

1 Stepdownwandler von 48V auf 5V

Die Geschichte einer Schaltungsentwicklung

Von JC Feltes 8.2022

Zur Versorgung eines Mikrocontrollers brauche ich eine Spannung von 3-5V, zur Verfügung steht eine 48V-Batterie. Es gibt sehr wenige fertige Module oder ICs für diesen Zweck. Warum also nicht selbst eine Schaltung entwickeln?

Die erste Idee ist ein klassischer Stepdown-Wandler, der von einem Multivibrator als Impulsgeber gesteuert wird. Da die Spannung der Batterie recht konstant ist, wäre eine unregelte Version schon OK. Über das Tastverhältnis könnte die Spannung grob eingestellt werden.

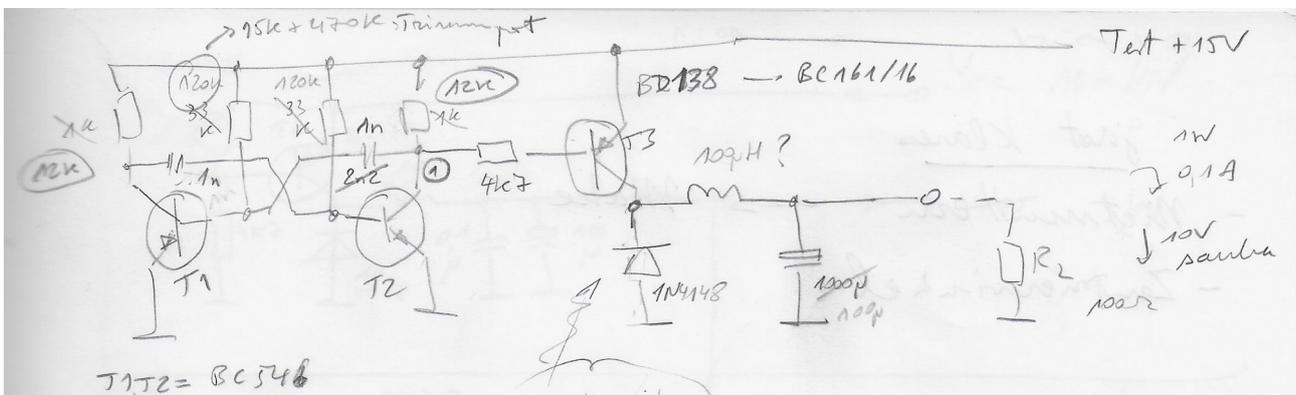
1 Bauteile

Wegen der relativ hohen Spannung ist es nicht möglich, Standard-OPVs oder TUN-Transistoren wie den BC547 zu verwenden. Es sollen aber nur Bauteile verwendet werden, die sowieso auf Lager sind.

Das Wühlen im Bauteillager und Konsultieren der Datenblätter brachte folgendes als geeignet hervor:

- BC546 (NPN) und BC556 (PNP): Kleinsignal-Verarbeitung
- BC161/16 oder BD138 als PNP-Leistungstransistor (könnte für kleine Ströme eventuell auch durch BC556 ersetzt werden)
- Spule 100uH aus einem ausgeschlachteten Netzteil

2 Fremdgesteuerter Stepdown-Wandler



Die Schaltung wurde zunächst mit niedriger Eingangsspannung getestet, sie funktionierte dann auch einwandfrei mit bis zu 60V.

Die Impulsdauer von T3 muss für hohe Eingangs- und niedrige Ausgangsspannungen sehr kurz werden.

