

Stepupwandler für solares Batterieladen

Von jean-claude.feltes@education.lu

1. Zweck

Der Wandler soll zwischen Solarpanel und eine 48V-LiIon-Batterie geschaltet werden, so dass diese mit Solarenergie geladen wird. Wegen der potentiellen Beschattung sind die Solarpanel nur zu jeweils zweit in Reihe geschaltet, diese speisen dann einen Wandler, oder wenn es sinnvoller erscheint, wird für jede Gruppe von 2 Paneln ein eigener Wandler benutzt.

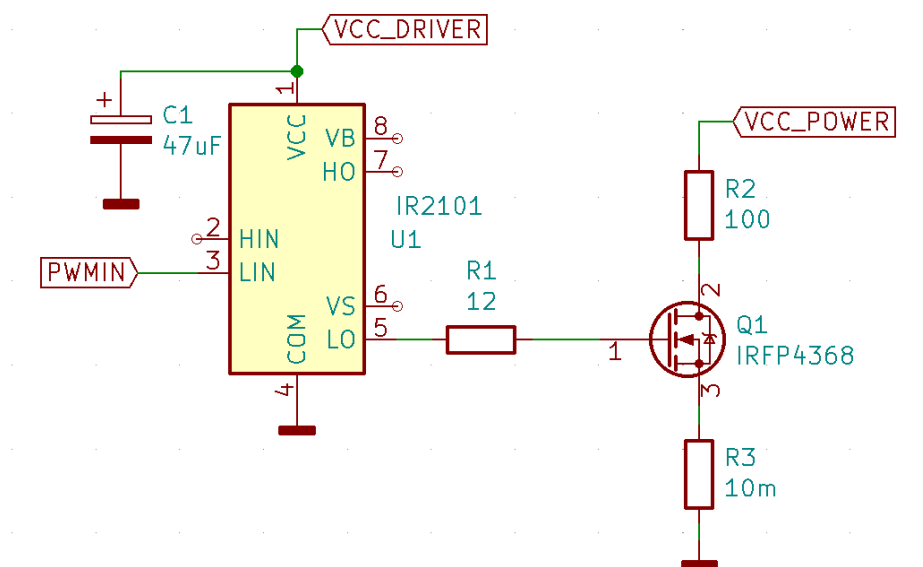
Dieses Projekt ist experimentell, sein Ziel ist ein dreifaches: am Schluss soll eine brauchbare Schaltung herauskommen, daneben vieles über Leistungselektronik gelernt und dabei noch Elektronikschrott recycelt werden.

2. MOSFET + Driver Test

Für einen guten Wirkungsgrad ist es wichtig, Schalttransistoren mit niedrigem R_{DS} zu verwenden. Ausserdem ist ein Gatedriver nötig um die erforderlichen Umladeströme für die Gatekapazität zu liefern.

Als PWM-Signalquelle diene ein eigens für diesen Zweck gebauter Generator:

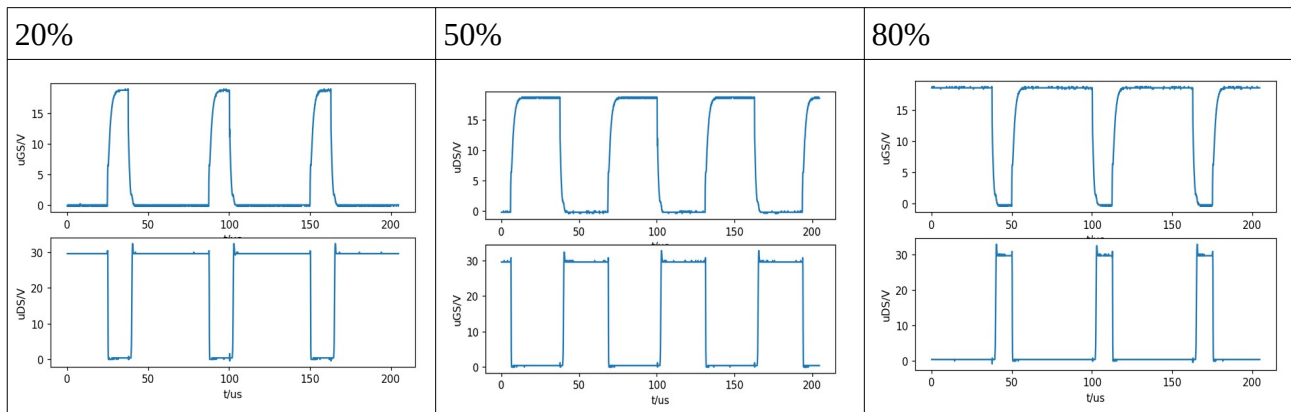
<https://github.com/jean-claudeF/PWM-generator>



