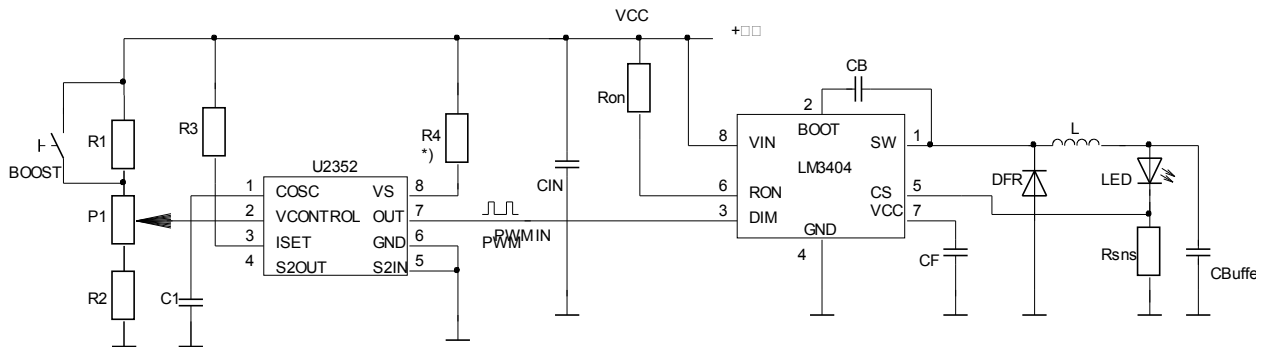


# LED-Schaltwandler Version 7

Nach soviel Mikrocontroller kommt die Lust auf, mal wieder eine rein analoge Schaltung zu bauen. Zumal noch 2 ICs darauf warten, endlich ausprobiert zu werden: der LM3404-Schaltregler (leider nur als SMD, hier mit Adapterplatinchen) und der U2352-PWM-IC.

## 1. Schaltung



P1: Helligkeitseinstellung, stufenlos, mittels PWM

BOOST: Maximale Helligkeit durch PWM = H

$V_{CC} = U_{IN} = +6V$  (Bleiakku)

$R1 = 12K\Omega$

$P1 = 10K\Omega$

$R2 = 8.2K\Omega$

$R3 = 10K\Omega$

$C1 = 1nF$

$R4 = 82\Omega$

$R_{ON} = 82k\Omega$

$C_{IN} = 470\mu F$

$CB = 10nF$

$CF = 100nF$

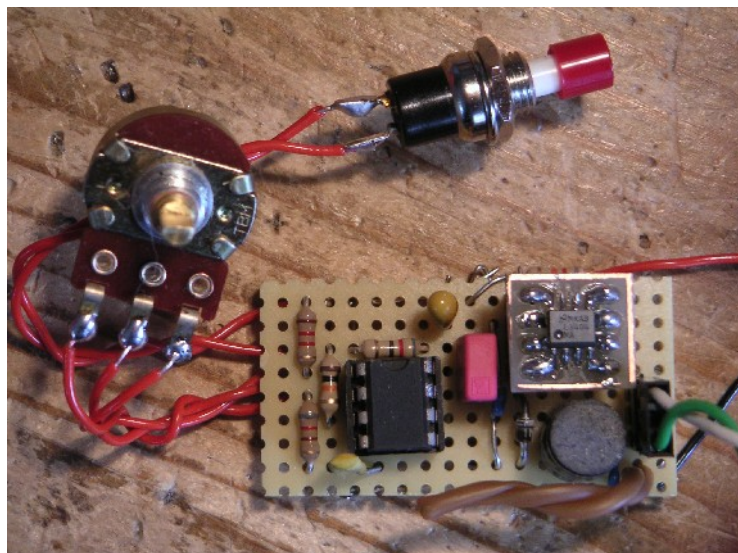
$DFR = 1N8517$

$R_{sns} = 0.3\Omega$

$C_{buffer} = 100nF$

LED = z.B. Luxeon 3W

$L = 50\mu H$



## 2. Funktionsweise

### a) Schaltwandler

Der rechte Teil der Schaltung stellt den Schaltwandler dar. Er passt die 6V-Spannung des Bleiakkus an die etwa 4V der Leistungs-LED an. Da die Spannung heruntertransformiert wird, gilt für den Strom das Umgekehrte. In der Zuleitung fließt also weniger Strom als durch die

LED.

Der LM3404 enthält die benötigte Steuerelektronik und einen internen MOSFET als Schalter.

Die zum Strom proportionale Spannung  $U_{sense}$  an  $R_{SNS}$  (Pin CS, Pin 5) wird mit der internen Referenzspannung von 200mV verglichen. Wenn die Spannung unter 200mV liegt, wird der interne MOSFET für die feste Zeit  $t_{ON}$  eingeschaltet.

Der Strom durch Induktivität und LED steigt dann näherungsweise linear an.

