

## 2. Lab Photovoltaik

### Inhaltsverzeichnis

<b>2. Lab Photovoltaik</b>	<b>2-1</b>
2.1. Einleitung	2-1
2.1.1. MPP-Tracker	2-2
2.2. ADP5090 Ultralow Power Boost Regulator with MPPT and Charge Management	2-2
2.2.1. Funktionsweise, charakteristische Merkmale und Eckdaten	2-3
2.2.2. Aufstarten	2-3
2.2.3. Betrieb mit MPPT-Tracking	2-3
2.2.4. BACK_UP	2-3
2.2.5. „Power Good“	2-3
2.2.6. Induktiver Boost Regulator	2-4
2.3. Boost Converter	2-4
2.3.1. MPP-Tracker im ADP5090	2-5
2.4. Eval-ADP5090	2-6
2.5. Inbetriebnahme ADP5090_Eval mit Speisegerät	2-7
2.6. ADP5090 mit grosser Solarzelle AM-1454	2-7
2.6.1. Versuchsaufbau	2-7
2.6.2. Stromverbrauch der Last	2-7
2.6.3. Durchführung Versuch 1	2-8
2.7. Versuch 2	2-9
2.7.1. Kleine Solarzelle	2-9
2.7.2. Versuchsaufbau 2	2-9
2.7.3. Analyse Datenblatt ADP5090	2-9
2.7.4. Versuchsaufbau 3	2-10
2.7.5. Optionale Zusatzaufgabe	2-11
2.8. Benötigtes Material	2-11
2.9. Referenzen	2-11

Autoren: Daniel Villa, Guido Keel  
Version vom 16.1.2019

### 2.1. Einleitung

Dieses Lab schliesst an Lab1 Solarzellen an. Es wird neben den Solarzellen von Lab1 der IC von Analog Devices eingesetzt, der speziell für Low-Power Sensor-Anwendungen entwickelt worden ist.

Das im Lab eingesetzte Eval-Board des ICs ADP5090 „Ultra low power boost Regulator“ bietet einen einfachen Weg, um den Baustein einzusetzen.

### 2.1.1. MPP-Tracker

Der MPP-Tracker soll die Solarzellen am Punkt maximaler Leistung betreiben und die Spannung am Verbraucher konstant halten. Da sich der MPP abhängig von der Beleuchtungsstärke ändert, muss der Tracker dynamisch die Spannung der Solarzelle anpassen können.

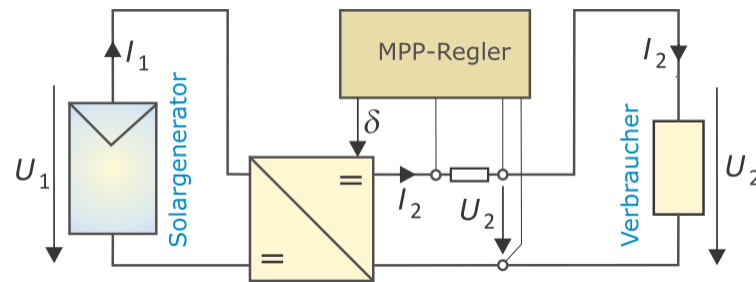


Abbildung 1: Aufbau eines MPP-Trackers

Für eine MPP-Regelung gibt es zahlreiche Verfahren. In grossen Systemen wird oft das so genannte Suchschwingverfahren eingesetzt: Spannung und Strom werden am Ein- oder Ausgang des Spannungswandlers gemessen, die Leistung berechnet und gespeichert. Dieser Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Durch geringe Veränderung des Tastverhältnisses wird die Spannung geändert und wiederum die Leistung bestimmt. Hat sich die Leistung erhöht, wird das Tastverhältnis erneut in dieselbe Richtung geändert. Hat sich der Wert verschlechtert, wird das Tastverhältnis in umgekehrter Richtung geändert.

Eine einfachere Variante eines MPP-Trackers wird vom IC ADP5090 verwendet, der in diesem Lab eingesetzt wird. Da die Spannung  $U_{MPP}$  ca. 80% der Leerlaufspannung  $U_L$  beträgt, wird die Leerlaufspannung periodisch (beim ADP5090 alle 19 Sekunden) gemessen, gespeichert und als Referenz für die Regelung der Spannung der Solarzelle verwendet. Das Verhältnis von Soll-Arbeitsspannung und Leerlaufspannung wird mit einem Widerstandsteiler eingestellt.

### 2.2. ADP5090 Ultralow Power Boost Regulator with MPPT and Charge Management

Der ADP5090 ist ein IC für verschiedene Energy Harvesting Applikationen. Er kann Energie aus PV-Modulen oder von Thermoelektrischen Generatoren (TEGs) in eine programmierbare Ausgangsspannung umwandeln. Der Baustein kann Speicherelemente aufladen wie Li-Ionen Batterien, Dünnschicht-Batterien, Superkondensatoren und konventionelle Kondensatoren. Gleichzeitig versorgt er elektronische Schaltungen mit geringem Stromverbrauch und batteriefreie Systeme mit elektrischer Energie.

