

# Dimmen einer LED mittels Pulsweitenmodulation (PWM)

Erweiterungen: Dimmen einer Glühlampe

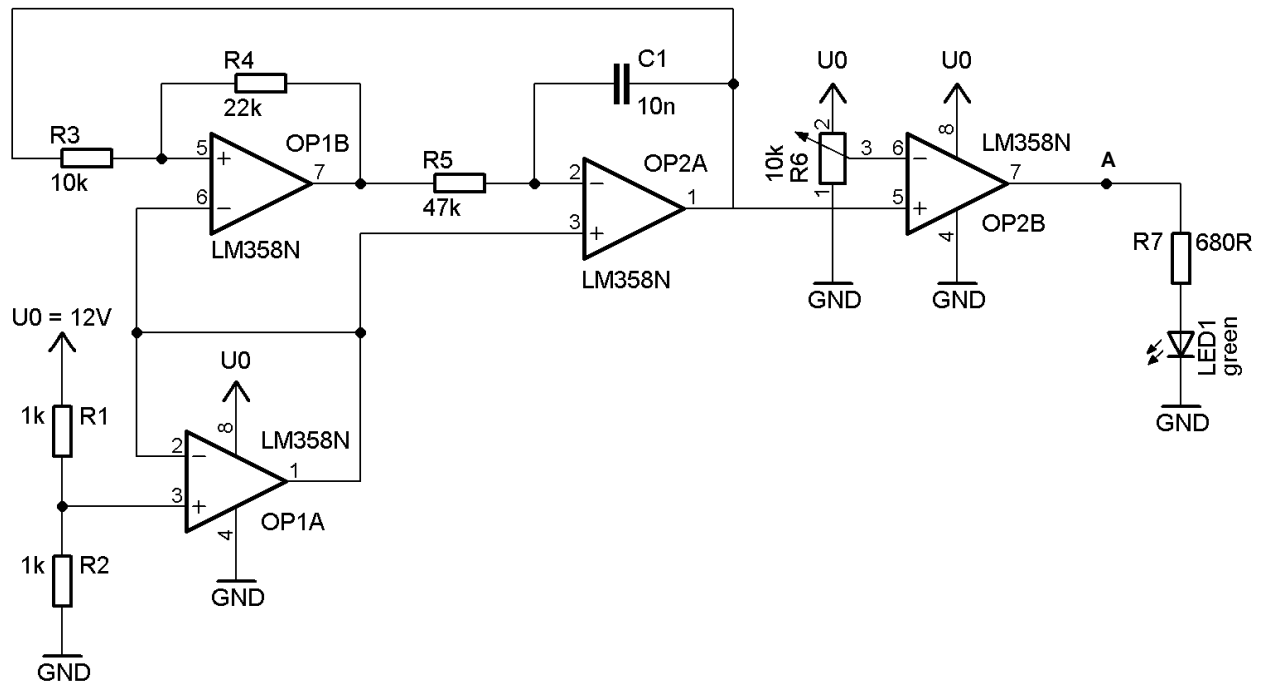


Abb. 1: Schaltplan

## Versuchsbeschreibung

Mit Hilfe dieser Schaltung kann eine LED durch Pulsweitenmodulation (PWM) verlustarm gedimmt werden. Die Helligkeit kann mit Hilfe von  $R_6$  eingestellt werden.

### Die Theorie der Pulsweitenmodulation:

Ein PWM Signal lässt sich durch ein Rechtecksignal mit konstanter Periodendauer  $T$ , aber variabler Pulsweite  $t_{on}$  beschreiben.