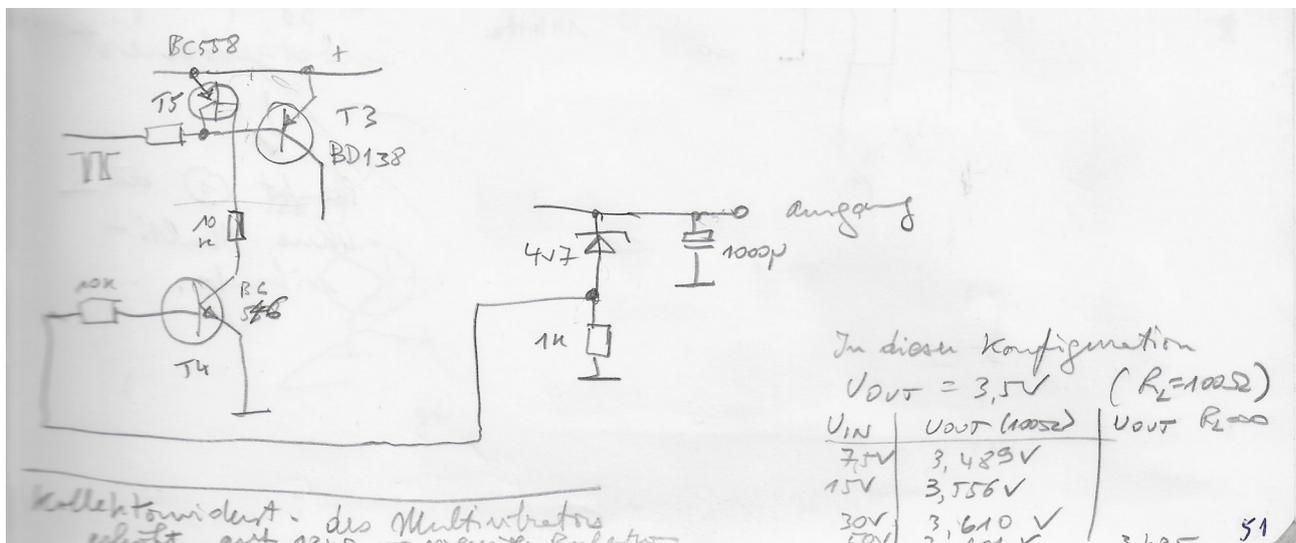
In der gezeigten Variante lag die Frequenz bei etwa 10kHz, beim Test mit 15V.

3 Fremdgesteuerter Stepdown-Wandler mit Regelung

Die nächste Variante sollte es erlauben, die Spannung zu regeln. Dies wäre vor allem bei extrem kleinen Tastverhältnissen wie sie hier vorkommen (von 48V auf 5V) interessant, da ein kleiner Fehler im Tastverhältnis grosse Auswirkungen auf die Ausgangsspannung hat.

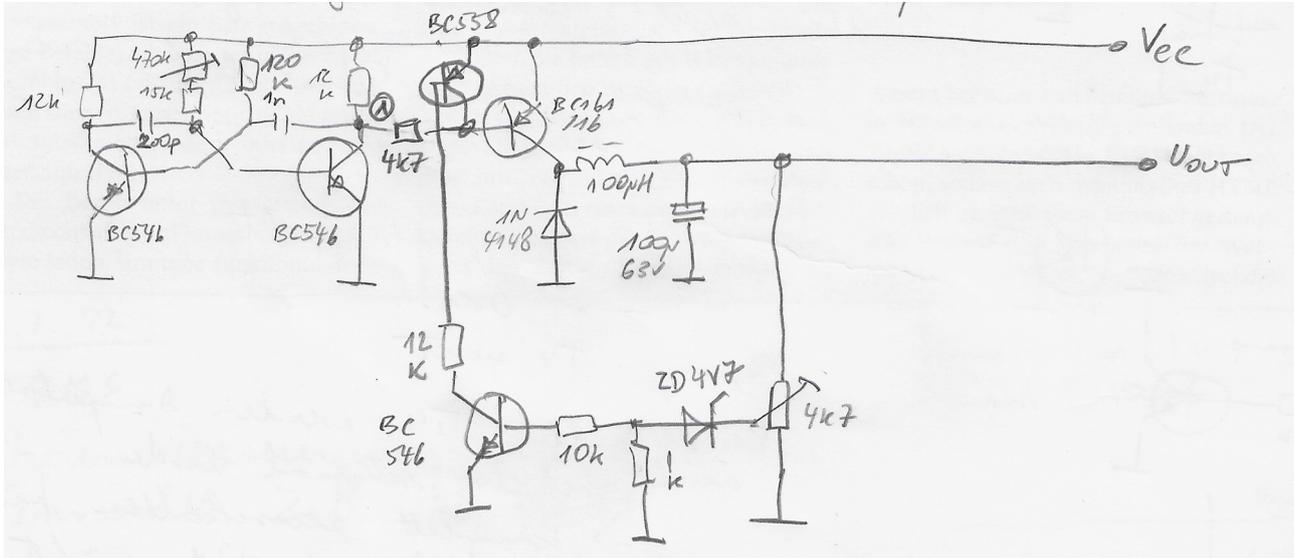
Erste Versuche, mit einem Transistor den Multivibrator zu blockieren durch Kurzschliessen der BE-Strecke von T2 ergaben zwar ein Regelverhalten, aber es war unbefriedigend, da der Multivibrator sich nicht komplett stoppen liess. Übrig blieben immer noch sehr schmale Impulse.

