

# PPS SOLAR CLIMBER

HS 2007



Petrit Bunjaku  
Meng Chy  
Roman Bosshard

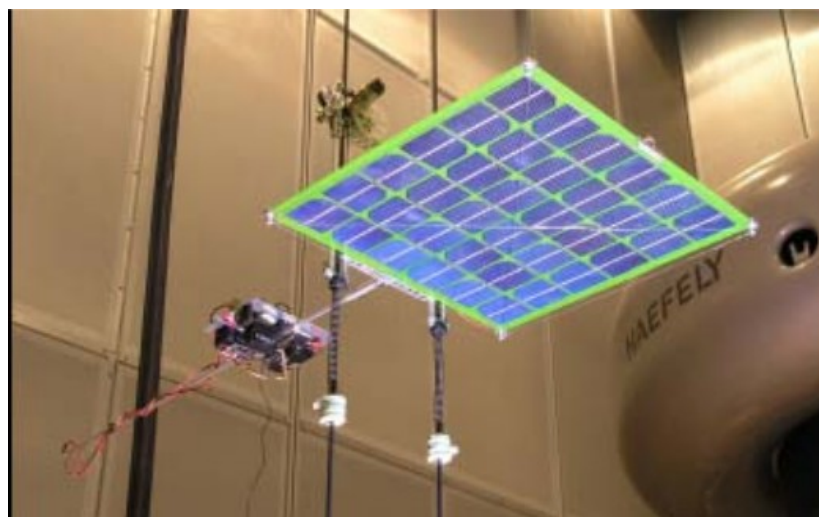
 Power Electronic Systems  
Laboratory

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
2 Gesamtsystem.....	3
3 Solarzellen.....	3
3.1 Grundlagen.....	3
3.2 Maximum Power Point.....	3
4 Antriebsmotor.....	4
5 Tiefsetzsteller.....	5
5.1 Grundaufbau.....	5
5.2 Abwärtswandler.....	5
5.2.1 Aufbau und Funktion.....	5
5.2.2 Spannungs- und Stromverlauf.....	6
5.2.3 Leistungsbilanz.....	6
6 Auslegung der Induktivität.....	6
7 Gesamtsystem des Tiefsetzstellers.....	7
7.1 Simulation.....	7
7.2 Wickeln der Induktivität.....	7
7.3 Einstellen der Schaltfrequenz.....	7
7.4 Ausmessen der Schaltung.....	7
8 Zusammenfassung der Konfiguration.....	7



# 1 Einleitung

Angelehnt an das revolutionäre NASA Space Elevator Projekt bauen wir ein Fahrgerät, welches sich entlang einer Führungseinrichtung senkrecht nach oben bewegen kann. Der Space Elevator ist an einem auf Nanotubes basierenden Kabel befestigt. Nanotubes sind winzige Bündel von Kohlenstoffatomen mit einer vielfach höheren Festigkeit gegenüber konventionellen Stahlseilen. So ein Kabel würde ca. einen Meter breit und dünner als ein Blatt Papier sein. Aber fähig eine Nutzlast von 13 Tonnen zu befördern. Als Energieversorgung benutzen wir ein Solarpanel, welches von der Bodenstation aus mittels einer starken Lichtquelle bestrahlt wird.

Ziel unseres Projektes ist es, eine leistungselektronische Schaltung zur Speisung der Antriebsmotoren zu dimensionieren.

# 2 Gesamtsystem

Die Antriebsmotoren des Solar Climber erhalten die elektrische Energie über das Solarmodul. Als Lichtquelle dient eine fokussierbare Halogenlampe. Das Solarmodul wandelt die abgestrahlte Leistung der Lichtquelle in elektrische nutzbare Leistung um. Diese Leistung wird durch einen DC/DC Konverter an die Antriebsmotoren geführt. Unsere Aufgabe besteht darin, den Konverter zu dimensionieren, aufzubauen und anschliessend zu testen.

