

# Pulsweiten-Modulator für DC-Verbraucher

*Mit dieser kleinen Schaltung kann die Drehzahl von Gleichstrommotoren, die Helligkeit von Niedervolt-Halogenlampen oder auch die Armaturenblettbeleuchtung im Kfz auf einfache Weise gesteuert werden.*

## Allgemeines

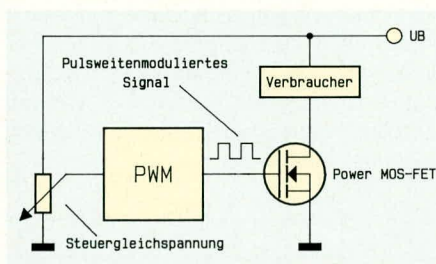
Pulsweiten-Modulatoren oder auch Impulsbreiten-Modulatoren genannt, sind in vielen Bereichen der modernen Elektronik zu finden. Der klassische Einsatzfall für einen PWM ist die Erzeugung des Schaltsignals zur Steuerung des Schalttransistors in einem getakteten Netzteil.

Aber auch in der Regelungstechnik werden PWMs häufig eingesetzt. Der Ausgang eines EX-OR-Phasenvergleichs einer PLL-Regelschleife liefert im Grunde genommen auch nichts anderes als ein pulsweiten-moduliertes Signal, das mit einem nachgeschalteten Tiefpaß (Schleifenfilter) in eine Gleichspannung umgewandelt, zur Steuerung eines spannungsgesteuerten Oszillators dient.

Der Ausgang eines PWMs liefert ein Rechteck-Signal, dessen Tastverhältnis von Puls zu Pause z. B. mit einer Steuergleichspannung oder einem Einstellpoti veränderbar ist. Dieses Ausgangssignal wird nun herangezogen, um einen Leistungs-Schalttransistor anzusteuern, der wiederum einen Verbraucher (z. B. eine Niedervolt-Halogenlampe) entsprechend dem Puls-Pausen-Verhältnis periodisch einschaltet.

Das recht einfache Funktionsprinzip eines PWM mit nachgeschaltetem Leistungs-Schalttransistor ist in Abbildung 1 zu sehen.

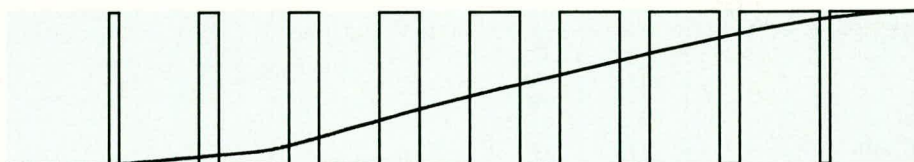
In Abhängigkeit von der Steuergleichspannung am Eingang des Modulators ändert sich das Puls-Pausen-Verhältnis des zur Steuerung des Schalttransistors heran-



**Bild 1: Prinzipielle Funktionsweise eines PWMs mit nachgeschaltetem Leistungs-Schalttransistor**

gezogenen Ausgangssignals. Der Transistor (üblicherweise ein Leistungs-Feldefektttransistor) wird bei diesem Funktionsprinzip entweder völlig gesperrt oder voll durchgesteuert, so daß am Transistor im eingeschalteten Zustand eine möglichst geringe Spannung abfällt und die volle Betriebsspannung am Verbraucher ansteht.

Die im Transistor in Wärme umgesetzte Verlustleistung sollte natürlich möglichst gering sein, und hängt in erster Linie vom Schaltstrom und vom Drain-Source-Einschaltwiderstand ( $R_{DS(on)}$ ) des Feldefektttransistors ab.



**Bild 2: Durchschnittlicher Spannungsverlauf einer pulsweiten-modulierten Ausgangsgröße mit nachgeschaltetem Glättungsfilter**

Der Einschaltwiderstand ( $R_{DS(on)}$ ) ist somit bei der Auswahl des Transistors ein wichtiges Kriterium und liegt beim hier eingesetzten BUZ71A bei ca.  $0,12 \Omega$ .

Des weiteren sollte der Transistor während des Schaltvorganges nur eine möglichst kurze Zeit in den linearen Betrieb versetzt werden, d. h. die Anstiegs- und Abfallflanken des Steuersignals müssen steil sein. Hier macht sich nun die parasitäre Gate-Kapazität des Transistors, die beim BUZ71A in der Größenordnung von  $500\text{pF}$  liegt, störend bemerkbar. Um diesen parasitären Kondensator schnell auf- und entladen zu können, muß von der Ansteuerung eine nicht zu vernachlässigende Steuerleistung aufgebracht werden.

