welle früher oder später erreicht. Der Triac wird niemals im 4ten Quadranten betrieben, da sich der Zündstrom automatisch mit der Netzwechselfspannung umpolt.

In Abbildung 5 ist der Zusammenhang zwischen Zündzeitpunkt und Vorwider-

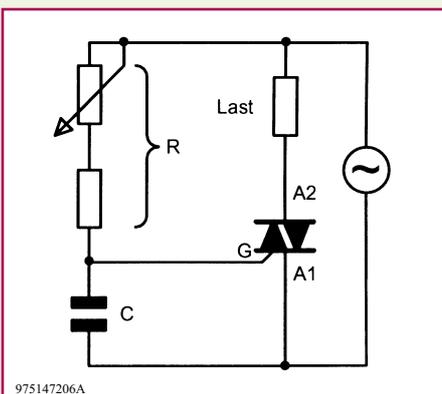


975147205A

Bild 5: Verschiedene Zündzeitpunkte durch Verändern des Vorwiderstandes

stand dargestellt. Mit $R = R_1$ wird der erforderliche Zündstrom schon sehr früh erreicht, während mit $R = R_2$ die Zündung erst bei 90° erfolgt. Der große Nachteil dieser Schaltung liegt darin, daß Exemplarstreuungen der einzelnen Triacs den

Bild 6: Ansteuerung des Triacs über ein RC-Glied

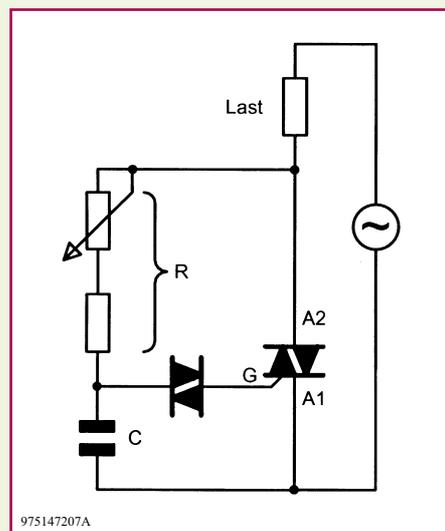


975147206A

Zündzeitpunkt beeinflussen. Weiterhin läßt sich der Zündzeitpunkt nur bis maximal 90° verzögern.

Um vorher genannte Nachteile zu verhindern, ist es sinnvoller, nicht die Amplitude des Zündstromes zu verändern, sondern seine Phasenlage in bezug auf die Netzspannung zu verschieben. Dies erreicht man relativ einfach durch ein variables RC-Glied, siehe dazu die Prinzipschaltung in Abbildung 6. Der Nachteil dieser Schaltung besteht in dem relativ niederohmigen RC-Glied, das selbst eine erhebliche Leistungsaufnahme besitzt.

Phasenanschnitt mit Impulszündung



975147207A

Bild 7: Phasenanschnittsteuerung mit Impulszündung

Die Impulszündung arbeitet sicher und zuverlässig und zündet den Triac exakt zum gewünschten Zeitpunkt. Der Einfluß von Exemplarstreuungen wird eliminiert. Durch eine möglichst hohe Amplitude des Zündimpulses erreicht man, daß ein großer Teil

der Sperrschicht sofort leitend wird und die Schaltverluste dementsprechend gering bleiben. Weiterhin läßt sich das RC-Glied wesentlich hochohmiger bemessen, da zum Zünden lediglich ein Stromimpuls verwendet wird.