VCCPOWER = 30V

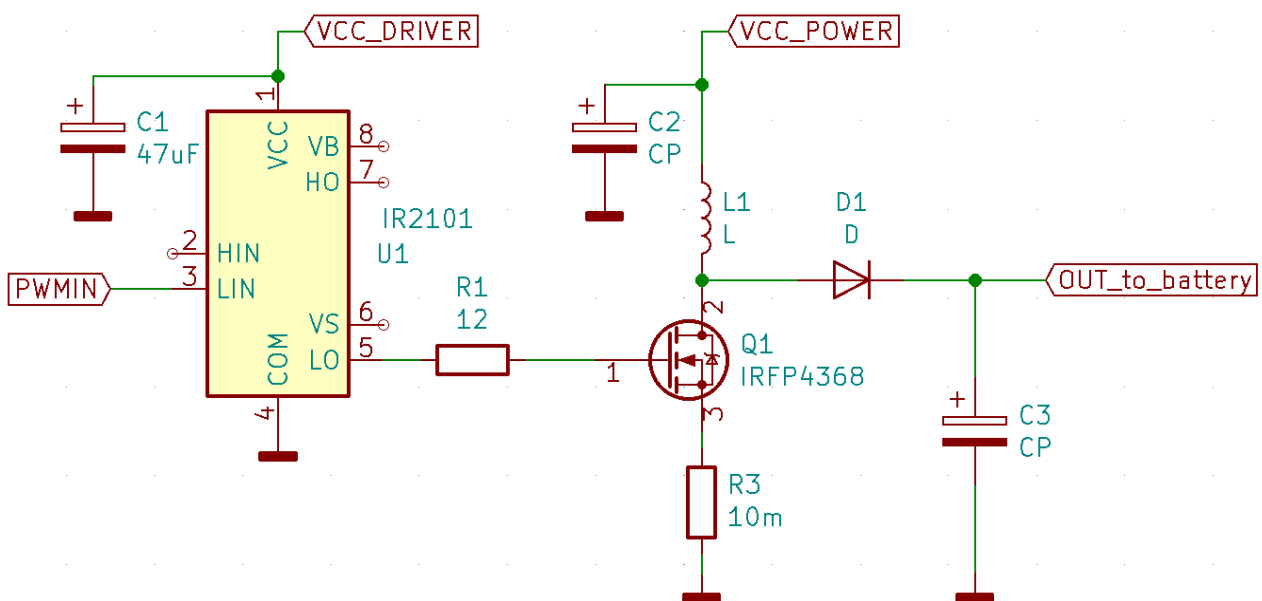
VCC_DRIVER = 18V (max. 20V, min. 10V)

$f = 16\text{kHz}$



Die Signale am Gate sehen schlechter aus als erwartet, der MOSFET scheint aber (laut u_{DS}) gut zu schalten.