So erschien es besser, den Multivibrator durchlaufen zu lassen und T3 bei Bedarf zu blockieren. Dazu schliesst ein PNP-Transistor T4 dessen BE-Strecke kurz. Um T5 mit einer Spannung gegen Masse ansteuern zu können ist ein weiterer NPN-Transistor T4 nötig. Er erhält seine Basisspannung über eine Z-Diode vom Ausgang. Steigt die Ausgangsspannung über ca. 4.7V, leitet die Z-Diode, T4 und T5 werden leitend und T3 sperrt, wodurch die Spule keinen Strom mehr erhält und die Ausgangsspannung abfallen kann. (In Wirklichkeit leitet die Z-Diode schon etwas früher ein wenig und der Übergang ist nicht sehr abrupt, so dass die Ausgangsspannung hier nicht ganz klar definiert ist, aber um die 5V liegt.



4 Einstellbare Ausgangsspannung

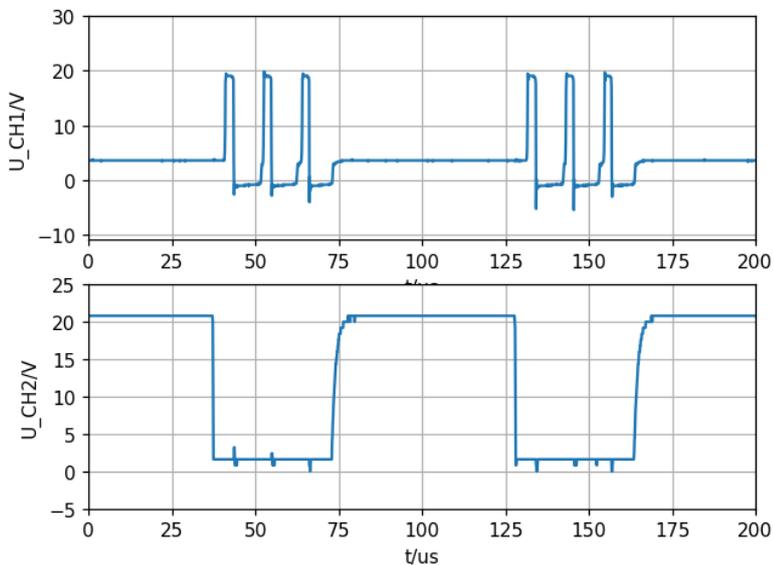
Nun wäre es schön, wenn die Ausgangsspannung einstellbar wäre. Das ist leicht möglich, indem man die Kathode der Z-Diode an den Abgriff eines Spannungsteilers mit Trimpmpotentiometer legt.