Die Zeit  $t_{ON}$  ist durch  $R_{ON}$  und die Eingangsspannung  $V_{IN}$  festgelegt:

$$t_{ON} = 0.134 \mu s \cdot \frac{\frac{R_{ON}}{k \Omega}}{\frac{V_{IN}}{V}} = 1.83 \mu s$$

Nach Ablauf dieser Zeit wird abgeschaltet und der Strom fließt (näherungsweise linear abnehmend) über die Freilaufdiode und die LED weiter, bis die 200mV an  $R_{SNS}$  unterschritten werden und ein neuer Zyklus beginnt. Während der Ausschaltzeit fließt kein Strom in der Zuleitung. Die minimale Ausschaltzeit beträgt 0.3µs.

### Welligkeit des Stromes:

Die Welligkeit des Stromes ist umso kleiner, je grösser der Wert der Induktivität und je höher die Schaltfrequenz ist.

Während der Zeit  $t_{ON}$  steigt der Strom linear an, die treibende Spannung an der Spule ist

$$u_L = U_{IN} - U_{LED} - U_{SNS}$$

$$u_L = 6V - 4V - 0.2V = 1.8V.$$

Also

$$u_L = L \cdot \frac{\Delta i_{LED}}{\Delta t}$$

mit  $\Delta t = t_{ON}$  ergibt sich

$$\Delta i_{LED} = \frac{U_L}{L} \cdot t_{ON} = 66mA$$

### $R_{SNS}$

ist festgelegt dadurch, dass beim untersten Wert des Stromes an ihm 200mV abfallen.

Der Mittelwert des Stromes liegt dann um den halben Wert der Welligkeit höher.

Mit  $R_{SNS} = 0.3\Omega$  ergibt sich  $I_{min} = 200mV / 300m\Omega = 667mA$ , der Mittelwert des Stromes liegt also bei ca. 700mA, dies ist in etwa der maximale Strom für eine 3W LED.

Für  $R_{SNS}$  wurde einfach ein Stück bifilar zusammengedrehter Widerstandsdraht verwendet.

Durch Anpassen von  $R_{SNS}$  könnte der Strom eingestellt werden, eleganter geht es indem der Schaltregler über den DIM-Anschluss PWM-moduliert wird.

### b) PWM

Der U2352 erzeugt mit wenigen Bauteilen ein PWM-Signal, einstellbar von 0...100%.

Durch C1 wird die Oszillatorfrequenz eines internen Dreieckgenerators festgelegt.

$$f_{\text{osc}} [\text{kHz}] \approx \frac{55}{C_{\text{osc}} [\text{nF}] \times V_s [\text{V}]}$$

Diese liegt also in der Grössenordnung von 10kHz.

Die Dreiecksspannung wird mit der von P1 gelieferten Referenzspannung verglichen, am Ausgang des Komparators erscheint das PWM-Signal.

Dieses wird intern über eine Kontroll-Logik auf den Ausgang gegeben. Die Logik ermöglicht ein Abschalten bei Erreichen eines maximalen Laststromes. Da wir diese Schaltung nicht benötigen, ist sie deaktiviert, indem Pin5 auf GND und Pin3 über R3 auf +V<sub>CC</sub> gelegt wird.

Ob der Widerstand R4 unbedingt nötig ist, geht aus dem Datenblatt nicht klar hervor. Es handelt sich um den Vorwiderstand der internen Spannungsstabilisierung (von der man nicht weiss ob sie eher wie eine Z-Diode oder wie ein Stabilisator-IC funktioniert).

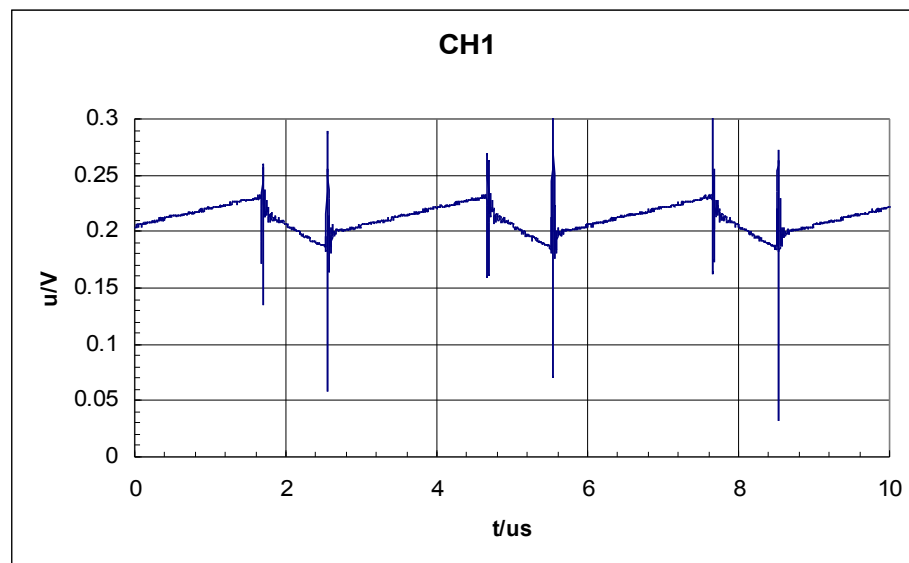
Das PWM-Signal gelangt auf den DIM-Eingang des LM3404 und bewirkt ein mit ca. 10kHz gepulstes PWM-moduliertes Licht.