Abbildung 2 zeigt die typische Anwendung des ADP5090. Oben links die Solarzelle, hier symbolisiert durch eine Spannungsquelle. Mit der Spule vor Pin SW und dem Boost-Regulator wird die geringe Spannung in eine höhere gewandelt. An Pin BAT hängt der Hauptenergiespeicher, an Pin SYS die Last. Das funktionale Diagramm mit mehr Details ist in Abbildung 3 gezeigt.

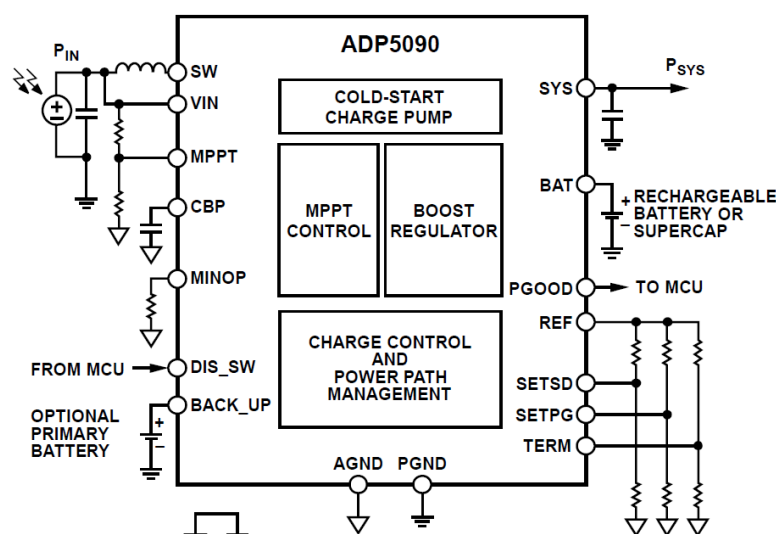


Abbildung 2: Typische Anwendung des ADP5090

Die Last an Pin SYS ist in Abbildung 3 auf die linke IC-Seite gezügelt worden. Die Last wird entweder von BAT oder Back\_Up gespeist. Die PV-Zelle speist die Zelle an Pin BAT, die diversen Komparatoren sorgen für sicheren und energie-optimierten Betrieb.

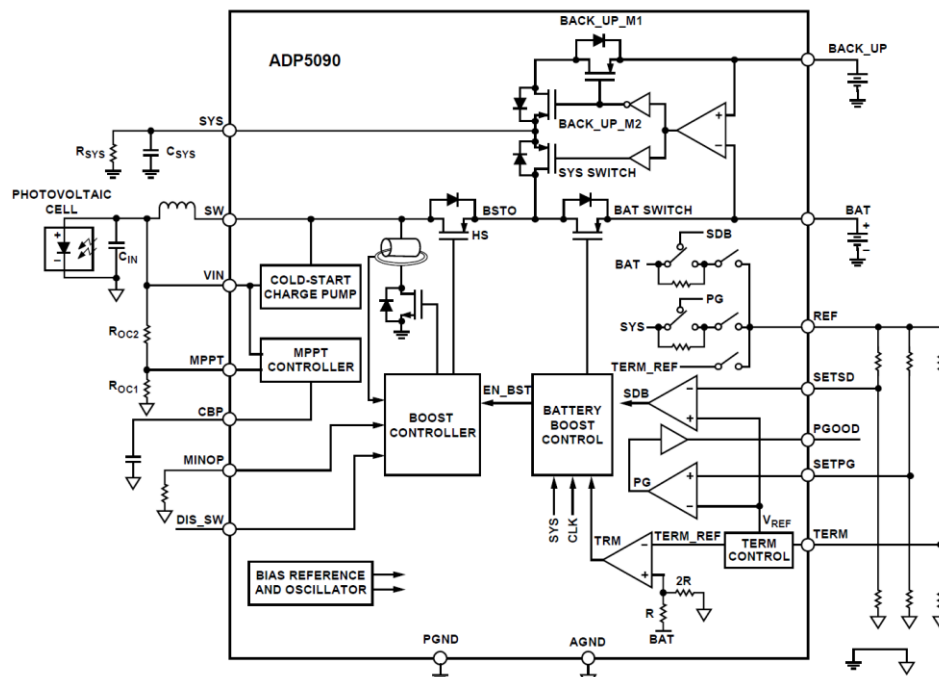


Abbildung 3: Funktionales Diagramm

### 2.2.1. Funktionsweise, charakteristische Merkmale und Eckdaten

Der ADP5090 wandelt die gewonnene Energie im Leistungsbereich von wenigen  $\mu\text{W}$  bis 200 mW effizient auf BAT-Spannung bei geringen Betriebsverlusten von unter  $1 \mu\text{W}$ . Der Regler funktioniert mit einer Eingangsspannung zwischen 380 mV und 3.3V bei einem Ausgangsspannungsbereich von 2.0 bis 5.2V.

### 2.2.2. Aufstarten

Damit die Regelung für den Hochsetzsteller funktioniert, muss zuerst eine Mindest-Spannung  $V_{\text{SYS\_TH}} > 1.93\text{V}$  überschritten werden. Die Phase vom Einschalten bis zur vollständigen Funktion aller internen Schaltungen heisst **Cold-Startup**.