3. Test Stepup converter



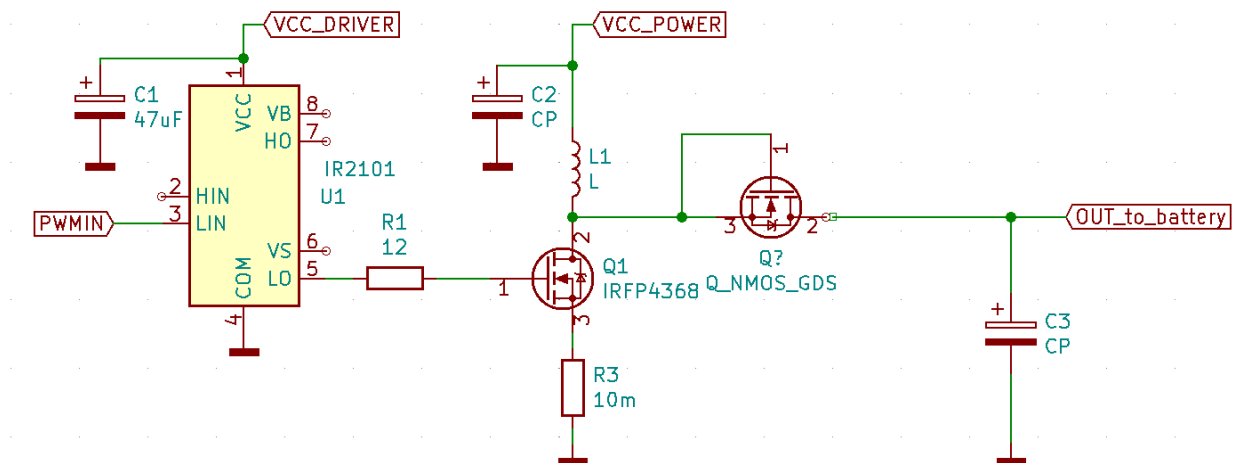
$L = 300\mu\text{H}$

$C2 = 330\mu\text{F}$

$C3 = 470\mu\text{F}$

$D = \text{STTH3010PI}$ (1000V / 30A, ultra fast) ist eine schlechte Wahl. Sie wird heiss da sie eine hohe Durchlass-Spannung hat.

4. Test Stepup mit MOSFET als Diode an Lastwiderstand



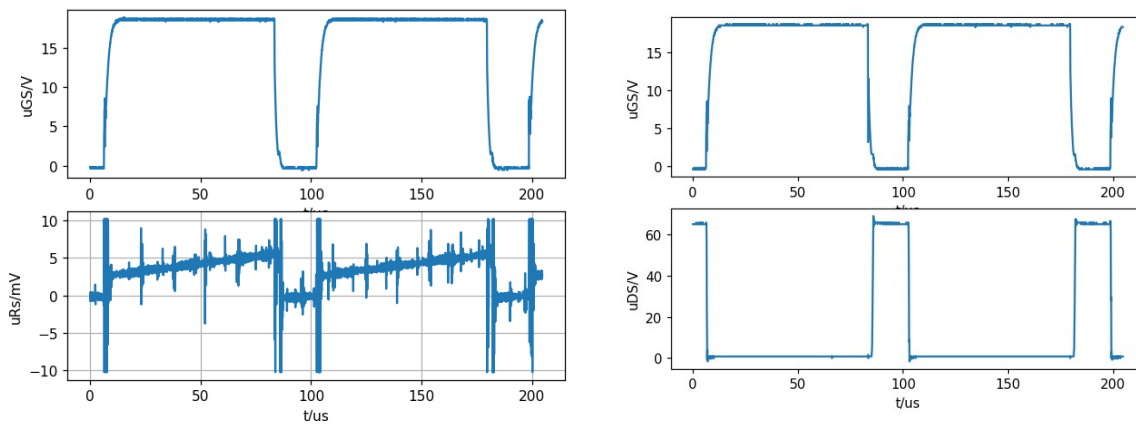
Beispielmessung:

VCC_Power = 12V

$f = 10.4\text{kHz}$, PWM = 80%

ICC = 4.25A, PCC = 51.3W

UOUT = 64.75V an $R_L = 100\text{ Ohm}$.