### 3. Messungen

#### a) Boost-Betrieb

Spannung an Rsns bei PWM = 100% (volle Helligkeit):

(diese Messung wurde noch am Versuchsaufbau mit  $R_{\text{SNS}} = 0.39\Omega$  durchgeführt)



Mittelwert 211mV

$$I_{\text{LED}} = 211\text{mV} / 390\text{m}\Omega = 541\text{mA}$$

$$U_{\text{LED}} = 3.85\text{V} \quad (\text{fast keine Welligkeit})$$

$$P_{\text{LED}} = 2.08\text{W}$$

$$U_{\text{IN}} = 6.17\text{V}$$

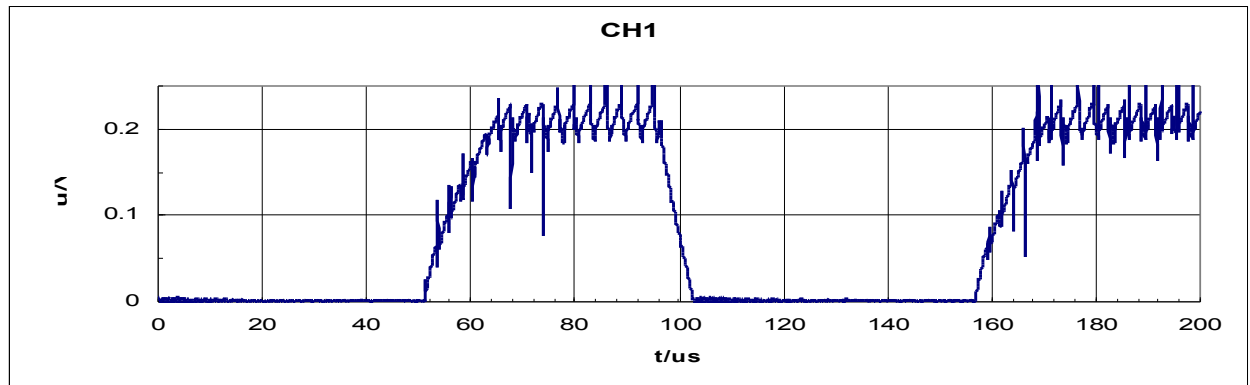
$$I_{\text{in}} = 0.4\text{A}$$

$$P_{\text{in}} = 2.47\text{W}$$

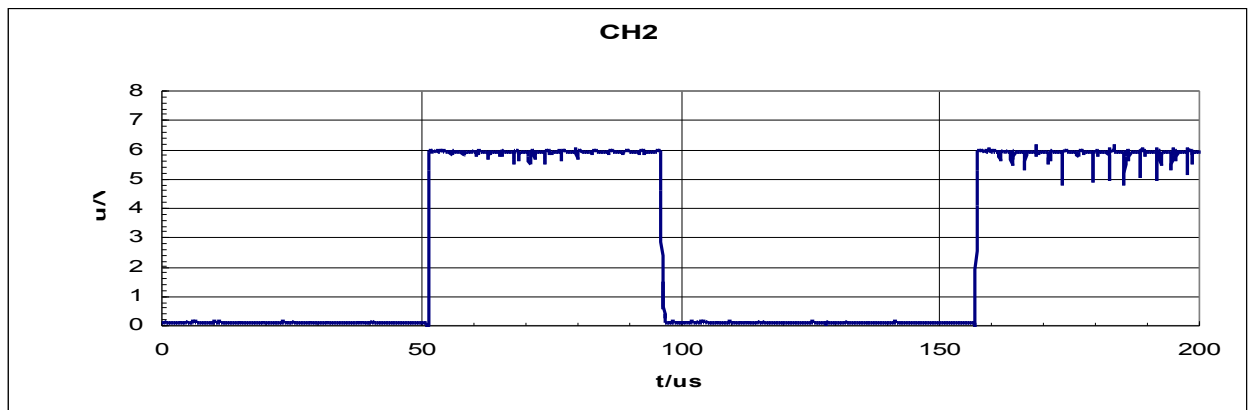
$$\eta = 84\%$$

## b) PWM – Betrieb

Spannung an  $R_{SNS}$ :



PWM-Signal:



Man erkennt gut, dass die Einschwingzeit des Schaltreglers hier nicht mehr vernachlässigbar klein ist gegenüber der PWM-Impulsdauer. Wenn dies stört, kann man C1 grösser wählen, sodass die PWM-Periodendauer länger wird. Dies hat den (geringfügigen) Nachteil, dass bei schnellen Bewegungen das Licht als flackernd empfunden wird (praktisch nur wenn man direkt in die Lampe blickt). Ab einer PWM-Frequenz von 1kHz dürfte das aber kein Problem sein