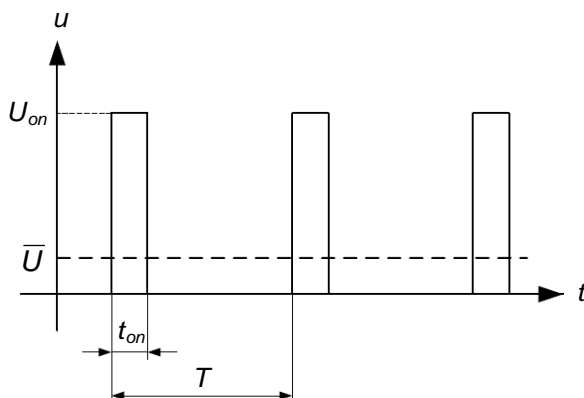


Abb. 2a

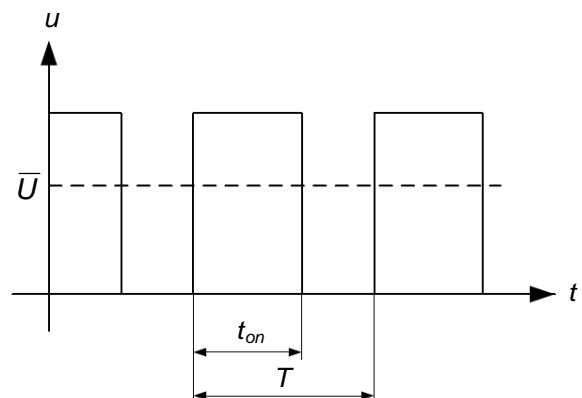


Abb. 2b

An einer Last mit Tiefpasscharakter (z.B. Glühlampe) ist, bei ausreichend hoher Frequenz des PWM Signals der arithmetische Mittelwert des Signals entscheidend.

Durch Verändern der Pulsbreite und somit auch des Mittelwerts kann also die mittlere Leistung an der Last variiert werden, ohne dabei nennenswerte Verluste zu produzieren.

Theoretisch könnte man die LED auch direkt mit einem Poti als Vorwiderstand dimmen, da die Leistungsaufnahme bei LEDs sehr gering ausfällt. Die PWM-Ansteuerung von LEDs ist also nur bedingt sinnvoll. Wollen wir hingegen Glühlampen (siehe Erweiterungen) mit einer wesentlich höheren Leistungsaufnahme dimmen, so kommt der PWM eine wesentlich größere Bedeutung zu.

Vorerst soll uns aber die LED als Funktionsindikator für die Schaltung dienen.

## Funktionsbeschreibung

Die Schaltung lässt sich in mehrere Teilschaltungen aufsplitten und anhand dieser relativ einfach erklären.  $OP_{1B}$  bildet zusammen mit  $R_3$  und  $R_4$  einen nicht invertierenden Schmitt-Trigger,  $OP_{2A}$  zusammen mit  $R_5$ ,  $C_1$  einen (invertierenden) Integrator.

Da uns keine symmetrische Spannungsversorgung für die OPs zur Verfügung steht, bedienen wir uns eines Tricks.  $OP_{1A}$  ist als Spannungsfolger mit  $U_0/2$  am Ausgang geschaltet und hebt das "Ruhepotential" von Schmitt-Trigger und Integrator um die halbe Betriebsspannung an, so dass wir um dieses "neue" Ruhepotential symmetrisch aussteuern können.

(siehe auch [HLST-Skript, Abb. 13.4])

Betrachten wir nun als Erstes die Kombination von Schmitt-Trigger und Integrator. Die Überlegungen für diesen Schaltungsteil werden einfacher, wenn wir  $U_0/2$  vorübergehend als "Stern-Masse" bezeichnen und alle Potentiale auf diese neue Masse beziehen. Schmitt-Trigger und Integrator hängen in unserem neuen System nun mit jeweils einem Eingang an Masse und werden mit  $\pm 6V$  versorgt.

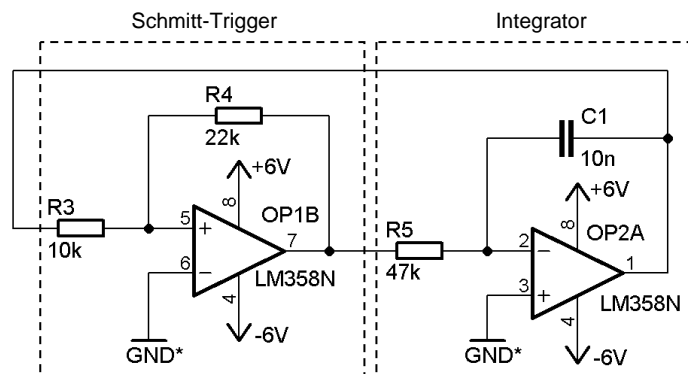


Abb. 3: Schmitt-Trigger und Integrator mit Bezug auf "Stern-Masse"

Der nicht invertierende Schmitt-Trigger geht bei Überschreiten einer oberen Schaltschwelle  $U_{TH+}$  in die pos. Sättigung ( $\approx 6V$ ) und bei Unterschreiten einer unteren Schaltschwelle  $U_{TH-}$  in die negative Sättigung ( $\approx -6V$ ). Die Schaltschwellen werden durch  $R_3$  und  $R_4$  bestimmt und liegen bei den angegebenen Widerstandswerten in etwa bei  $U_{TH-} = -3V$  und  $U_{TH+} = 3V$ .