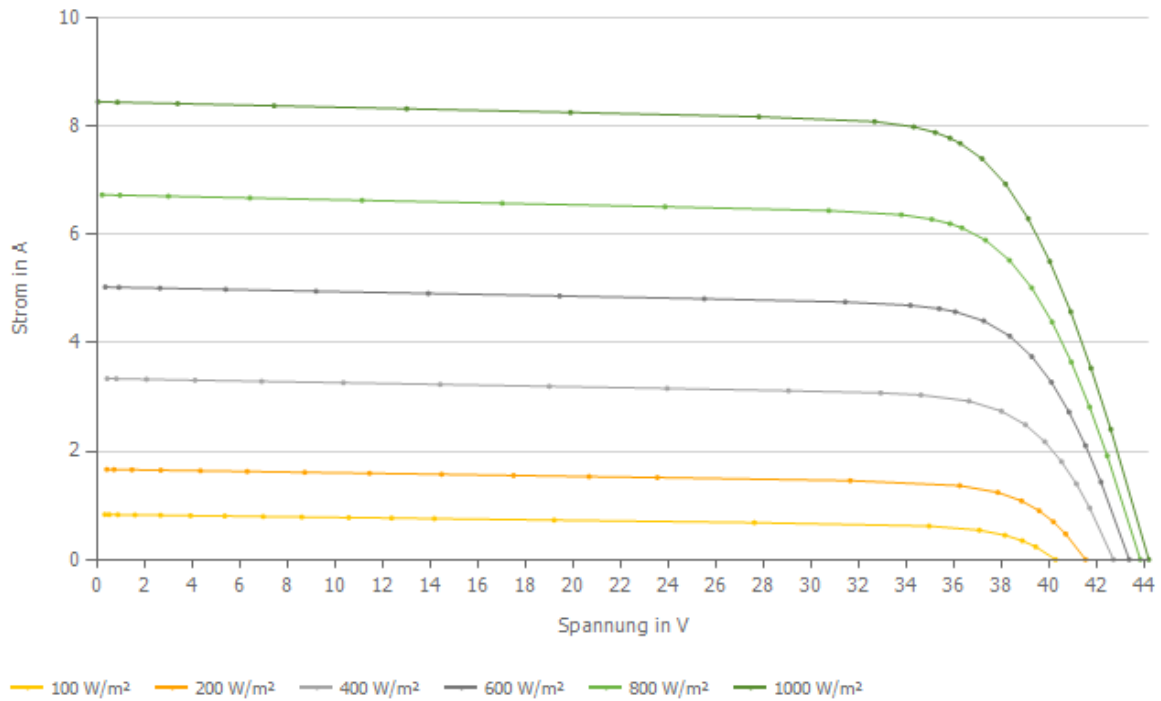


Die beiden Transistoren bleiben ziemlich kühl, die Spule wird leicht warm.

Eingang HIN des Drivers sollte auf Masse gelegt werden!

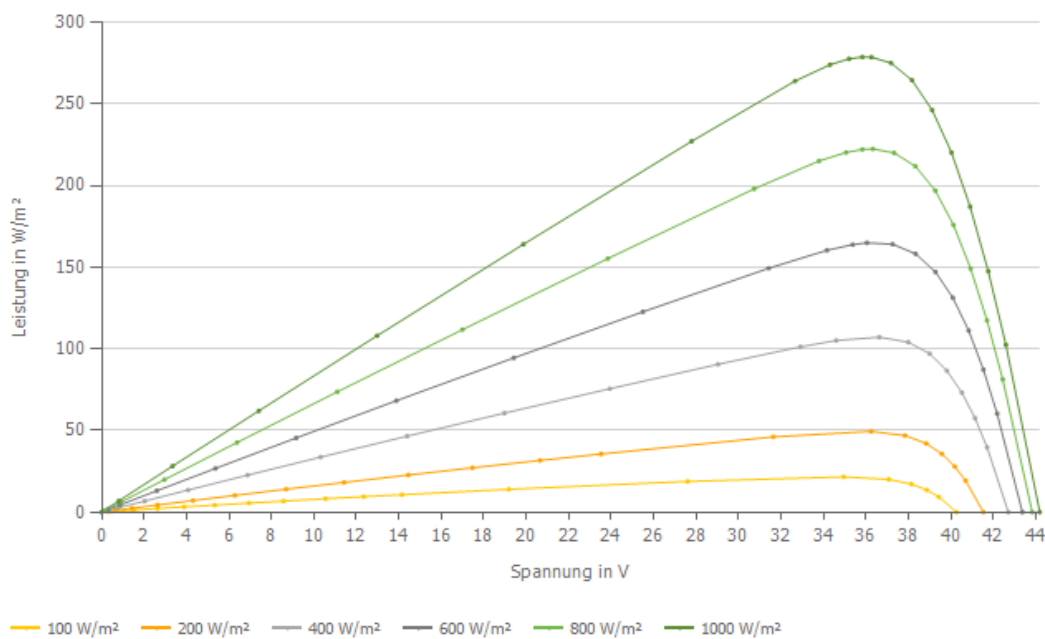
5. Kennlinien von Solarmodulen

Beispiel:



<https://help.valentin-software.com/pvsol/de/berechnungsgrundlagen/pv-module/arbeitspunkte-und-kennlinien/>

Maximum Power Point:



Für alle Einstrahlungsfälle liegt der MPP bei hoher Spannung 36-37V, nicht weit vom Leerlaufall entfernt. Dies bedeutet dass der PWM-Wert nur wenig variiert werden muss.