Test mit $V_{cc} = 20V$

U_{CH2} = Multivibrator Ausgang T2

U_{CH1} = Kollektor BC161 - Spule



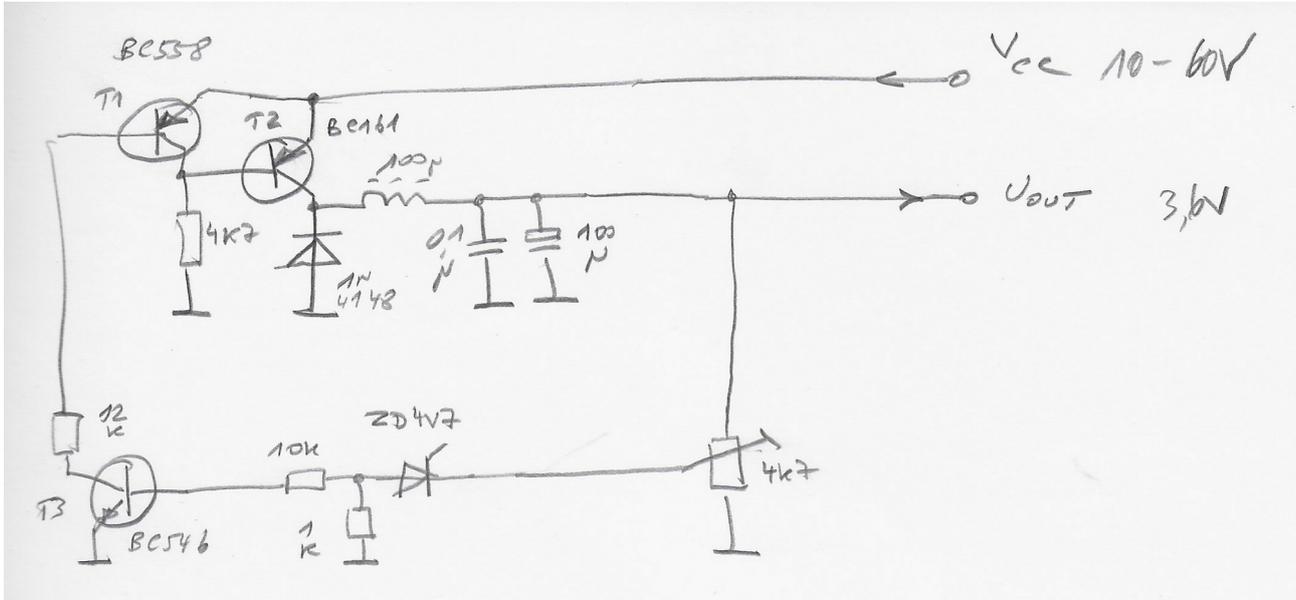
Das Oszillogramm zeigt etwas auf den ersten Blick erstaunliches: an der Spule liegen Impulse mit höherer Frequenz, unterbrochen im Rhythmus der Multivibratorfrequenz.

Wenn man aber ein wenig weiterdenkt, funktioniert die Schaltung eigentlich genauso gut ohne Fremdsteuerung. Dies ist möglich da die Regelung eine Rückkopplung in die Schaltung hineinbringt, wie es für selbständiges Schwingen ja unumgänglich ist.

5 Selbstschwingende Schaltung mit Regelung

Also: weg mit dem Multivibrator.

Die Regelschleife sorgt dafür, dass die Spule bei zu tiefer Ausgangsspannung ein- und bei zu hoher wieder ausgeschaltet wird:



Ein Blick auf's Oszilloskop zeigt, dass die Frequenz in dieser Schaltung recht hoch ist, in der Größenordnung von 100kHz je nach Ein- und Ausgangsspannung.

Dies könnte zu erheblichen Schaltverlusten führen, ausserdem ist die Schaltung handempfindlich, sie reagiert auf die kleine Zusatzkapazität einer genäherten Hand, jedenfalls verändert sich dadurch das Oszilloskopbild.