# 3 Solarzellen

## 3.1 Grundlagen

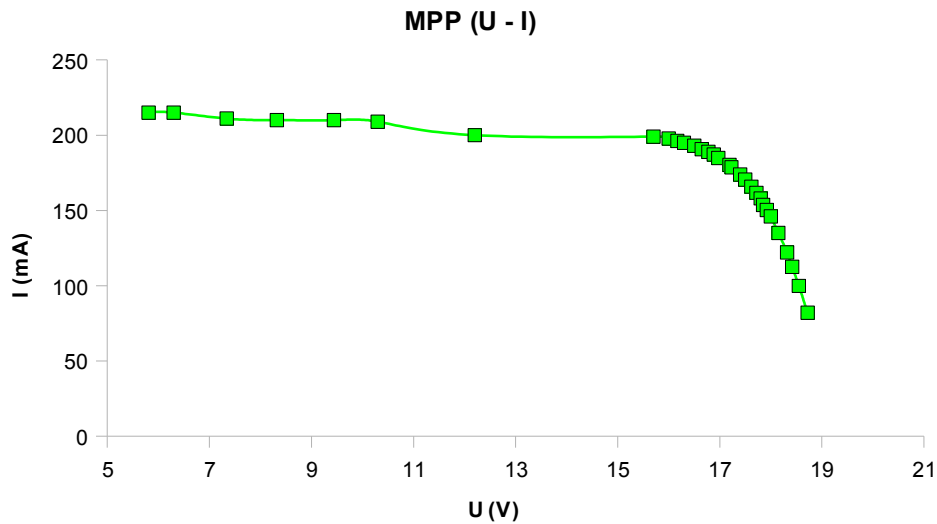
Mit Solarzellen kann aus Licht direkt, d.h. ohne mechanische Umwandlung, elektrische Energie gewonnen werden.

Solarzellen sind aus verschiedenen Halbleitermaterialien aufgebaut. Über 95% der weltweit produzierten Solarzellen werden aus Silizium (Si) hergestellt. Silizium bietet den Vorteil, dass es als zweites häufigstes Element der Erdkruste in grossen Mengen vorhanden ist und, mit anderen Materialien verglichen, verhältnismässig kostengünstig zu Solarzellen verarbeitet werden kann.

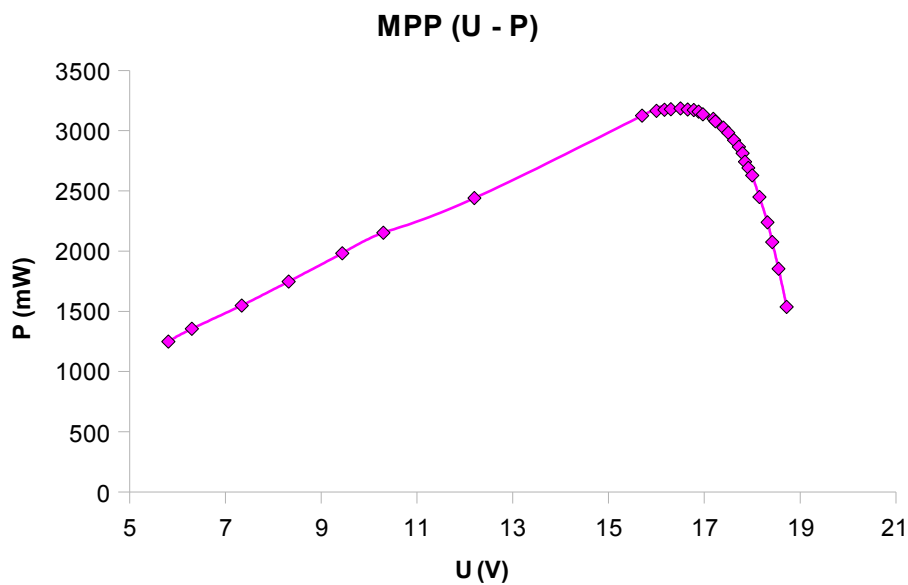
## 3.2 Maximum Power Point

Der **Maximum Power Point (MPP)** ist der Punkt des Strom-Spannungs-Diagramms einer Solarzelle, an dem die grösste Leistung  $P$  entnommen werden kann, d.h. der Punkt, an welchem das Produkt von Strom und Spannung sein Maximum hat.

Um die UI-Kennlinie des Solarmoduls zu bestimmen, schliessen wir einen Lastwiderstand an unser Solarpanel. Mit zwei Multimetern messen wir Strom und Spannung und beleuchten unser Solarpanel mit einer 500W-Halogenlampe. Damit wir die Temperatureinflüsse in Grenzen halten können, kühlen wir unser Solarpanel mit einem starken Lüfter.



Daraus lässt sich ein Spannungs-Leistungs-Diagramm anfertigen, an welchem man den MPP leicht ablesen kann.