Daten unserer Panel:

solartronics 130W
Maximum power voltage = 18.13V
Ishortcircuit = 7.63A
Leerlaufspannung U_0 = 22.25V

Davon 2 in Reihe geschaltet.

6. Test als Batterielademodul

Als Entkopplung von der Batterie wird zur Sicherheit eine Diode P600B verwendet.

(Diese wird später weggelassen, da Q2 schon diese Aufgabe übernimmt)

Kleiner Praxistest.

Die Spannung VCC_POWER kommt von 2 in Reihe geschalteten 13W Solarmodulen, der PWM-Wert wird manuell nachgeregelt.

Der PWM-Wert für den MPP liegt um die 13-50%.

Batterie-Ladestrom ca. 0.5 – 2A bei bewölktem Himmel.

Solarspannung ca. 37 – 38V im MPP.

Bei etwas mehr Sonne: MPP bei PWM von 25%

7A, 36V, → 252W (Solarpanel)

4.9A, 44.9V → 220W (Batterie)

→ Wirkungsgrad 87%

7. Erfassung der Sonneneinstrahlung

Ohne diese gibt es keine verlässlichen Vergleiche. Es wird eine kleine Solarzelle von einem Lichtverschmutzungs-LED-Stab (Solar-LED für die Gartenbeleuchtung) benutzt (ca. 25cm²).

Erster Versuch: Messung des Kurzschluss-Stroms mit mA-Meter. Funktioniert, aber ungenau wegen recht hohem Innenwiderstand des Messgeräts.

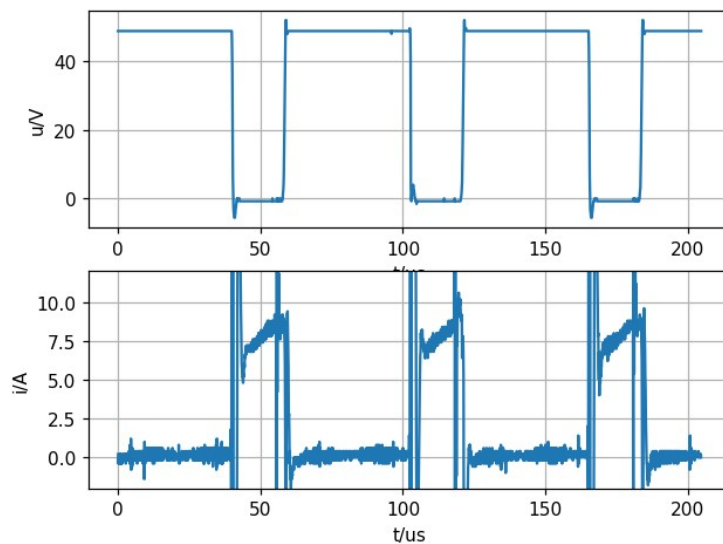
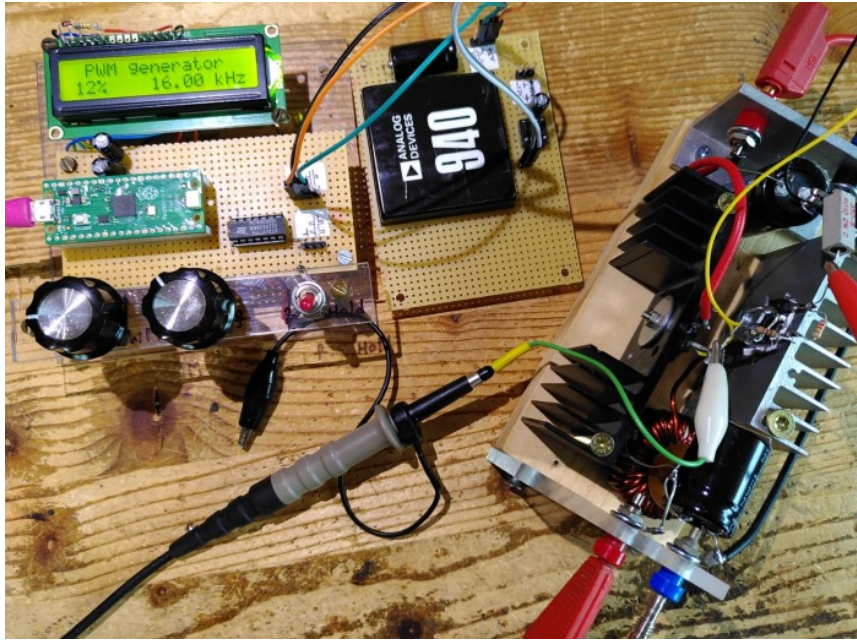
Zweiter Versuch: Nutzung eines vorhandenen I-U-Konverters mit OPV und Messung mit V-Meter. Scheint recht gut zu funktionieren.