Zu beachten: Während der Kaltstart-Phase kann nicht die ganze Leistung des Solarmoduls genutzt werden, da der MPPT noch nicht funktionsfähig ist.

### 2.2.3. Betrieb mit MPPT-Tracking

Der Boost Regulator mit Max Power Point Tracking (MPPT) sorgt für die maximale Leistungsabgabe des Solargenerators, unabhängig von der Belastung, sofern die interne Spannung  $V_{\text{SYS\_TH}} > 1.93\text{V}$  beträgt.

### 2.2.4. BACK\_UP

Eine Primärbatterie an Pin BACK\_UP kann die Last an Pin SYS über zwei interne Power-switches mit Energie versorgen, wenn der Solargenerator zu wenig Energie liefert, d.h. falls Spannung an Pin SYS  $> 1.5\text{V}$  und  $V_{\text{BACK\_UP}} > V_{\text{BAT}}$ .

### 2.2.5. „Power Good“

Das Signal „PGOOD“ kann verwendet werden, um über externe Power FET-Schalter am Pin SYS die Last erst nach abgeschlossener Kaltstart-Phase zuzuschalten (siehe Abbildung 4).

Der Pegel des Signals PGOOD kann vom Anwender über das Spannungsteiler-Verhältnis R1 zu R4 (Abbildung 7), abhängig von der zu betreibenden Last, frei programmierbar bestimmt werden. Der Pegel darf aber nicht unter 2 Volt liegen, weil die minimale Schwelle sicher höher als die interne Spannung  $V_{\text{SYS\_TH}} = 1.93\text{V}$  liegen muss. Auf dem Eval-Board wurde der Level für „PGOOD“ auf 2.4V gesetzt.

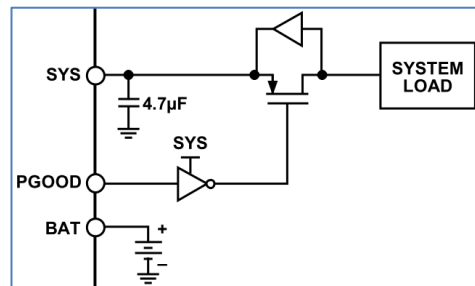


Abbildung 4: Typische Schaltung für zuschaltbare Systemlasten

### 2.2.6. Induktiver Boost Regulator

Am Testpunkt TP4 mit der Bezeichnung „SW“ kann das Signal eines geschalteten Knotenpunkts für den induktiven Boost Regulator abgegriffen werden, der mit einer externen Spule von 22 µH verbunden ist. Die geschaltete Spannung alterniert zwischen 0V und der Ausgangsspannung am Pin SYS. Die Schaltfrequenz der Ladedpumpe kann über diesen Testpunkt beobachtet werden.

### 2.3. Boost Converter

Im letzten Lab haben wir festgestellt, dass der Last-Widerstand einer Solarzelle adaptiv verändert werden sollte, um die maximale Energie aus einer Solarzelle zu erhalten. Ein Potentiometer ist keine gute Lösung dafür, wohl aber ein Schaltregler.

Soll die Ausgangsspannung  $U_2$  höher als die Eingangsspannung  $U_1$  sein, wird ein Aufwärts-Regler (auch Hochsetz-Steller, Boost Converter genannt) eingesetzt. Boost Converter wurden im Modul Elektronik detailliert behandelt, deshalb wird die Funktionsweise hier nur noch kurz rekapituliert.

#### Funktionsweise Boost Converter

Bei geschlossenem Schalter S liegt an der Spule eine Spannung  $u_L = U_1$  ( $u_L > 0$ ) an. Es baut sich in der Induktivität L ein Magnetfeld auf, der Strom der Spule steigt linear an.

Wird der Schalter geöffnet, wird der Strom im eingeschwungenen Zustand wieder abnehmen.

$U_L$  muss dafür negativ sein. Am Verbraucher liegt die Spannung  $u_2 = U_1 - u_L - u_d$  ( $u_L < 0$ ) an.  $U_2$  ist daher grösser als die Eingangsspannung  $U_1$ . ( $u_d$ : Spannungsabfall der Diode).

Wird der Schalter wieder geschlossen, stützt der Kondensator  $C_2$  die Spannung am Verbraucher und die Diode D verhindert ein Entladen des Kondensators über den Schalter S.

In integrierten Lösungen sind sowohl Schalter wie Diode mit MOSFETs implementiert, was die Spannungsverluste reduziert.