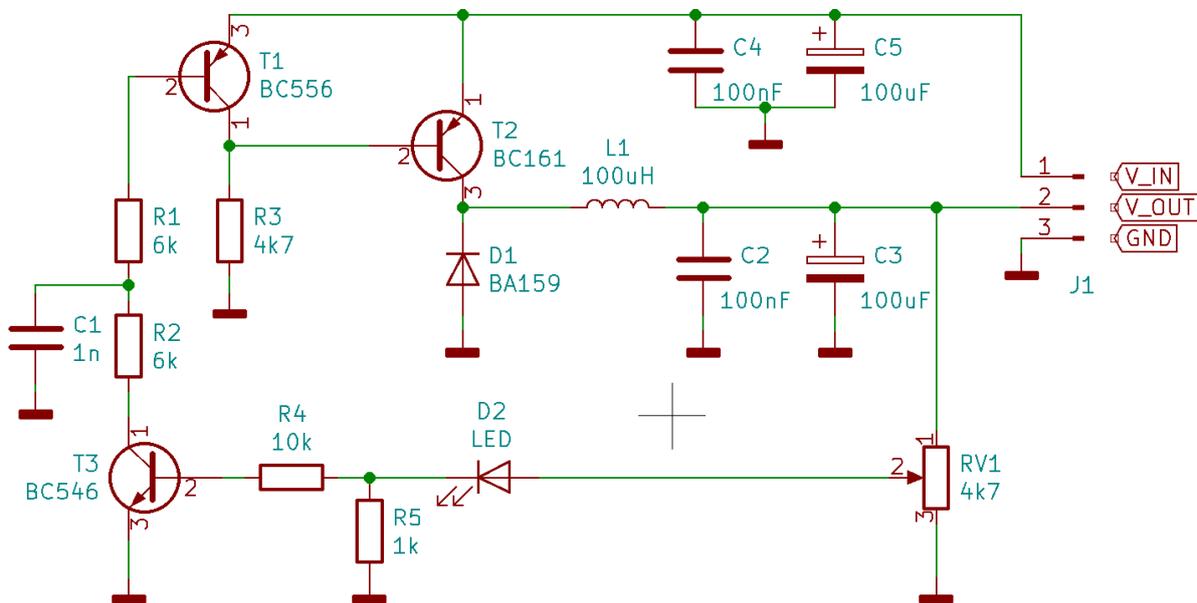
Um diesen Nachteil auszubügeln ist es sinnvoll eine kleine Verzögerung in Form eines Tiefpasses einzubauen.

Dazu kann der Basiswiderstand von T1 aufgeteilt werden, mit einer Kapazität nach Masse dazwischen.

Eventuell kann man auf die Z-Diode verzichten, in dem Fall übernimmt die BE-Strecke von T3 die Schwellenfunktion. Ein Vorteil ist, dass dann die Ausgangsspannung bis zu sehr kleinen Werten ($<1V$) eingestellt werden kann, wenn man es brauchen sollte. Mir schien die Regelung in diesem Fall etwas ungenauer zu funktionieren, aber das müsste ich noch überprüfen.

Mit einer grünen LED als "Z-Diode" funktioniert die Schaltung auch ganz gut, und LEDs hat man eher auf Lager als Z-Dioden mit einer bestimmten Spannung.

6 Endgültige Schaltung



Funktion:

Liegt die Ausgangsspannung unter dem Schwellwert, sperrt T3 und somit auch T1.

Die Basis von T2 wird über R3 Richtung Masse gezogen, T2 ist leitend.

Über die Spule L1 fließt ein mehr oder weniger linear ansteigender Strom, der C2 und C3 auflädt und die Ausgangsspannung ansteigen lässt. Ein Teil dieses Stromes speist auch die Last.

Beim Überschreiten des Schwellwerts werden D2, T3 und T1 leitend. Da nun die BE-Strecke von T2 kurzgeschlossen ist, sperrt T2. In der Spule fließt ein abnehmender Strom weiter über den Lastwiderstand und die Diode D1.

Dieses Wechselspiel wiederholt sich dauernd.

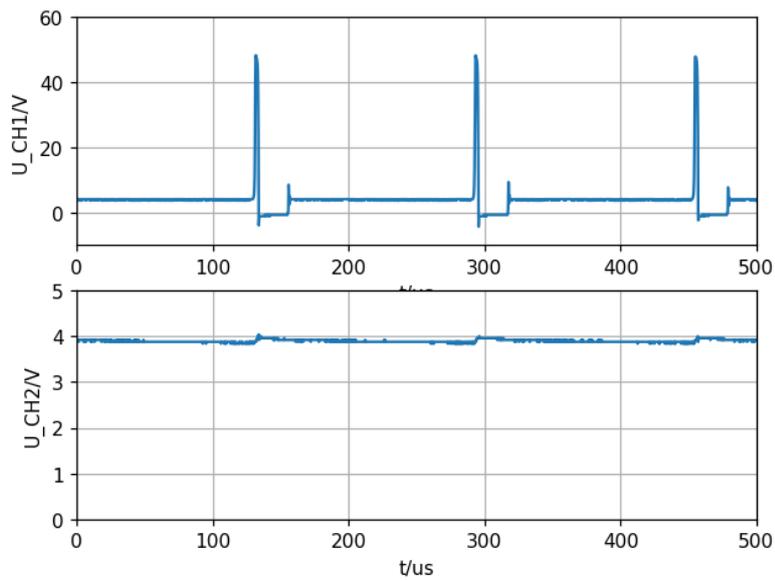
Aus diesen Überlegungen ergibt sich natürlich auch, dass die Ausgangsspannung keine perfekte Gleichspannung ist, sondern eine gewisse Welligkeit hat.