8. Erzeugung der Gatedriver-Betriebsspannung aus den +5V

16.4.2023

Hier wurde ein fertiges (altes) Modul von Analog Devices benutzt : der 940 macht aus 5V eine +15V (VCC_DRIVER) und eine -15V Betriebsspannung (hier nicht benutzt).

Dieses Modul wurde zusammen mit einem Pufferelko und dem Gatedriver IR2101 auf einer separaten Platine untergebracht.



Oben: u_{DS} , unten i_{DS}

9. Problem ohne Belastung am Ausgang

Wenn der Akku keinen Strom aufnimmt (z.B. Abschaltung da voll), wird der Wandler sehr heiss und die Ausgangsspannung steigt stark an.

→ in diesem Fall muss abgeschaltet werden!

Diese Lösung scheint zu funktionieren:

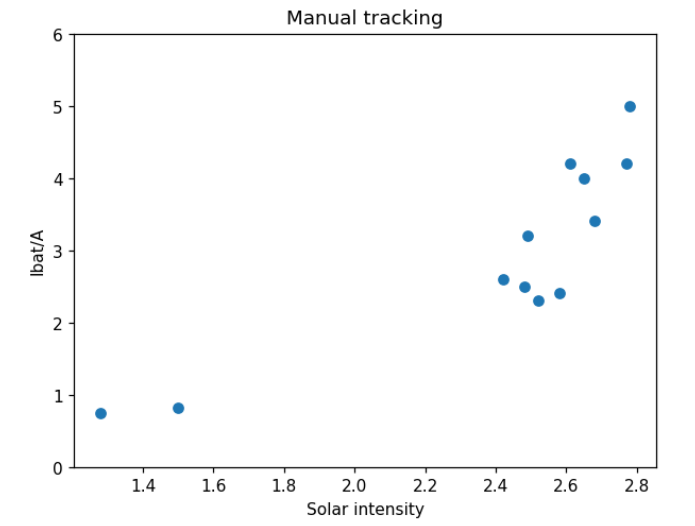

```

y = [3.4, 4.2, 2.5, 2.6, 3.2, 4, 2.3, 0.75, 0.82, 2.4, 4.5, 1.8, 0.3, 0.4, 0.4, 0.6, 4.4, 4.4, 5,
4.2, 5]

plt.title("Manual tracking")
plt.plot(x, y, 'o')
plt.xlabel("PWMopt in %")
plt.ylabel("Ibat/A")
plt.show()

```

Im nächsten Diagramm ist die Abhängigkeit des MPP-Batteriestroms von der Sonneneinstrahlung dargestellt:



11. Erweiterung der Messtechnik

19.4.2023

Für weitere Experimente mit manuellem MPP-Tracking wäre es wünschenswert folgendes zu erfassen (und die Werte gleich in eine Datei schreiben zu lassen, serielle Übertragung):

- Strom Batterie + Panel
- Spannung Batterie + Panel (neue I2C-Wandler!)
- Sonneneinstrahlung relativ
- Eingestellter PWM-Wert für MPP
- daraus berechnet Pzu, Pab, Wirkungsgrad

Die Steuerung soll weitgehend über den PC erfolgen, PWM-Wert manuell Pot oder Schieber am PC, später automatisch.