Der Maximum Power Point unseres Solarpanels liegt also gemäss dieser Messung bei 16.5 V bzw. 193 mA. Unser Regler soll also die Zelle möglichst immer in diesem Punkt betreiben, um am meisten Energie an den Motor zu bringen.

#### 4 Antriebsmotor

Für den Solar Climber benutzen wir permanenterregte 12V-Gleichstrommotoren von Maxon. Diese Antriebsmotoren wurden auch für den Nasa Roboter Pathfinder auf dem Mars verwendet.

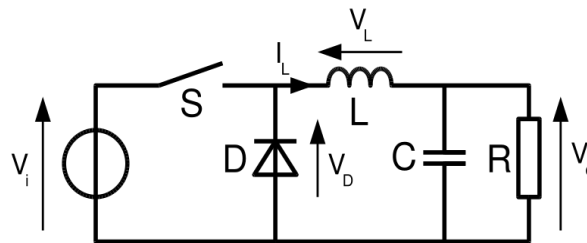
## 5 Tiefsetzsteller

### 5.1 Grundaufbau

Durch den DC/DC-Konverter passen wir die elektrische Leistung des Solarmoduls an unseren Solar Climber an. Da der gefundene MPP höher als die Motorenspannung (12V) liegt, müssen wir einen Konverter konzipieren, der die Spannung herabsetzt.

### 5.2 Abwärtswandler

Der **Abwärtswandler** (auch *Tiefsetzsteller*, *Step-Down-Converter*, *Buck-Converter* oder *Abwärtsregler*) ist eine elektronische Schaltung zur Gleichspannungswandlung. Einsatzgebiete sind beispielsweise DC-DC-Wandler. Der Betrag der Ausgangsspannung  $V_o$  ist stets kleiner als der Betrag der Eingangsspannung  $V_i$ .



#### 5.2.1 Aufbau und Funktion

Die Höhe der Ausgangsspannung kann durch geregeltes Ein- und Ausschalten des Schalters S (Transistor) eingestellt werden.

Der Schalter S schaltet während der gesamten Periode T nur für die Zeit  $T_s$  durch. Es gilt folgende Gleichung für das Tastverhältnis D:

$$D = \frac{T_s}{T}$$

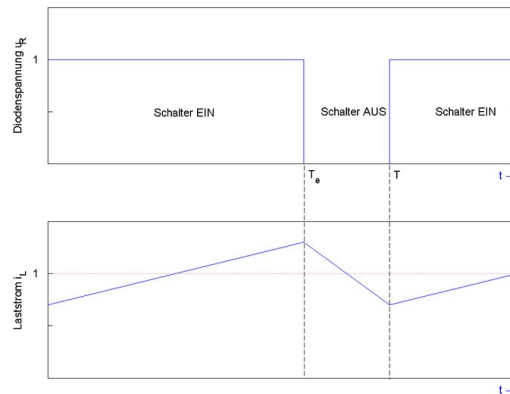
$T_s$ : Einschaltdauer, T: Periodendauer

- Während der Einschaltzeit  $T_s$  fließt der Laststrom  $i_L$  durch die Induktivität L und durch den Verbraucher, die Diode sperrt.
- Während der Ausschaltphase  $T_a$  wird die in der Induktivität gespeicherte Energie abgebaut: Der Strom durch den Verbraucher fließt weiter, nun jedoch durch die Freilaufdiode.

### 5.2.2 Spannungs- und Stromverlauf

In der untenstehenden Grafik sind die Spannungs- und Stromverläufe des Abwärtswandlers aufgezeigt, es wird der eingeschwingene Zustand dargestellt. Während der Einschaltphase wird der magnetische Speicher (die Induktivität) geladen. Der Strom  $i_L$  steigt gleichmäßig an:

$$i_L = \frac{1}{L} \int u dt$$



Die Spulenspannung ( $U_i - U_o$ ) ist konstant, die Diode sperrt. In der darauf folgenden Ausschaltphase liegt die Ausgangsspannung an der Induktivität an. Der Ausgangsstrom nimmt kontinuierlich ab, da die Polarität der Spulenspannung nun gewechselt hat. Danach wiederholt sich der gesamte Vorgang.

Die Ausgangsspannung steigt also an, wenn die Einschaltzeit  $T_e$  größer wird (bei gleich bleibender Periodendauer  $T$ ).