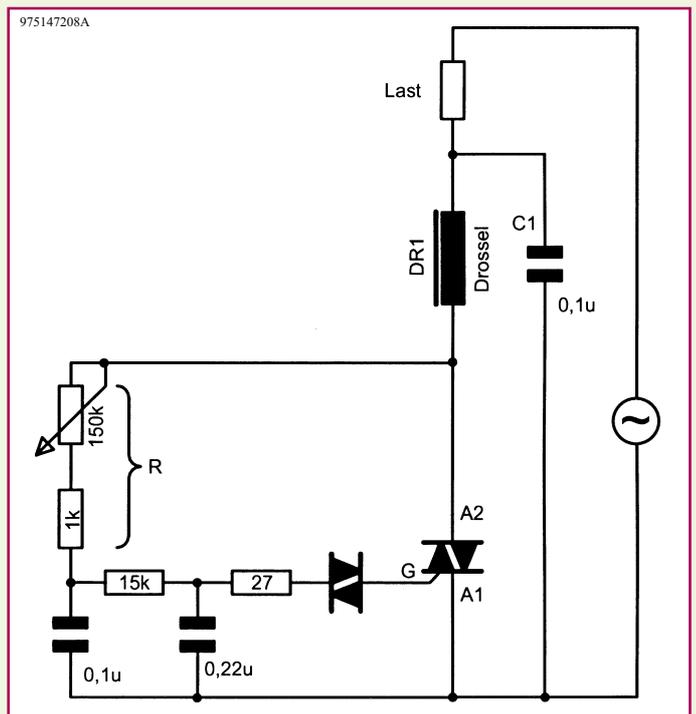
Abbildung 7 zeigt eine Phasenanschnittsteuerung mit Impulszündung. Die Ansteuerung des Triacs erfolgt über einen Diac. Ein Diac ist ein Bauelement, das im Ruhezustand hochohmig ist und bei Überschreiten einer vom Typ abhängigen Zündspannung (üblich: 28 V bis 35 V) schlagartig leitend wird. Die nach dem Zünden verbleibende Restspannung beträgt ca. 75 % der Nennspannung.

Ein Diac besteht im wesentlichen aus einem Transistorsystem, dessen Basis nicht angeschlossen ist. Der beim Zünden ablaufende Vorgang ist identisch mit dem Kollektordurchbruch eines Transistors beim Überschreiten der zulässigen Kollektor-Emitter-Spannung.

Neu an dieser Schaltungsvariante ist ebenfalls, daß die Zündschaltung hinter der Last angeschlossen ist. Dies bietet den Vorteil, daß nach der Zündung kein Strom mehr in das Gate hineinfließt und der Vorwiderstand hochohmiger dimensioniert werden kann.

Entstörung von Phasenanschnittschaltungen

Durch das schnelle Einschalten des Laststromes entstehen HF-Störungen, die sich vorwiegend über die Netzleitungen ausbreiten. Um die Störungen zu begrenzen, sind in die Schaltung entsprechende Entstörbauelemente einzufügen. Abbildung 8 zeigt die Entstörung der Last mit Hilfe der



975147208A

Bild 8: Entstörung einer Phasenanschnittsteuerung mit Drossel und Kondensatoren

Drossel DR 1 und des Kondensators C 1. Die von der Dimmerschaltung erzeugten HF-Störungen werden in Richtung Netz über den Tiefpaß DR 1 und C 1 bedämpft.

Phasenanschnittschaltungen für induktive und kapazitive Lasten

Die bisher vorgestellten Schaltungen sind nicht für induktive Lasten, wie z. B. Niedervolt-Halogenlampen mit vorgeschaltetem Transformator geeignet, da der Triac nicht „stromrichtig“ angesteuert wird.

Abbildung 9 a zeigt das Verhalten einer Standard-Dimmerschaltung bei ohmscher Last. Zwischen Strom und Spannung besteht keine Phasenverschiebung, die Zünd erfolgt zum richtigen Zeitpunkt.

Bei induktiven Lasten erhält man eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom. Während die Spannung bereits den Nulldurchgang durchlaufen hat, ist der Strom noch nicht zu null geworden, siehe Abbildung 9 b. Wird jetzt ein Zündimpuls ausgegeben, ist dieser wirkungslos. Als Folge stellt sich ein sogenannter Halbwellenbetrieb ein, der den Transformator schnell in die Sättigung treibt und in der Regel zur Zerstörung führt.