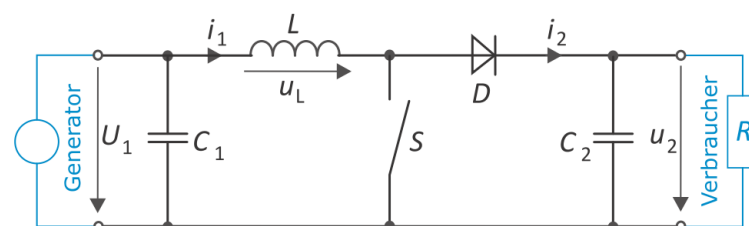


Abbildung 5: Prinzipschaltbild eines Hochsetzstellers

Für die Ausgangsspannung  $U_2$  gilt im eingeschwungenen Zustand:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{T_S}{T_A} \quad \text{wobei } T_S \text{ die Periodendauer und } T_A \text{ die Öffnungszeit des Schalters } S \text{ bezeichnet}$$

Das Tastverhältnis beträgt:

$$\delta = \frac{T_E}{T_S} \quad \text{wobei } T_E = T_S - T_A \text{ die Schliesszeit des Schalters } S \text{ bezeichnet}$$

### 2.3.1. MPP-Tracker im ADP5090

Der ADP5090 verwendet die einfachste Variante eines MPP-Trackers. Da die Spannung im MPP  $U_{MPP}$  ca. 80% der Leerlaufspannung  $U_L$  beträgt, wird periodisch die Leerlaufspannung gemessen und als Referenz für die Regelung der Spannung der Solarzelle verwendet.

Alle 19 Sekunden wird während 296 Millisekunden der Hochsetzsteller abgeschaltet und die Leerlaufspannung des Solargenerators gemessen. Diese wird im Kondensator C4 (Pin „CBP“) auf dem Eval-Board gespeichert.

Das Verhältnis von Soll-Arbeitsspannung und Leerlaufspannung wird mit einem Widerstandsteiler am Pin „MPPT“ eingestellt, d.h. es kann bei Bedarf auch ein anderes Verhältnis als 80% eingestellt werden.

Im Mess-Zeitraum der Leerlaufspannung bricht die Ausgangsspannung am Pin SYS etwas ein, während die Eingangsspannung am Pin VIN auf die Leerlaufspannung des Solargenerators hochspringt, was in Abbildung 6 mit den grünen Pfeilen markiert ist.

Rot: VIN, Violett: V(SYS), blau: Pin SW, grün: Pin MPPT

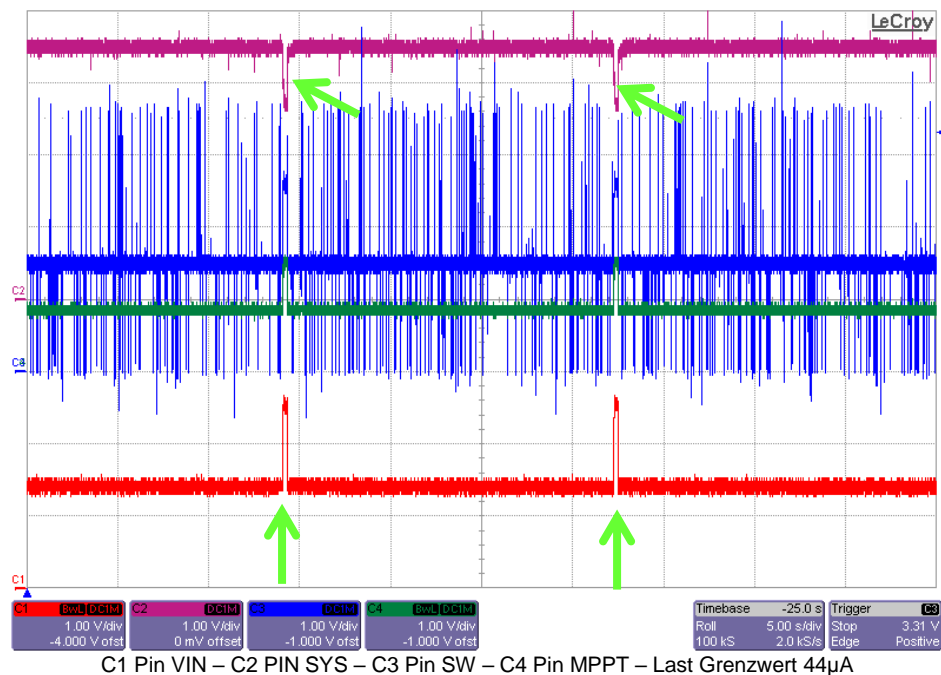


Abbildung 6: Abtasten der Leerlaufspannung an Pin VIN zur Regelung der MPP-Spannung am Pin VIN