Der Ausgang des Schmitt-Triggers befindet sich nun in der pos. Sättigung. Am Eingang des (invertierenden) Integrators liegt nun eine konstante pos. Spannung, so dass an dessen Ausgang die Spannung zeitlich linear abfällt. Da diese Spannung an den Eingang des Schmitt-Triggers rückgekoppelt wird, geschieht dies so lange, bis  $U_{TH-}$  unterschritten wird und der Schmitt-Trigger in die neg. Sättigung kippt. Nun liegt eine konstante neg. Spannung am Eingang des Integrators, so dass die Ausgangsspannung wieder linear zunimmt. Sobald  $U_{TH+}$  überschritten wird, beginnt der Zyklus von vorn.

Betrachten wir nun die zeitlichen Signalverläufe an den Ausgängen der OPs, so erkennen wir, dass am Ausgang von  $OP_{1B}$  ein rechteck- und am Ausgang von  $OP_{2A}$  ein dreiecksförmiger Verlauf der Spannung zu verzeichnen ist.

Abb. 4a zeigt die Spannungsverläufe bezogen auf "Stern-Masse", Abb. 4b bezogen auf tatsächliche Schaltungsmasse (um  $U_0/2$  angehoben).

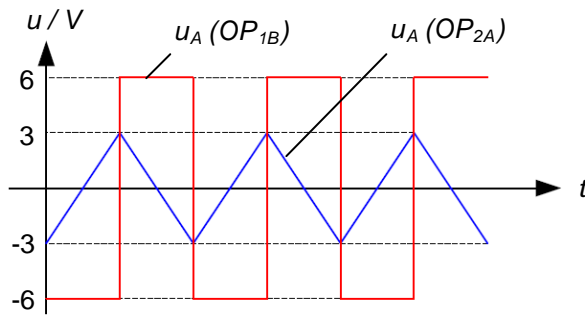


Abb. 4a

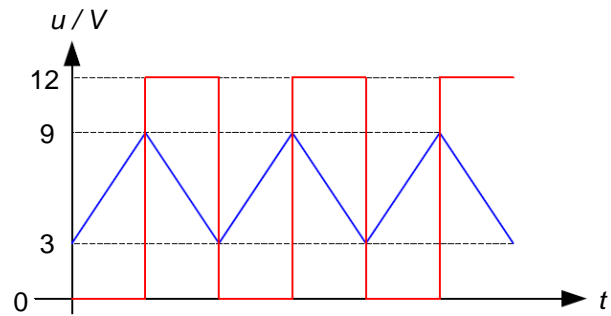


Abb. 4b

Die Anordnung realisiert also einen Funktionsgenerator, aber wie können wir daraus ein PWM Signal erzeugen? Dies wird mit Hilfe von  $OP_{2B}$ , welcher als Komparator verwendet wird, erreicht. Wir wollen für alle weiteren Betrachtungen unsere Potentiale wieder auf die tatsächliche Schaltungsmasse beziehen. Der Komparator vergleicht die Dreiecksspannung mit einer über das Poti  $R_6$ , einstellbaren Referenzspannung. Solange die Dreiecksspannung größer als die Referenz ist, geht der Komparator in seine pos. Sättigung ( $\approx 12V$ ), andernfalls in die neg. Sättigung ( $\approx 0V$ ). Wir haben nun also am Ausgang des Komparators ein PWM Signal erzeugt. Die Pulsbreite können wir durch Verstellen der Referenzspannung variieren. Zum Test legen wir das Signal an eine LED (mit Vorwiderstand), deren Helligkeit wir nun mit Hilfe von  $R_6$  einstellen können.