Es existieren vielfältige integrierte Schaltkreise, die durch Messen von Strom und Spannung bzw. Ermitteln der Nulldurchgänge eine Phasenverschiebung er-

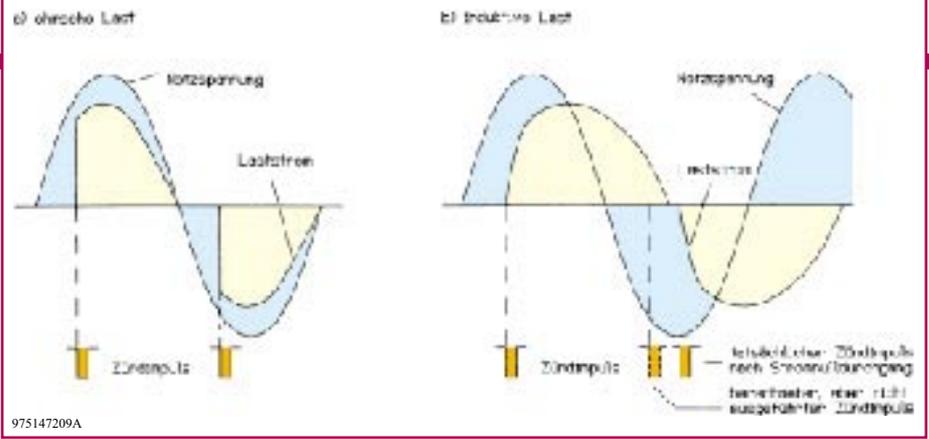


Bild 9 a, b: Verhalten bei ohmscher und bei induktiver Last

kennen. Der Zeitpunkt des Zündimpulses wird automatisch angepaßt, wie in Abbildung 9 b gezeigt. Aufgrunddessen sind diese Bausteine zur Ansteuerung von induktiven und kapazitiven Lasten geeignet.

In Abbildung 10 sind die bereits recht komplexen Innenschaltungen des Low-Cost-Bausteins TEA 1007 von TEMIC sowie die erforderlichen Peripheriebauelemente dargestellt. Für den interessierten Leser folgt eine kurze Funktionsbeschreibung. Pin 8 ist der positive Pol der Betriebsspannung des ICs und stellt zugleich das Massepotential der Schaltung dar. Die negative Versorgungsspannung liegt an Pin 1 an und wird durch Einweggleichrichtung mit Dv und Rv in Verbindung mit dem Elko C 3 gewonnen. Eine Stabilisierung auf ca. 15 V übernimmt die IC-interne Einheit „Versorgungsspannung“.

Ohmsche Last

Für ohmsche Lasten gilt folgende Funktionsweise: Die zeitliche Position des Zündimpulses wird durch den Vergleich zweier Spannungen bestimmt, einer netzsynchronen Rampenspannung und einer vom Anwender einstellbaren Steuerspannung. Die netzsynchrone Rampenspannung wird wie folgt erzeugt: Bei jedem Netznulldurchgang erfolgt eine Entladung des Kondensators Cφ_A durch den vom Spannungs-Nulldurchgangsdetektor angesteuerten Schalter S 2. Anschließend erfolgt eine Ladung des Kondensators mit einem konstanten Strom, der über die Konstantstromquelle Iφ erzeugt wird. Mit Rφ_A können Kapazitätstoleranzen ausgeglichen werden. Erreicht die Rampenspannung den mit dem Potentiometer an Pin 6 eingestellten Wert