Aus dem zuvor beschriebenen Grund sollte einerseits die Schaltfrequenz des PWMs nicht zu hoch gewählt werden, andererseits muß die Frequenz außerhalb des Hörbereichs liegen, da sich sonst, besonders bei der Geschwindigkeitseinstellung von Gleichstrommotoren, störende Pfeifgeräusche bemerkbar machen.

Beim Pulsweiten-Modulator mit nachgeschaltetem Leistungsschalttransistor handelt es sich somit um eine Leistungseinstellung, bei der die durchschnittlich an den Verbraucher abgegebene Leistung vom eingestellten Puls-Pausen-Verhältnis des Ansteuersignals abhängt. Das Puls-Pausen-Verhältnis kann wiederum linear durch eine Steuergleichspannung, z. B. von einem Einstellpoti zur Verfügung gestellt, zwischen 0 % (Transistor gesperrt) und 100 % (Transistor ständig durchgeschaltet) variiert werden.

Wird am Ausgang des PWMs ein Glättungsfilter (Tiefpaß) nachgeschaltet, so erhalten wir in Abhängigkeit vom Puls-Pausen-Verhältnis den in Abbildung 2 dargestellten Spannungsverlauf.

Pulsweiten-Modulatoren nach dem zuvor beschriebenen Funktionsprinzip werden häufig zur Geschwindigkeitsregulierung von Gleichstrommotoren in Akku-Bohrschraubern oder ähnlichen akkubetriebenen Geräten eingesetzt.

Unsere kleine Schaltung wurde für den universellen Einsatz konzipiert und inklusive Einstellpoti auf einer  $55,5 \times 52 \text{ mm}$  großen Leiterplatte untergebracht. Des weiteren besteht die Möglichkeit, durch eine extern anzulegende Steuergleichspannung zwischen 0 und  $2,5 \text{ V}$  die Leistung des angeschlossenen Verbrauchers zu steu-



## Technische Daten des Leistungs-PWMs

Betriebsspannung des PWMs .....	8 V-30 V
Betriebsspannung der Last .....	0 V-50 V
Stromaufnahme der Schaltung ohne Last .....	12 mA
Max. Schaltstrom (FET gekühlt) .....	12 A
Max. Dauer-Schaltstrom ohne Kühlkörper .....	2,5 A
Einstellbereich des Puls-Pausen-Verhältnis: .....	0 % - 100 %
Lineare Einstellung des Puls-Pausen-Verhältnis mit eingebautem Poti oder durch externe Steuergleichspannung	
Steuerspannung bei 12 V Betriebsspannung .....	0 V - 2,5 V

ern. Die Schaltung kann mit einer Versorgungsspannung von 8 V bis 30 V betrieben werden, wobei der Verbraucher auch unabhängig von der Steuerschaltung versorgt werden kann.

Auch wenn der Schalttransistor für einen maximalen Drain-Gleichstrom von 12 A ausgelegt ist, sollte der BUZ71A ohne Kühlkörper zur Wärmeabfuhr nicht über 2,5 A belastet werden.

## Schaltung

Die Schaltung des Leistungs-Pulsweiten-Modulators wurde ausschließlich mit Standard-Bauelementen realisiert und ist in Abbildung 3 zu sehen. Am Markt angebotene integrierte PWMs werden häufig für spezielle Aufgabenstellungen entwickelt oder sind nur für einen engen Spannungsbereich ausgelegt, so daß unsere konventionelle Schaltungslösung in punkto Flexibilität einige Vorteile bietet.

Wir beginnen die Schaltungsbeschreibung mit den beiden Operationsverstärkern IC 1 A, B, die zur Erzeugung einer dreieckförmigen Spannung dienen. Da die Operationsverstärker mit einer unsymmetrischen Versorgungsspannung betrieben

werden, ist es zunächst erforderlich, den virtuellen Massepunkt der Schaltung mit dem Spannungsteiler R 6, R 7 auf die halbe Betriebsspannung zu legen. Die Kondensatoren C 2 und C 3 dienen zur Pufferung und Störunterdrückung.

Der Operationsverstärker IC 1 B arbeitet zusammen mit dem Kondensator C 4 und dem Widerstand R 10 als Miller-Integrator, der die Aufgabe hat, eine Eingangsspannung in eine lineare Spannungsänderung am Ausgang umzusetzen.