### 5.2.3 Leistungsbilanz

Bleiben die Verluste der Schaltung unberücksichtigt, ergibt sich folgende Leistungsgleichung:

$$U_o = D \cdot U_i$$

Der reale Abwärtswandler hat seine wesentlichen Verluste in folgenden Bauteilen:

- Spule hat ohmsche Verluste durch ihren Wicklungswiderstand sowie magnetische Verluste im Kernmaterial.
- Schalttransistor hat einen Spannungsabfall im eingeschalteten Zustand sowie Schaltverluste (er schaltet in einer endlichen Zeit).
- Freilaufdiode hat eine typische Flussspannung von 0,4 - 1 V sowie Schaltverluste. Um diese Verluste zu verringern, kann man stattdessen einen gesteuerten MOSFET einsetzen. Man spricht dann von Synchrongleichrichtung.

## 6 Auslegung der Induktivität

Die Induktivität des Tiefsetzstellers soll so gewählt werden, dass der Ripple  $\Delta i_{L,pp}$  des Stromes durch die Induktivität weniger als 20% des Mittelwerts  $I_L$  beträgt im MMP mit einer Ausgangsleistung von  $P=10W$  und  $U_2=12V$ . Daraus ergibt sich eine untere Schranke für die Induktivität  $L$ :

$$L \geq \frac{U_2^2}{(0.2 * P * U_1)} * (U_1 - U_2) * T_s$$

Mit einer Frequenz von 150 kHz muss also  $L \geq 0.2 \text{ mH}$  erfüllt sein.

Ein weiteres Kriterium zur Auslegung der Induktivität ist, dass der Strom durch die Induktivität in einem festgelegten Bereich nicht lückend ist, ausserdem darf der Kern der Induktivität nicht sättigen. Da die Induktivität von  $T_s$  abhängt und damit umgekehrt proportional zur Transistorschaltfrequenz  $f_s$  ist, muss mit einer höheren Induktivität eine tiefere Frequenz gewählt werden. Umgekehrt genügt mit einer höheren Frequenz eine kleinere Induktivität mit weniger Windungen, also weniger Gewicht. Zur Maximierung der Leistung des Climbers ist also ein Optimum zwischen Frequenz und Gewicht zu finden.

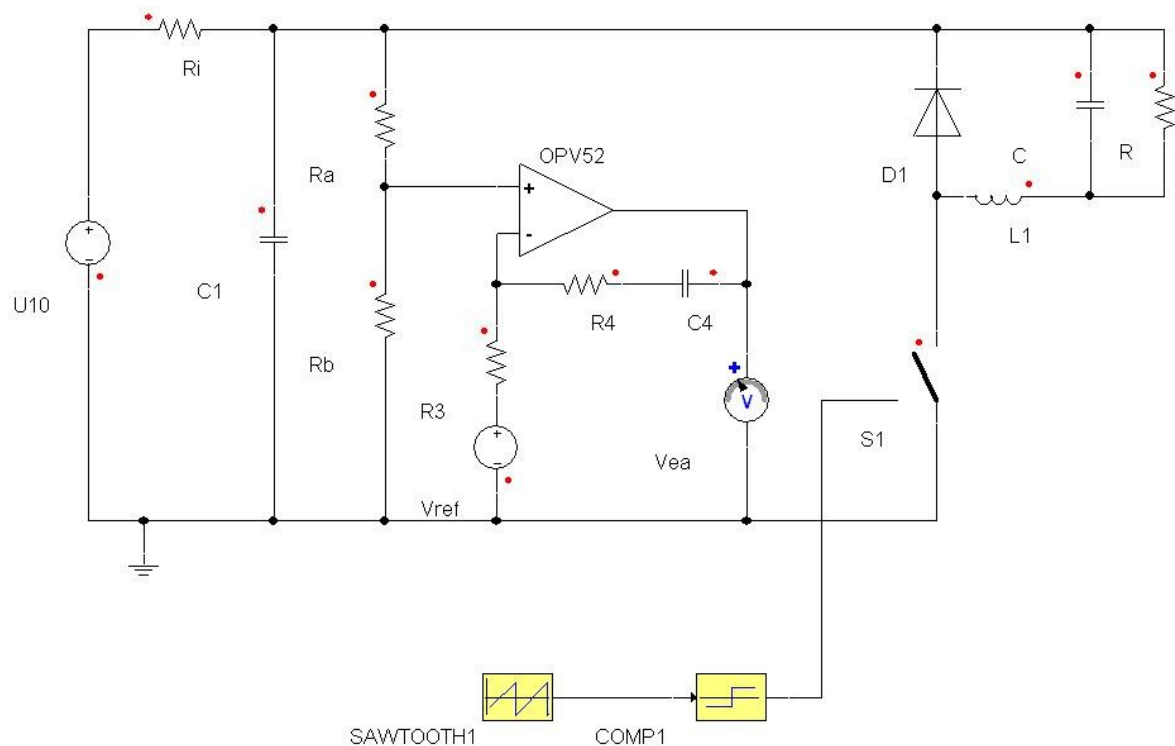
Für unsere beiden Schaltungen haben wir eine Induktivität von  $130 \mu\text{H}$  (betrieben bei 138kHz) und eine von  $160 \mu\text{H}$  (betrieben bei 140kHz) gewickelt.