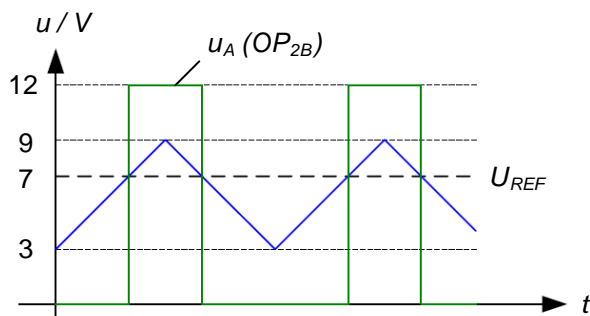


Abb. 5a:  $U_{REF} = 7V$

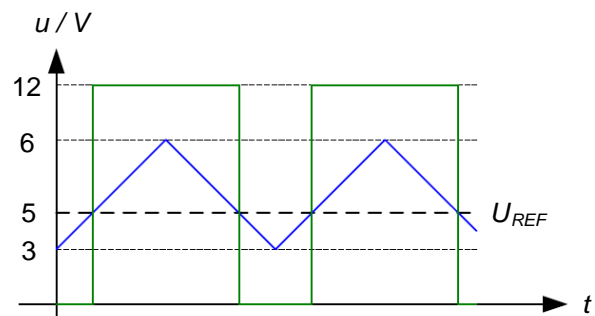


Abb. 5b:  $U_{REF} = 5V$

## Dimensionierung

Für alle nachfolgenden Dimensionierungen nehmen wir alle OPs als ideal an, d.h. keine Eingangsströme, unendlich hohe Spannungsverstärkung, usw. Weiters nehmen wir an, dass die OPs bis an ihre Versorgungsspannungen aussteuern können. In der Realität kann der LM 358 nur ca. bis 1V an seine obere Versorgungsspannung herankommen, gegen Masse kann er hingegen vollständig aussteuern. Es werden daher leichte Asymmetrien in der Dreiecksspannung auftreten und die Frequenz wird etwas von der berechneten abweichen. Das soll uns aber nicht weiter kümmern, da uns die genaue Frequenz nicht interessiert, solange sie nur groß genug ist.

$R_1$  und  $R_2$  müssen einen 1:2 Spannungsteiler realisieren und werden jeweils mit  $1k\Omega$  gewählt.

Für die Dimensionierung von Schmitt-Trigger und Integrator verwenden wir wieder das Stern-System, da die Berechnungen dadurch leichter zu verstehen sind. Beginnen wir mit dem Schmitt-Trigger.

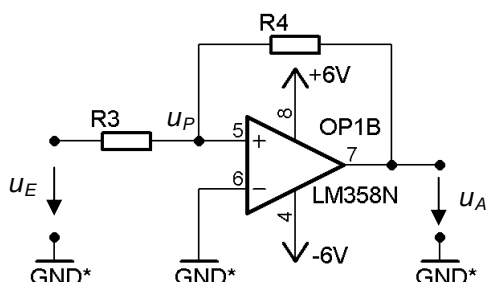


Abb. 6: Schmitt-Trigger mit Bezug auf "Stern-Masse"

Potential am nicht inv. Eingang:  $u_P = (u_A - u_E) \frac{R_3}{R_3 + R_4} + u_E$

Da der inv. Eingang an Masse liegt, liegt die Umschaltgrenze bei  $u_P = 0V$

$$\rightarrow u_P = (u_A - u_E) \frac{R_3}{R_3 + R_4} + u_E = 0 \quad \rightarrow u_E = -u_A \frac{R_3}{R_4}$$

obere Schaltschwelle:  $u_A = -U_B \rightarrow U_{TH+} = U_B \frac{R_3}{R_4} = 6V * \frac{R_3}{R_4}$

untere Schaltschwelle:  $u_A = U_B \rightarrow U_{TH-} = -U_B \frac{R_3}{R_4} = -6V * \frac{R_3}{R_4}$

gewünscht:  $U_{TH-} = -3V, U_{TH+} = 3V \rightarrow \frac{R_3}{R_4} = \frac{1}{2} \rightarrow R_3 = 10k\Omega, R_4 = 22k\Omega$ , gewählt

Wir haben nun durch die Schaltschwellen des Schmitt-Triggers die Spitzenwerte der Dreiecksspannung festgelegt. Durch die Dimensionierung des Integrators können wir nun die Frequenz festlegen. Wir wählen diese beliebig mit 1kHz, sie können die Dimensionierung aber natürlich auch mit anderen Werten ausprobieren. Bedenken Sie dabei aber, dass die als Komparator verwendeten OPs nicht sehr schnell sind (Stichwort: Slew-Rate, [HLST-Skript, Kap. 13.2])