Beim Miller-Integrator liegt der Kondensator im Gegenkopplungszweig des invertierenden Verstärkers, was wiederum bedeutet, daß eine negative, konstante Eingangsspannung in eine positive, linear ansteigende Ausgangsspannung umgesetzt wird. Legen wir hingegen eine gegenüber dem virtuellen Massepunkt positive Eingangsspannung an, so erhalten wir am Ausgang einen negativ linear abfallenden Spannungsverlauf.

Das an Pin 7 anstehende Ausgangssignal wird auf den Eingang des als Schmitt-Trigger arbeitenden Operationsverstärkers IC 1 A zurückgekoppelt, wobei R 8 und R 9 die Schalthysterese bestimmen.

Die Frequenz des Dreieck-Generators wird durch die Widerstände R 8 bis R 10 und den Kondensator C 4 bestimmt und errechnet sich nach der Formel

$$f = \frac{R 9}{4 \cdot R 8} \cdot \frac{1}{R 10 \cdot C 4}$$

Doch kehren wir jetzt wieder zum Ausgang des Dreieck-Generators (IC 1 B, Pin 7) zurück. Das hier anstehende Dreieck-Signal wird über R 12 auf den nicht-invertierenden Eingang des als Komparator geschalteten Operationsverstärkers IC 1 D gegeben, der wiederum einen Vergleich mit der an Pin 13 anliegenden, variablen Steuergleichspannung vornimmt. Am Ausgang des Komparators liegt dann das pulswellenmodulierte Signal zur Steuerung der mit dem Transistor T 1 und T 2 aufgebauten Treiberstufe an.

Die Zusammenhänge zwischen der Dreieckspannung, der Steuergleichspannung und dem Ausgangssignal des Komparators zeigen wir in Abbildung 4.

Wie bereits erwähnt, ist zum schnellen Auf- und Entladen der parasitären Gate-Kapazität des Leistungs-Feldeffekttransistors eine relativ große Steuerleistung erforderlich, so daß der Ausgangsstrom des Komparators IC 1 D mit Hilfe der Transi-

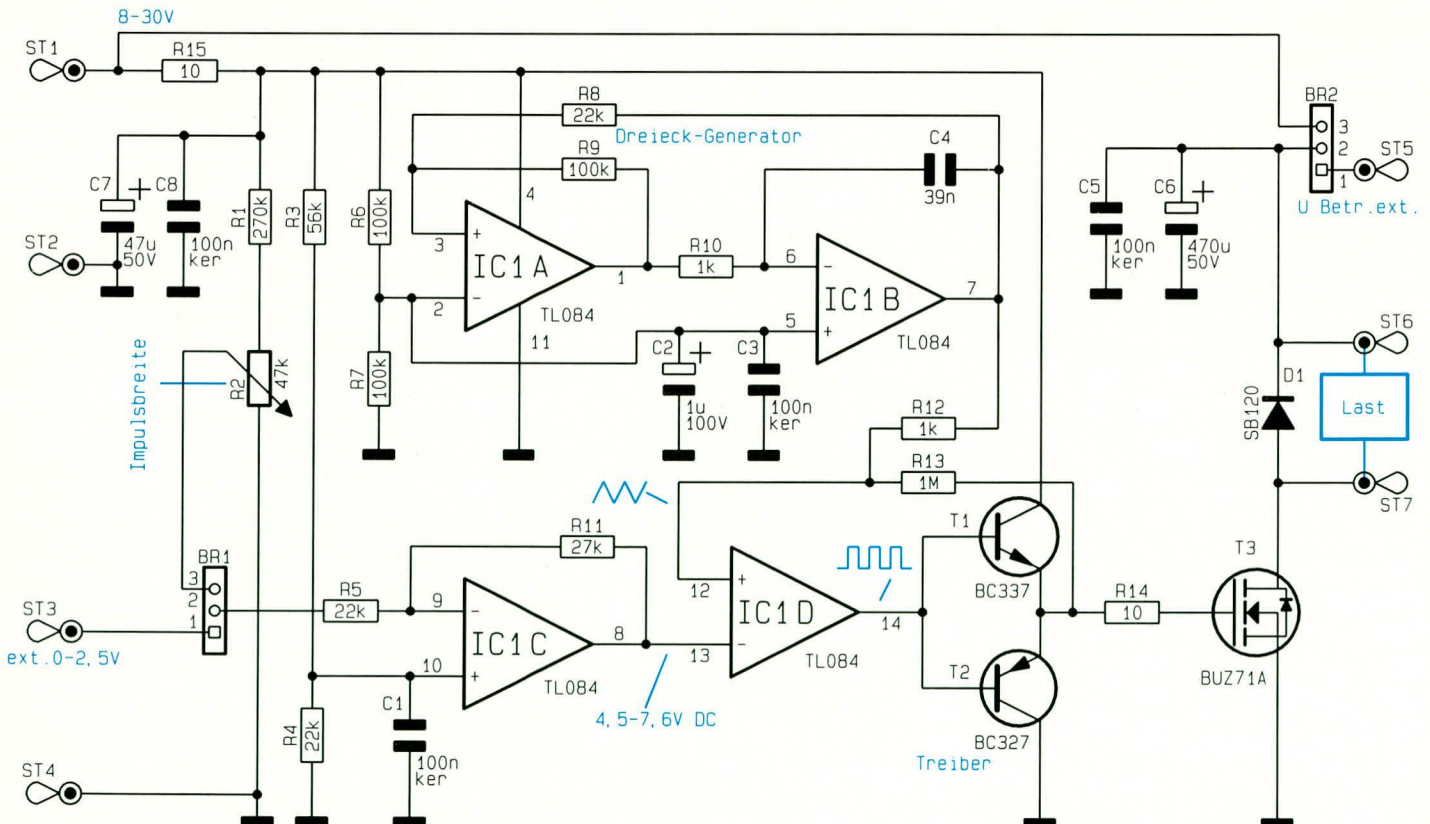
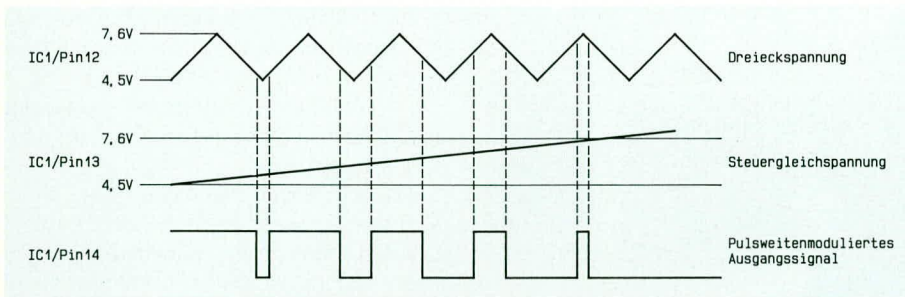