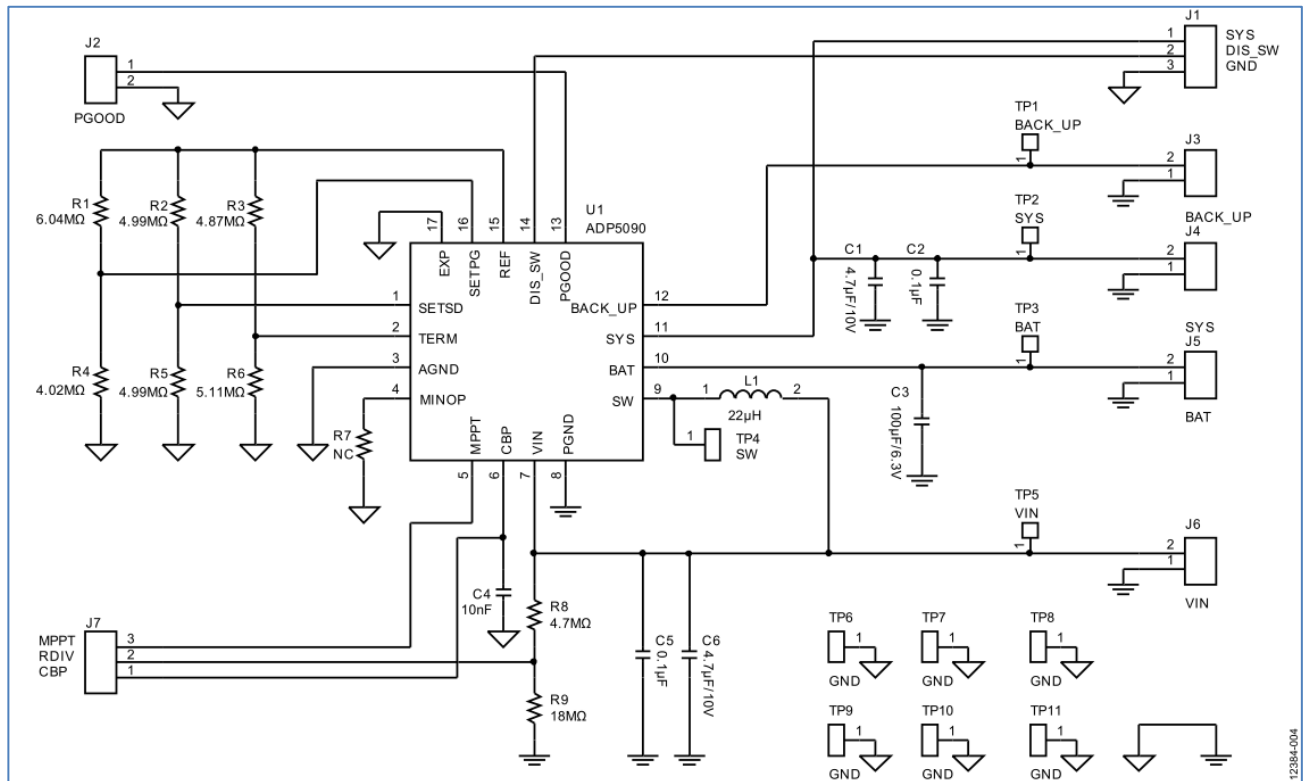
Die Referenzspannung am Pin MPPT wird mit folgender Formel bestimmt, wenn der Jumper J7 auf dem Eval-Board zwischen Pin 2 und Pin 3 gesetzt ist (Abbildung 7):

$$V_{MPPT} = V_{IN}(Open\ Circuit) \left( \frac{R9}{R9 + R8} \right)$$

NB: Das typische MPPT-Verhältnis ist vom Typ des Energiegewinnungssystems abhängig. Die MPPT-Funktion des ADP5090 kann deshalb über J7 auf dem Eval-Board deaktiviert werden.

## 2.4. Eval-ADP5090

Abbildung 7 zeigt das Schema des Eval-Boards. Der Users Guide für das Eval-Board wie auch das Datenblatt des ADP5090 sind auf dem Skript Server hinterlegt.



### Abbildung 7: Schema des Eval-Boards ADP5090

Vor dem Start der Praktikumsversuche müssen folgende Setups vorgenommen respektive verifiziert werden:

Jumper	Pin-Connection	Function	Setting
J1 (DIS_SW)	Pin3-Pin2	Enables the main boost DIS_SW connected to GND	activated
J2(PGOOD)		Pull high when the SYS voltage ramps up to preset the SETPG rising threshold	
J7(MPPT)	Pin3-Pin2	Use MPPT sensing function MPPT connected to RDIV	activated

Auf dem Eval-Board wird die Systemausgangsspannung (Pin SYS) über ein externes Spannungsteiler-Verhältnis mit R3 und R6 eingestellt auf  $V_{SYS} = 3.5 \text{ V}$  (siehe Abbildung 7).

Bemerkung: Zur Verkürzung der Aufstartzeit des ADP5090 wurde auf den Boards der Kondensator C3 (100uF) auf dem Eval-Board entfernt.

## 2.5. Inbetriebnahme ADP5090\_Eval mit Speisegerät

Machen Sie sich mit der Pin-Belegung des Eval-Boards ADP5090 (Abbildung 7) vertraut. Jumper-Positionen auf dem Eval-Board ADP5090 sollten vor dem ersten Startversuch überprüft werden.

Verbinden Sie das Eval-Board ADP5090 am Pin VIN mit einem Speisegerät und schliessen Sie am Ausgang SYS einen Widerstand von 100kOhm an.

Verändern Sie die Spannung an Pin Vin langsam von **0V auf 2.5V** und beachten Sie die Spannungen an Pin SW und am Ausgang SYS.

Zu Beginn sollte die Ausgangsspannung tief sein, später sollte sie sich auf 3.3V einstellen.  
Der Duty Cycle wird sich abhängig von der Eingangsspannung ändern.

Reduzieren Sie die Spannung an Pin Vin wieder langsam auf 0V  
Ab welcher Eingangsspannung bricht die Ausgangsspannung zusammen?