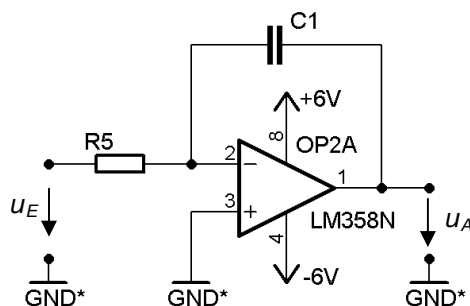


Abb. 7: Integrator mit Bezug auf "Stern-Masse"

Für die Ausgangsspannung des (invertierenden) Integrators gilt:  $u_A(t) = u_A(t_0) - \frac{1}{R_5 C_1} \int_{t_0}^t u_E d\tau$

Für  $u_E = -U_B = -6V$  (neg. Sättigung von  $OP_{1B}$ ) wird nach oben integriert (siehe Abb. 8):

$$u_A(t) = u_A(t_0) + \frac{1}{R_5 C_1} \int_{t_0}^t U_B * d\tau = u_A(t_0) + \frac{1}{R_5 C_1} * U_B * (t - t_0)$$

$$u_A(t_1) = u_A(t_0) + \frac{1}{R_5 C_1} * U_B * (t_1 - t_0) = u_A(t_0) + \frac{1}{R_5 C_1} * U_B * \frac{T}{2} \rightarrow T = \frac{u_A(t_1) - u_A(t_0)}{U_B} * 2R_5 C_1$$

$$T = 2R_5 C_1 \rightarrow R_5 C_1 = \frac{1}{2 * f} = 500\mu s \rightarrow C_1 = 10nF, R_5 = 47k\Omega \text{ gewählt}$$

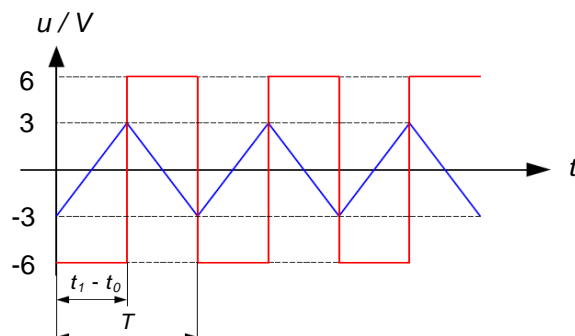


Abb. 8

Für  $R_6$  verwenden wir das  $10k\Omega$  PT10 Poti.

Die Flussspannung für grüne LEDs liegt in etwa bei 2,1V. Wenn wir annehmen, dass der Komparator bis Betriebsspannung (12V) aussteuern kann und wir den maximalen LED-Strom mit ca. 15mA wählen, so können wir  $R_7$  berechnen:

$$R_7 = \frac{U_0 - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12V - 2,1V}{15mA} = 660\Omega \rightarrow 680\Omega \text{ gewählt}$$

## Erweiterungen

### Dimmen einer Glühlampe

**ACHTUNG:** Die Glühlampe wird sehr heiß! Lassen Sie die Lampe daher nicht unbeaufsichtigt auf dem Steckbrett eingeschaltet.

Wenn Ihre Schaltung so weit mit der LED funktioniert, wie sie soll, so können Sie nun den Schaltungsteil rechts von Klemme A (siehe Schaltplan) entfernen und durch folgende Schaltung ersetzen:

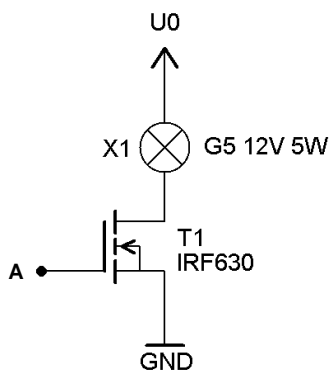


Abb. 9: Erweiterung auf Glühlampe

Da der Ausgang des OPs nicht den nötigen Strom liefern kann, der für die Glühlampe notwendig ist, verwenden wir einen n-Kanal MOSFET als Leistungsschalter. Die Ausgangsspannung von  $OP_{2B}$  entspricht der Gate-Source Spannung des FETs, welcher somit das PWM-Signal an die Lampe weitergibt.

#### Tipp zum Aufbau:

Die Glühlampe passt genau diagonal in 2 Klemmen am Steckbrett