Bild 3: Schaltbild des Leistungs-Pulsweiten-Modulators





**Bild 4: Zusammenhänge zwischen der Dreiecksspannung, der Steuergleichspannung und den pulsweiten-modulierten Ausgangsgrößen des Komparators IC 1 D**

storen T 1 und T 2 verstärkt werden muß. R 14 fungiert in diesem Zusammenhang lediglich als Strombegrenzungswiderstand und zum Schutz der Treibertransistoren.

Eine im Feldeffekttransistor des Typs BUZ71A integrierte Antiparallel-Diode eliminiert die bei induktiven Lasten durch Gegeninduktion hervorgerufenen negativen Spannungspitzen. Die positiv gerichteten Spikes werden über die schnelle Schottky-Diode D 1 abgebaut. C 5 und C 6 puffern dann die Versorgungsspannung der Last.

Üblicherweise wird die Last mit der gleichen (zwischen 8 V und 30 V liegenden) Versorgungsspannung wie die Schaltung betrieben. Je nach Stellung der Brücke BR 2 besteht aber auch die Möglichkeit,

gangsleistung ein linearer Zusammenhang besteht. Eine Skalierung des Potis ist daher sehr einfach möglich.

Da sich unsere Dreiecksspannung am Eingang des Komparators IC 1 D bei 12 V-Betriebsspannung zwischen 4,5 V und 7,6 V bewegt, ist eine entsprechende Umsetzung der Steuerspannung erforderlich. Diese Aufgabe übernimmt der als Subtrahierer geschaltete Operationsverstärker IC 6 C. Während die Verstärkung der Stufe durch die Widerstände R 5 und R 11 festgelegt wird, bestimmen die Widerstände R 3 und R 4 den erforderlichen Spannungsoffset am Ausgang (Pin 8).

Über R 15 wird die Schaltung mit Spannung versorgt, wobei die Kondensatoren C 7 und C 8 zur Pufferung und allgemeinen Stabilisierung dienen.

## Nachbau

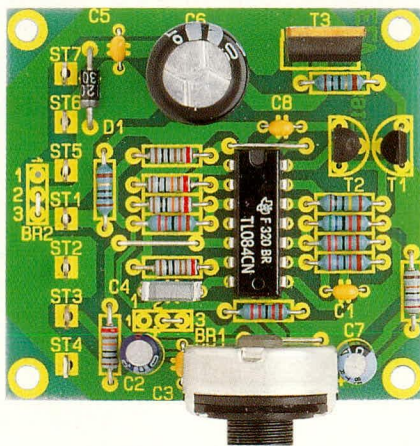
Der Nachbau des PWMs ist besonders einfach, da die gesamte Schaltung aus weniger als 30 Bauelementen besteht.