### Beobachtung

Das Aufstarten benötigt eine Mindestspannung am Eingang von fast 2V. Wenn die Arbeits-Spannung des ICs erreicht ist, kann die Eingangsspannung sinken bis auf 350mV.

## 2.6. ADP5090 mit grosser Solarzelle AM-1454

Dieser Versuch hat das Ziel, verschiedene Lastzustände des Systems mit dem Eval-Board und variablem Lastwiderstand zu messen und die Signale auf dem DSO darzustellen.

### 2.6.1. Versuchsaufbau

Das Eval-Board ADP5090 wird am Pin VIN über den Schalter  $S_1$  mit dem Solarmodul AM-1454 verbunden. Das 2 M $\Omega$  Potentiometer  $R_L$  mit einem in Serie geschalteten Stromsensorwiderstand  $R_S = 100\text{ k}\Omega$  wird mit dem Ausgangs-Pin SYS ebenfalls über den Schalter  $S_2$  gemäss Abbildung 8 verbunden. Zudem sollen eingangsseitig ein Strom- und Spannungsmessgerät in den Versuchsaufbau eingebaut werden. Ein Vierkanal-DSO wird mit an den Pins **VIN**, **SYS**, **MPPT** und dem Stromsensorwiderstand  $R_S$  angeschlossen. Bauen Sie nun die Versuchsanordnung in Abbildung 8 auf.

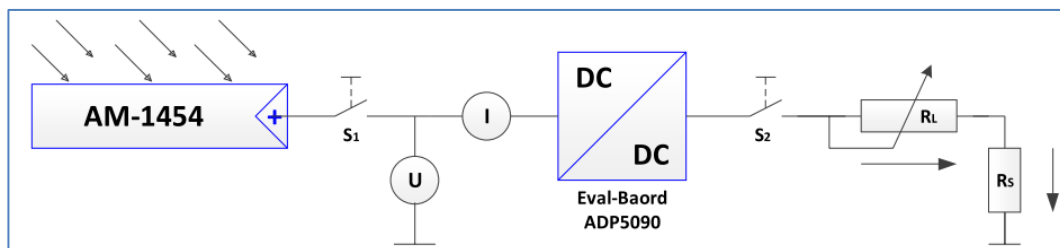


Abbildung 8: Versuchsanordnung 1 - Komponenten des Systems

### 2.6.2. Stromverbrauch der Last

Die Leistung, die ein Energy Harvesting Modul erbringen muss, hängt vom Verbraucher ab. Unser System soll ein Low-Power-Sensor emulieren.

- Die variable Last  $R_L$  soll einen Low-Power-Sensor simulieren.
- Der typische Stromverbrauch eines Low-Power-Sensors liegt bei ca.  $I_L = 1\mu\text{A}$  mit einer typischen Systemspannung von 3.3V.
- Der Arbeitsstrom des ADP5090 muss ebenfalls berücksichtigt werden. Er liegt gemäss Datenblatt bei  $I_{Q\_SYS} = 580\text{nA}$ .

Berechnen Sie:

- 1) den „nominalen Lastwiderstand“  $R_L$  mit Hilfe von  $I_L$  und der Ausgangsspannung  $V_{SYS}$  des ADP5090, die auf dem Eval-Board 3.5V beträgt.

Berechnung:

- 2) den Betriebsstrom  $I_{SYS}$  und die Betriebsleistung  $P_{SYS}$  lastseitig, wobei  $I_{SYS} = I_L + I_{Q\_SYS}$  beträgt.

Berechnung:

- 3) den erforderlichen Solargeneratorstrom  $I_{MPP,erf}$  wenn die Solarzelle 1.5V abgibt

Berechnung:

Weil die aktuelle Beleuchtungsstärke zudem höher liegt als der im Datenblatt spezifizierte Wert von  $E_{V\_STC} = 200 \text{ Lux}$  wird der notwendige Strom problemlos geliefert werden können.  
(da sich der Strom ( $I_{MPP}$ ,  $I_{SC}$ ) proportional zur Beleuchtungsstärke verhält)

### 2.6.3. Durchführung Versuch 1

Um die Eckwerte der Versuchsanordnung 1 zu charakterisieren werden nachfolgend vier Belastungsfälle untersucht: Leerlauf, nominale Last, Grenzlast und Überlast:

- I. Leerlauf: Schalter S2 geöffnet
- II. Nominale Belastung:  $R_L = 3.5 \text{ M}\Omega$
- III. Grenzlast: der ADP5090 kann die Ausgangsspannung  $V_{SYS}$  gerade noch aufrechterhalten
- IV. Überlast: die Ausgangsspannung des ADP5090 bricht um 15% ein

Nehmen Sie nun die Versuchsanordnung 1 in Betrieb, indem Sie den Schalter S1 schliessen. **Achten** Sie darauf, dass die Versuchsanordnung immer im Leerlauf (S2 offen) gestartet wird. Schalten Sie die Last erst zu, wenn die Ausgangsspannung des ADP5090 die spezifizierte Endspannung von  $V_{SYS} = 3.5 \text{ V}$  auf dem Eval-Board erreicht hat. Andernfalls kann der ADP5090 die sogenannte Kaltstartphase nicht beenden und wird keine korrekte Ausgangsspannung erbringen.