7 Messungen

Mit $U_{IN} = 50V$, $U_{OUT} = 4V$, $R_L = 100 \text{ Ohm}$

Channel 1: Kollektor T2 gegen Masse

Channel 2: Ausgangsspannung



Messung bei variabler Eingangsspannung mit $R_L = 100 \text{ Ohm}$

U _{IN} /V	U _{OUT} /V	I _{IN} /mA
30	4.021	16
40	4.048	16
50	4.063	17
60	4.037	17

Messung bei variablem Ausgangsstrom

U_{IN} = 48.6V von Batterie

I _{OUT} /mA	U _{OUT} /V	I _{IN} /mA
0	3.986	12
50	4.021	20
100	4.017	24
150	4.003	34
200	4.007	40

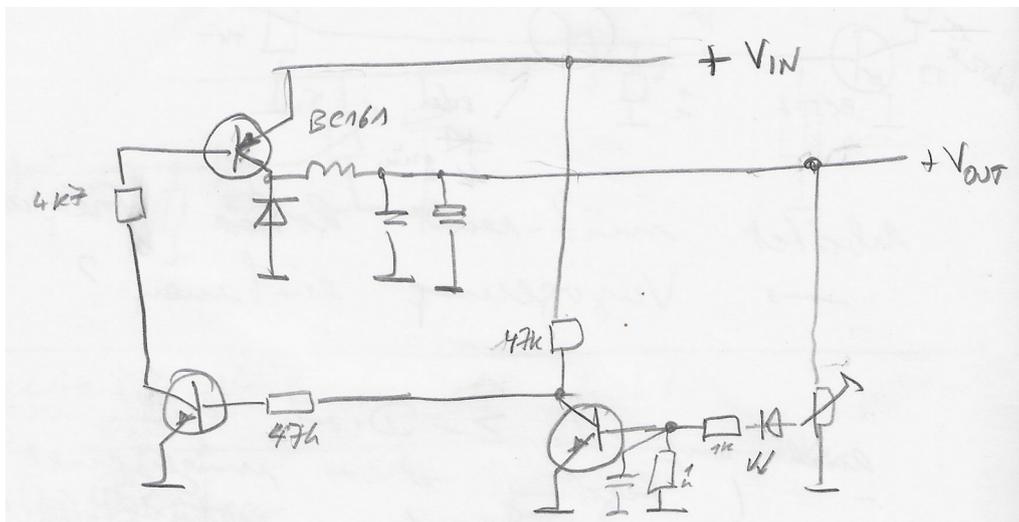
8 Ausblick



Die kleine Schaltung erfüllt ihren Zweck, sie könnte aber noch wesentlich verbessert werden. Ein Makel ist der relativ hohe Stromverbrauch im Leerlauf. Schaut man sich die Schaltung an, so sieht man, dass über R3 immer Strom fließt, entweder als Basisstrom von T2 oder als Kollektorstrom von T1. Dieser Strom liegt bei einer Betriebsspannung von 48V in der Größenordnung von 10mA.

Dies wäre eigentlich nicht nötig, wenn die Schaltung so umgebaut würde, dass die Regelung T2 direkt einschaltet, statt ihn zu sperren.

Eine erste Idee dazu wäre diese Schaltung:



Fazit:

Auch die kleinste analoge Schaltung ist nie fertig, sie bietet immer noch Gelegenheit, mit dem Oszilloskop und den Multimetern zu spielen und etwas dazu zu lernen.

Kommentare bitte an jean-claude.feltes@education.lu