## 7 Gesamtsystem des Tiefsetzstellers

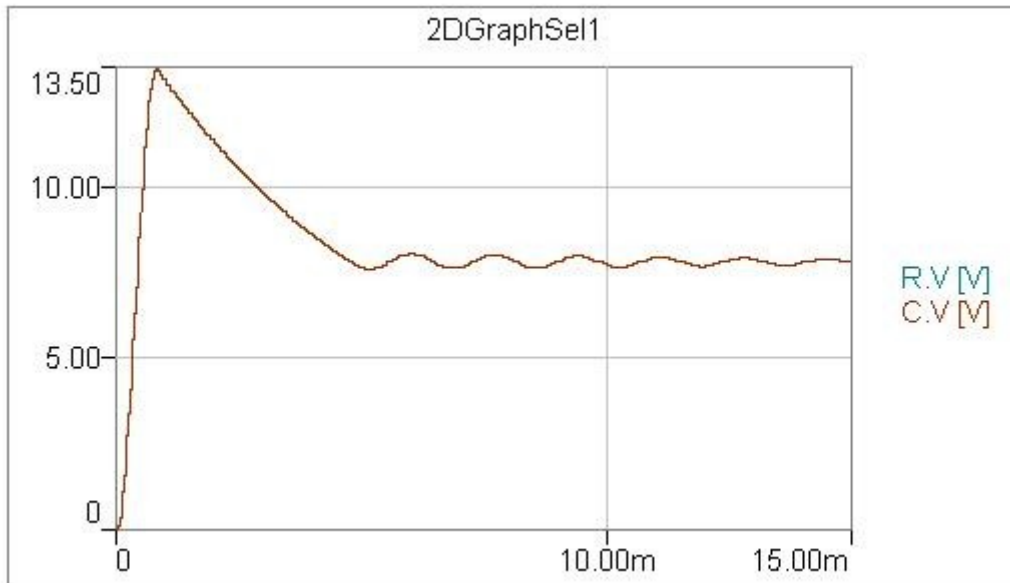
Die Regelung des MPP wird mit einem so genannten PWM Baustein umgesetzt. Das Solarmodul liefert eine Spannung  $U_1$  am Eingang des Tiefsetzstellers.  $U_1$  ist Abhängig vom Strom  $i_1$ , der vom Solarmodul entzogen wird. Dieser Strom kann mit dem Tastverhältnis am Transistor gesteuert werden. Die gewünschte Spannung  $U_1$  am Ausgang des Solarmoduls lässt sich über ein Potentiometer am Eingang des Reglers einstellen.

### 7.1 Simulation

Um den Tiefsetzsteller zu modellieren und zu simulieren benutzen wir SIMPLORER. Durch die Simulation bekommen wir ein vertieftes Verständnis der Konverter Schaltung, gleichzeitig erhalten wir aus den Simulationsergebnissen Anhaltspunkte für den zu wählenden Wertebereich unserer Bauelemente.



Dieses Schaltbild führte mit der Einstellung unserer Konfiguration zu folgender Motorenspannung:



## 7.2 Wickeln der Induktivität

Durch die Berechnungen und Simulationsergebnissen können wir die Induktivität bestimmen. Für unsere Spule benutzen wir den **Kern Epcos E 20/10/6, Kernmaterial N27, gesamter Luftspalt 0.5mm**. Mit der Gleichung

$$L = A_L \cdot N^2.$$

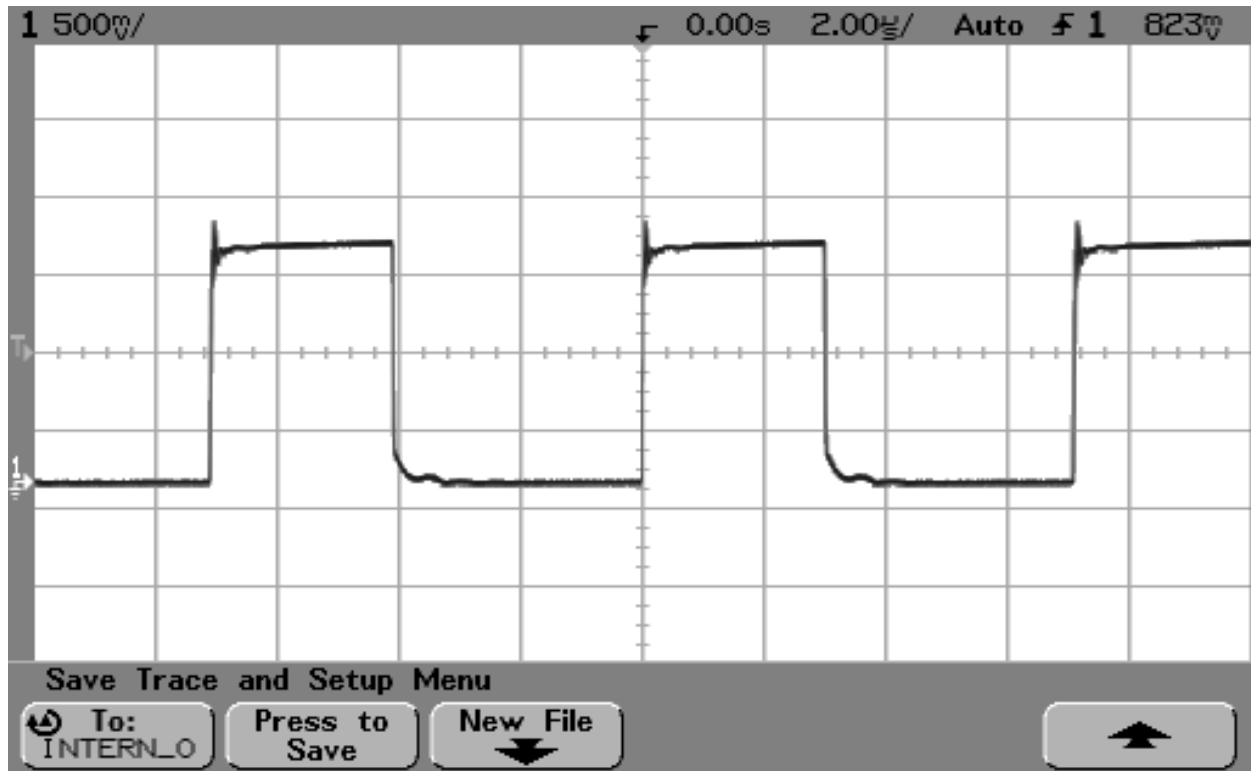
können wir die Anzahl Windungen für den Spulenkörper berechnen. Für unsere 130 $\mu$ H Spule benötigen wir also 36 und für die Spule mit 160 $\mu$ H 40 Windungen. Die anschließende Messung bestätigte diese Berechnung, unsere Spulen erfüllen die Anforderungen mit hoher Genauigkeit.

## 7.3 Einstellen der Schaltfrequenz

Am PWM-Regler kann die Schaltfrequenz gemäss Datenblatt durch die Wahl eines Kondensators und eines Widerstandes eingestellt werden. Unsere Schaltungen sollen beide bei etwa 140kHz laufen. Zur Sicherheit wählen wir zwei unterschiedliche RC-Kombinationen von 220pF / 49k $\Omega$  und 4.7nF / 2.5k $\Omega$ .

## 7.4 Ausmessen der Schaltung

Nach erfolgreichem Löten der Schaltung werden einige Tests durchgeführt, mit denen die optimale Einstellung der Eingangsspannung am PWM-Regler mit dem Potentiometer gefunden werden kann.



## 8 Zusammenfassung der Konfiguration

Hier eine kurze Zusammenfassung unserer Konfigurationen:

	Schaltung 1	Schaltung 2
Induktivität	130 $\mu\text{H}$	160 $\mu\text{H}$
Schaltfrequenz	138 kHz	140 kHz
RC-Kombination	220 pF / 49 k $\Omega$	4.7 nF / 2.5 k $\Omega$