#### Aufgabe 1:

Nehmen Sie nun für jeden der oben definierten Belastungsfälle sowohl die vom Solargenerator gelieferten Spannungen und Ströme als auch die Ausgangsspannungen und -ströme des ADP5090 in einer Wertetabelle auf. Registrieren Sie die gemessene Beleuchtungsstärke während der Messwertaufnahme. Zudem soll für jeden Lastfall ein steady-state Screenshot der vier im Kapitel 2.6.1 definierten Signale aufgenommen werden.

Tabelle zu Aufgabe 1:

Ev = 500 Lux	Multimeter		Mittelwert DSO		$R_L [\Omega]$
	$U_{Ein} [V]$	$I_{Ein} [\mu A]$	$U_{Aus} [V]$	$I_{Aus} [\mu A]$	
Leerlauf					$\infty$
Nominale Belastung					
Grenzlast					
Überlast					



## 2.7. Versuch 2

Dieser Versuch hat das Ziel, die kleinstmögliche Solarmodulfläche für die Last  $R_L$  herauszufinden. Im Übrigen gelten dieselben Zielsetzungen wie im Versuch 1.

### 2.7.1. Kleine Solarzelle

Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt aus dem Datenblatt der Solarzelle AM-1456.

Parameter	Symbol	Conditions	Ratings			Unit
			min	typ	max	
Open Circuit Voltage	$V_{oc}$	FL 200Lx		2.4		V
Short Circuit Current	$I_{sc}$	FL 200Lx		6.0		$\mu A$
Operating Voltage & Operating Current	$I_{ope}$	FL 200Lx, $V_{ope}=1.5V$	4.0	5.3		$\mu A$

Abbildung 9: Ausschnitt Datenblatt AM-1456

Messen Sie die Leerlaufspannung  $V_{OC}$ , den Kurzschlussstrom  $I_{SC}$ , die maximale Spannung  $V_{MPP}$  und den maximalen Strom  $I_{MPP}$  und tragen Sie die Werte in untere Tabelle ein.

$V_{OC}$ [V]	$V_{OC}$ [V]	$I_{SC}$ [ $\mu A$ ]
Spezifikation	2.4	6.0
Ihre Messung		

Die Solarzelle AM-1456 sollte daher genügend Strom liefern für den Betrieb des Widerstandes.

### 2.7.2. Versuchsaufbau 2

Ersetzen Sie das Solarmodul AM-1454 mit dem kleineren Solarmodul AM-1456. Der restliche Aufbau ist identisch zu Versuch 1 (Abbildung 10).

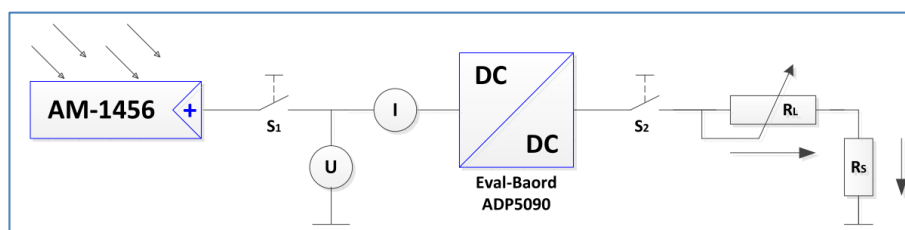


Abbildung 10: Versuchsanordnung 2.1 - Komponenten des Systems

Nehmen Sie nun die Versuchsanordnung 2.1 in Betrieb, indem Sie den Schalter  $S_1$  schliessen. Achten Sie wieder darauf, dass die Versuchsanordnung immer im Leerlauf ( $S_2$  offen) gestartet wird.

Messen Sie die Ausgangsspannung am Pin SYS.

Sie wird wohl nicht der Soll-Spannung entsprechen.  
Sie stellen auch fest, dass der DC/DC-Wandler nicht läuft.

Um den Grund herauszufinden, muss das Datenblatt des ADP5090 etwas genauer analysiert werden.

### 2.7.3. Analyse Datenblatt ADP5090

Lesen Sie im Datenblatt des ADP5090 die Kapitel „Features“, „General Description“ auf Seite 1, dann das kurze Kapitel „COLD STARTUP“ auf Seite 11, sowie Kapitel „ENERGY HARVESTER SELECTION“ auf Seite 15 und beantworten folgende Fragen:

- Wie hoch ist die typische „Minimum Input Voltage for Cold-Start“  $V_{IN\_COLD}$  ?
- Wie hoch ist der typische „Minimum Input Power for Cold-Start“  $P_{IN\_COLD}$  ?
- Wie hoch ist die typische „End of Cold-Start Operation Threshold“  $V_{SYS\_TH}$  ?
- Unter welchen Bedingungen sind der „MPP Tracker“ und der „BOOST REGULATOR“ funktionsfähig?