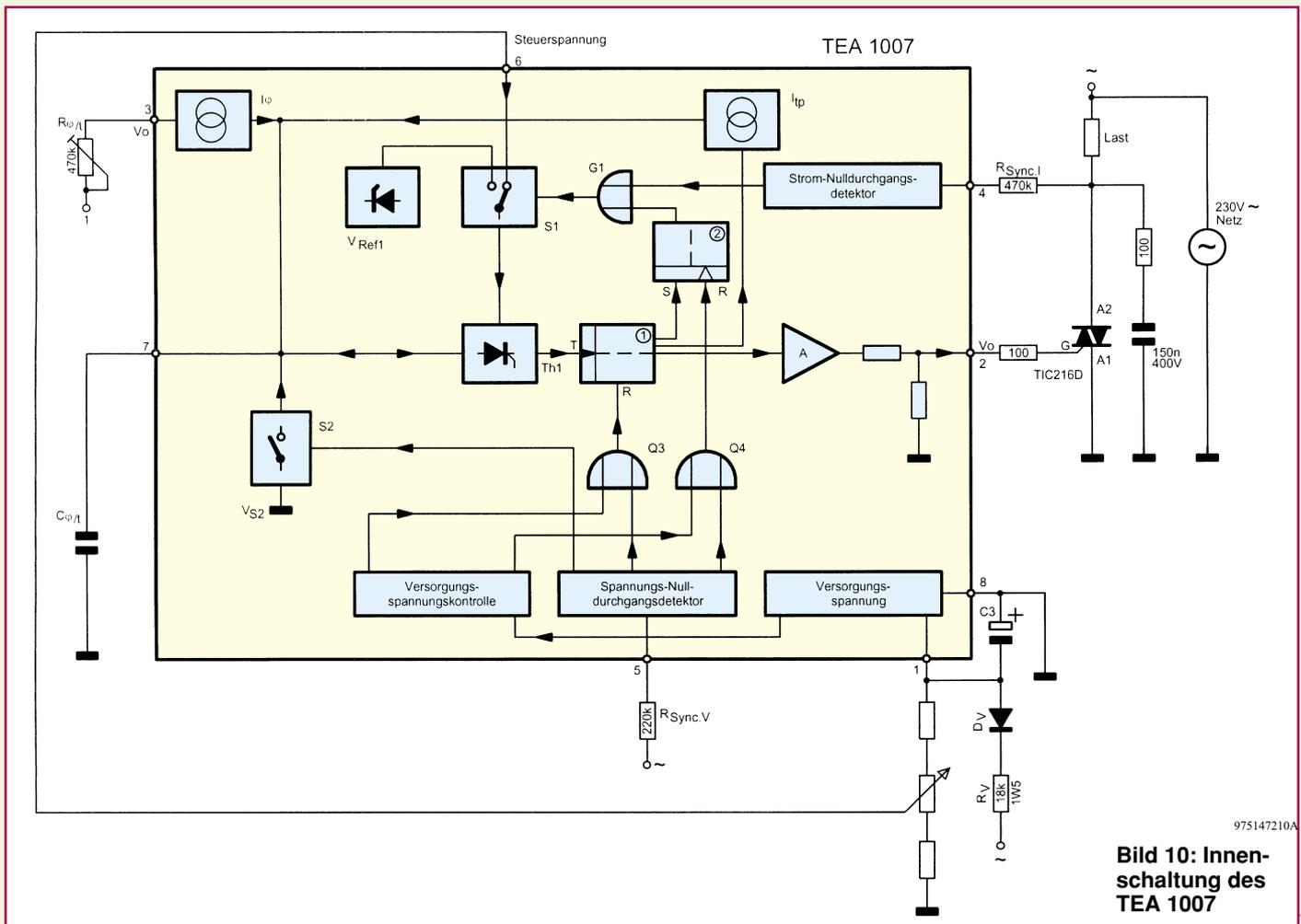


Bild 10: Innenschaltung des TEA 1007

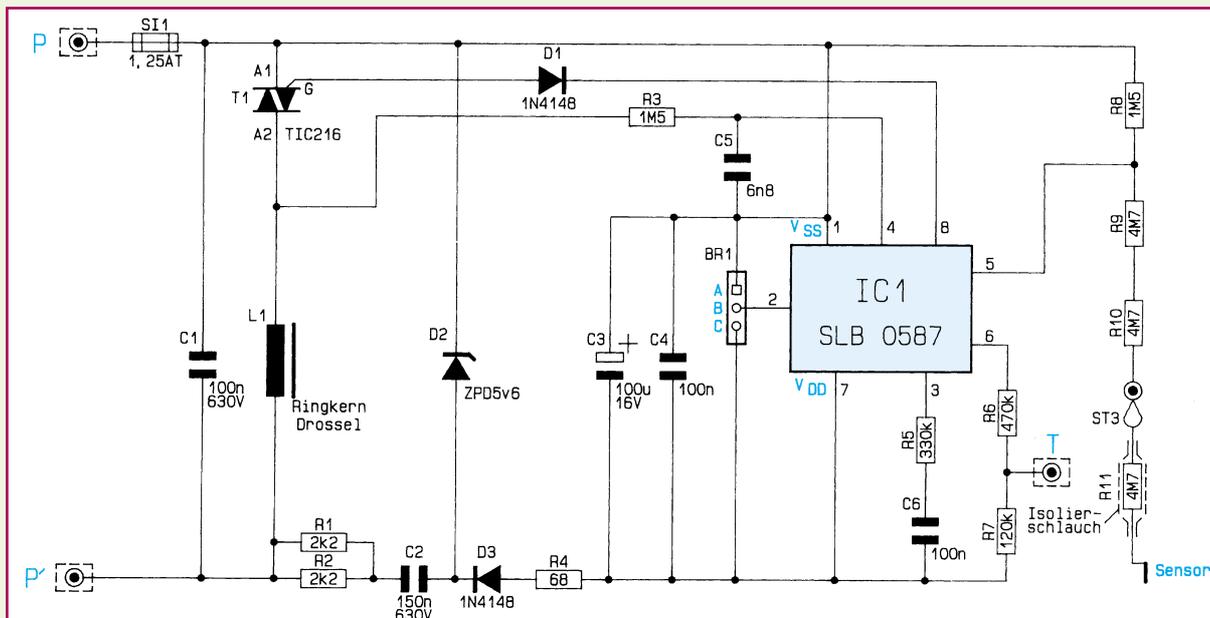


Bild 11: In der Praxis bewährte Dimmerschaltung mit dem SLB 0587

der Steuerspannung, zündet der interne Thyristor Th_1 , der hier gleichzeitig als Vergleichs-fungiert. Das Clock Flip-Flop (1) wird dadurch gesetzt und führt folgende Funktionen aus:

- Freigabe des Ausgangsverstärkers A und Generierung des Zündimpulses t_p
- Verbinden einer weiteren Konstantstromquelle I_p mit dem Kondensator $C_{\phi t}$
- Schalten des Referenzspannungsschalters S1 auf eine intern generierte Referenzspannung V_{Ref1} über das RS-Flip-Flop (2) und das EXOR-Gatter G1.

In dieser zweiten Phase wird der Kondensator $C_{\phi t}$ jetzt durch die Summe der Ströme I_{ϕ} und I_p geladen, bis die interne Referenzspannung V_{Ref1} erreicht wird. Die Länge dieser zweiten Phase entspricht der Dauer des Zündimpulses t_p .

Wenn die Kondensatorspannung den Wert der Referenzspannung V_{Ref1} erreicht, zündet Th_1 ein zweites Mal und setzt das Clock-Flip-Flop (1) zurück. Der Ausgangsimpuls ist beendet und die Stromquelle I_p abgeschaltet. Das RS-Flip-Flop bleibt weiterhin gesetzt, der Schalter S 1 geschaltet, so daß die interne Referenzspannung am Thyristor verbleibt.

Im folgenden Nulldurchgang der Netzspannung setzt der Spannungs-Nulldurchgangsdetektor das RS-Flip-Flop zurück, entlädt $C_{\phi t}$ über S 2 und stellt nochmals sicher, daß das Clock-Flip-Flop (1) zurückgesetzt ist. Damit ist der Durchlauf für eine Halbwelle beschrieben.

Induktive Last

Wie bereits erwähnt, tritt bei induktiven Lasten der Nulldurchgang des Stromes erst verspätet ein. Würde dieser nicht erfaßt, könnte bereits ein Zündimpuls erfolgen, während der Strom noch fließt.