Zuerst werden die 5 Drahtbrücken eingelötet, wobei gleichzeitig die gewünschte Steuerung (Einstellpoti oder externe Spannung) sowie die Spannungsversorgung der Last festgelegt wird.

Die Anschlußbeinchen der Widerstände und Dioden werden abgewinkelt, durch die entsprechenden Bohrungen der Leiterplatte gesteckt, an der Printseite leicht angewinkelt und nach dem Umdrehen der Platine in einem Arbeitsgang verlötet. Danach sind die überstehenden Drahtenden so kurz wie möglich abzuschneiden, ohne die Lötstellen selbst zu beschädigen.

Alsdann werden die 4 Keramik-, 1 Folien- sowie 3 Elektrolytkondensatoren eingesetzt und an der Printseite sorgfältig verlötet. Bei den Elektrolytkondensatoren handelt es sich um gepolte Bauelemente, die unbedingt mit der richtigen Einbaulage (Polarität) zu bestücken sind.

Die Anschlußbeinchen der beiden Treiber sowie des Leistungstransistors sind so tief wie möglich durch die entsprechenden Bohrungen der Leiterplatte zu drücken und an der Lötseite sorgfältig zu verlöten.



**Fertig aufgebaute Leiterplatte des PWMs**

die Last unabhängig von der Schaltung mit einer niedrigeren oder auch höheren (bis maximal 50 V), an ST 5 anzulegenden, externen Spannung zu betreiben.

Gesteuert wird unser Pulsweiten-Modulator entweder durch das Einstellpoti R 2 oder durch eine an ST 3 extern anzulegende Steuergleichspannung, die z. B. von einem externen DA-Wandler geliefert werden kann. Bei 12 V-Betriebsspannung wird für die Steuerung des PWMs von 0 % bis 100 % eine Steuerspannung zwischen 0 V und 2,5 V benötigt. Interessant ist auch, daß zwischen der Steuerspannung bzw. dem Drehwinkel des Potis und der Aus-

### Stückliste: Pulsweiten-Modulator

#### Widerstände:

10Ω	.....	R14, R15
1kΩ	.....	R10, R12
22kΩ	.....	R4, R5, R8
27kΩ	.....	R11
56kΩ	.....	R3
100kΩ	.....	R6, R7, R9
270kΩ	.....	R1
1MΩ	.....	R13
Poti, 47kΩ	.....	R2

#### Kondensatoren:

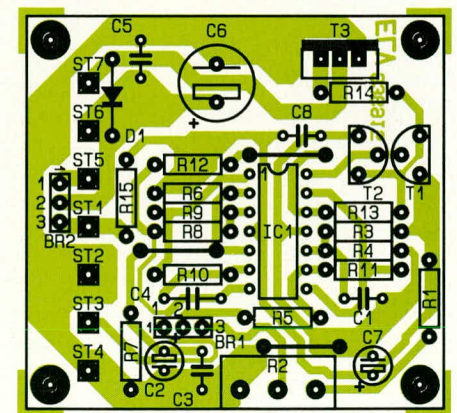
39nF	.....	C4
100nF/ker	.....	C1, C3, C5, C8
1µF/100V	.....	C2
47µF/40V	.....	C7
470µF/50V	.....	C6

#### Halbleiter:

TL084	.....	IC1
BC327	.....	T2
BC337	.....	T1
BUZ71A	.....	T3
SB120	.....	D1

#### Sonstiges:

- 7 Lötstifte mit Lötöse
- 10cm Schaltdraht, versilbert



**Bestückungsplan des PWMs**

Der 4fach-Operationsverstärker IC 1 wird so eingelötet, daß die Gehäusekerbe des Bauelements mit dem entsprechenden Symbol im Bestückungsdruck übereinstimmt.

Zum Anschluß der Versorgungsleitungen und der Last dienen 7 Lötstifte mit Öse, die entsprechend dem Platinenfoto einzulöten sind. Bei hohem Schaltstrom kann der Leistungstransistor zusätzlich mit einem Kühlkörper zur Wärmeabfuhr versehen werden.

Nach dem Einlöten des Einstellpotis ist der Nachbau abgeschlossen, und die Schaltung kann ihrem bestimmungsgemäßen Einsatz zugeführt werden.