Antworten zu den Fragen a) bis d):

a)	b)	c)	d)
$V_{IN\_COLD}$	$P_{IN\_COLD}$	$V_{SYS\_TH}$	$V_{SYS} > V_{SYS\_TH} \rightarrow V_{SYS} > 1.93V$ $V_{IN} > V_{IN\_COLD} \rightarrow V_{IN} > 380mV$ $V_{BAT\_TERM} > V_{SYS} \geq V_{SYS\_TH}$
380 mV	16 $\mu W$	1.93 V	3 Bedingungen

Antwort b liefert die Antwort, weshalb das System nicht aufstartet: Die Solarzelle muss eine Leistung  $P_{IN\_COLD}$  liefern, damit die Schaltung startet.

Wir wissen nun, dass der Solargenerator in der Kaltstart-Phase mehr Strom liefern muss als nur den Laststrom und den Leistungsverlust des Bausteins im Normalbetrieb.

### 2.7.4. Versuchsaufbau 3

Um die Kaltstart-Phase des ADP5090 zu überwinden, wird als Starthilfe ein zweites amorphes Modul kurzzeitig mit Schalter  $S_3$  gemäss Abbildung 11 parallel geschaltet bis die Kaltstart-Phase überwunden ist. Danach wird die Starthilfe, hier in unserem Versuchsaufbau das Modul AM-1454, wieder entfernt. Der Laststrom am Pin SYS wird erst jetzt über Schalter  $S_2$  zugeschaltet. Der restliche Aufbau, eingeschlossen die Messeinrichtungen, bleiben unverändert.

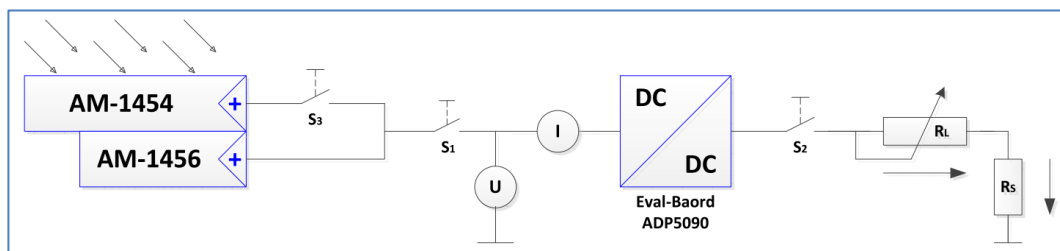


Abbildung 11: Versuchsanordnung 3 - Komponenten des Systems

Nehmen Sie nun die Versuchsanordnung 2.1 in Betrieb, indem Sie zuerst den Schalter  $S_3$  gefolgt von Schalter  $S_1$  schliessen. **Achten** Sie wieder darauf, dass die Versuchsanordnung immer im Leerlauf ( $S_2$  offen) gestartet wird. Schalten Sie die Last erst zu, wenn die Ausgangsspannung des ADP5090 die spezifizierte Endspannung auf dem Eval-Board erreicht hat.

#### Aufgabe 2:

Nehmen Sie nun für jeden der oben definierten Belastungsfälle sowohl die vom Solargenerator gelieferten Spannungen und Ströme als auch die Ausgangsspannungen und -ströme des ADP5090 in einer Wertetabelle auf. Registrieren Sie die gemessene Beleuchtungsstärke während der Messwertaufnahme. Zudem soll für jeden Lastfall ein steady-state Screenshot der vier im Kapitel 2.6.1 definierten Signale aufgenommen werden.

#### Lösung zu Aufgabe 2:

Ev ca. 500 Lux	Multimeter		Mittelwert DSO		
	$U_{Ein}$ [V]	$I_{Ein}$ [ $\mu A$ ]	$U_{Aus}$ [V]	$I_{Aus}$ [ $\mu A$ ]	$R_L$ [M $\Omega$ ]
Leerlauf					
Nominale Belastung					
Grenzlast					
Überlast					

Beantworten Sie folgende Fragen:

- 1) Wie lange dauert die Kaltstart-Phase?
- 2) Wie hoch ist der gemessene Kaltstartstrom am Eingang des ADP5090?
- 3) Weicht der gemessene Kaltstartstrom am Eingang des ADP5090 in der Kaltstart-Phase vom theoretischen Wert aus dem Datenblatt ab?
- 4) Wieviel mal mehr Solarzellenfläche braucht es in der Kaltstart-Phase im Vergleich zum nominalen Betrieb nach abgeschlossener Kaltstart-Phase?

### 2.7.5. Optionale Zusatzaufgabe

Stellen Sie die Kaltstartphase gefolgt von den vier Belastungsfällen in einem Screenshot dar, sodass jeder der Belastungsfälle ca. 2 Sekunden abgebildet ist.

### 2.8. Benötigtes Material

- EVAL-ADP5090
- Solarzellen AM1454 und AM1456
- Steckbrett und Kabel
- DSO
- 2 Multimeter
- Einige Widerstände oder Potis
- Luxmeter (z.B. Sensortag CC2650STK)

### 2.9. Referenzen

- ADP5090 Data sheet
- EVAL-ADP5090 User Guide
- Datenblätter der Solarzellen
- Datenblatt OPT3001 von TI