Für das stromrichtige Schalten des Triacs bei Ansteuerung induktiver Lasten detek-

tiert der TEA 1007 sowohl den Spannungs-Nulldurchgang (über $R_{Sync.V}$) als auch den Strom-Nulldurchgang über $R_{Sync.I}$. Die Spannung über dem Triac ist zusammengebrochen, falls der Strom noch fließt und steigt erst dann an, wenn der Triac sperrt. Der Strom-Nulldurchgangsdetektor verschiebt über Q 1 und S 1 den Zündimpuls für den Triac und erreicht so eine stromrichtige Ansteuerung.

Eine interne Versorgungsspannungskontrolle stellt sicher, daß nur dann Ausgangsimpulse erzeugt werden, wenn die Versorgungsspannung des ICs den erforderlichen Wert aufweist.

Phasendurchschnittsteuerung mit Komfort

Ein weiteres, sehr bekanntes Bauelement für die Ansteuerung induktiver und kapazitiver Lasten, das mit erweiterten, besonders anwenderfreundlichen Features aufwartet, ist der SLB 0587 von Siemens. Abbildung 11 zeigt eine Schaltung mit diesem Baustein, wie sie in ähnlicher Form in vielen Dimmerschaltungen zu finden ist. Die Innenschaltung des SLB 0587 ist noch weitaus komplexer als die des TEA 1007 und die Erläuterung würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Nachfolgend sind die wesentlichen Funktionen dieser Schaltung aufgeführt:

- Zweileiterbetrieb, d. h. einfacher Austausch gegen einen herkömmlichen Schalter.
- Die Funktionen der Dimmerschaltung, wie Ein/Aus und Aufwärts-/Abwärtsdimmen können wahlweise über einen Sensorkontakt oder einen/mehrere Taster (zwischen T und P geschaltet) gesteuert werden, ein Poti o. ä. entfällt. Dadurch wird die Bedienung sehr einfach und anwenderfreundlich.
- problemlose Ansteuerung induktiver und

kapazitiver Lasten, wie Niedervolt-Halogenlampen, Motoren usw.

- Verschiedene Schutzschaltungen für den Schutz des Verbrauchers
- Sanftanlauf, d. h. besonders schonendes Einschalten des Verbrauchers durch „Hochfahren“ des Zündwinkels
- Speicherung des zuletzt eingestellten Helligkeitswertes

Im Gegensatz zum TEA 1007 synchronisiert sich dieser Baustein durch eine PLL-Schleife mit dem Netz und wird damit unempfindlich gegenüber Störungen auf der Netzspannung. Die gewünschte Helligkeit wird durch die Betätigungsdauer der Sensortaste/Tasters eingestellt. Eine kurze Betätigung zwischen 60 ms und 400 ms schaltet den Verbraucher ein, eine weitere Betätigung aus, usw. Die Helligkeit ist durch eine Betätigung für länger als 400 ms einstellbar, wobei drei verschiedene Betriebsmodi existieren, die mit der Brücke BR 1 codiert werden. Diese einfach realisierte und universell einsetzbare Schaltung ist bei ELV als Bausatz oder Fertigergerät mit ausführlicher Beschreibung erhältlich. **ELV**

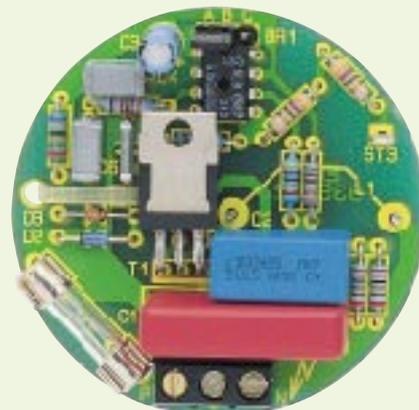


Bild 12: Komplett aufgebaute Dimmerschaltung aus Abbildung 11