18.5.2023

Für die Erfassung von Spannung, Strom und Leistung wurde ein Breakoutboard mit **INA226** ausprobiert. Einen funktionierenden Micropython-Driver gab es, allerdings mit einem Bug den ich nicht sofort bemerkte. Das Datenblatt mit seinem Kapitel über Programmierung war eher hinderlich

als nützlich, die Vorgehensweise erscheint mir auch heute noch extrem unpädagogisch und unlogisch. Nachdem ich dieses Kapitel ignorierte und mich auf das Blockschaltbild fokussierte, gelang die Programmierung des Treibers problemlos. Als Grundgerüst wurde der Treiber von Chris Becker genommen.

Hier ist das Ergebnis:

<https://github.com/jean-claudeF/INA226>

Die bequeme Variante nutzt nur das Bus voltage register und das Shunt voltage register, und sollte eigentlich auch noch genauere Ergebnisse liefern:

```
import ina226_jcf as ina226
from machine import Pin, I2C
import time

i2c = I2C(0, scl=Pin(9), sda=Pin(8), freq=100000)
ina = ina226.INA226(i2c, 0x40, Rs = 0.002, voltfactor = 2 )

i=0
while True:

    v, i, p = ina.get_VIP()
    V = '%2.3f' % v
    I = '%2.3f' % i
    P = '%2.3f' % p
    print(i, '\t', V, '\t', I, '\t', P)
```

12. Intermezzo: Spulen für einen zweiten Leistungsteil

Es wurden aus verschiedenen, meist PC-Netzteilen Spulen ausgeschlachtet, neu gewickelt und vermessen. Dabei leistete das Spulen-Messgerät wertvolle Hilfe:

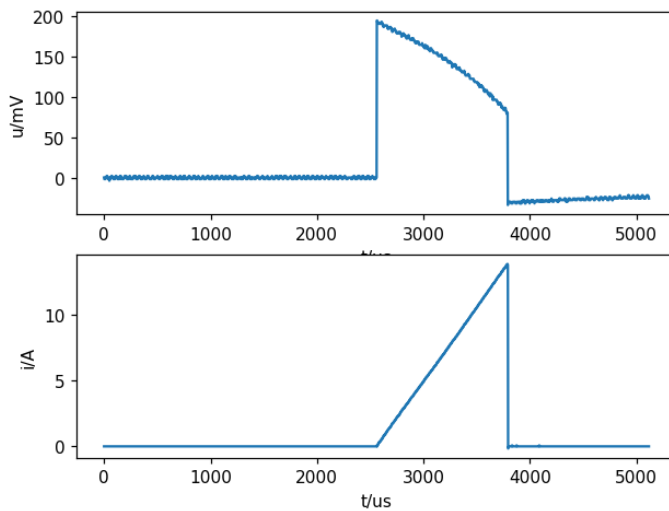
http://staff.ltam.lu/feljc/electronics/messtechnik/messung_ferritspulen.pdf

Der Impulsgenerator wurde noch leicht umgebaut, um einen grösseren Impulsdauer-Bereich zu ermöglichen.



Nicht alle Spulenkern erfüllten die Erwartungen. Einige hatten auch bei bescheidenen Windungszahlen recht niedrige Sättigungsströme.

850uH-Spule (unten links im Bild)

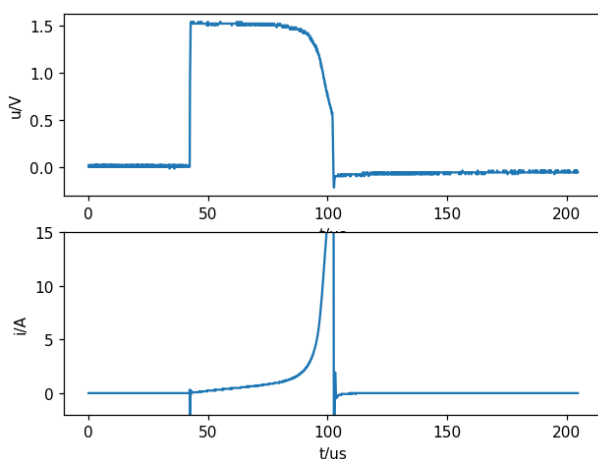


Unten: Strom, oben: induzierte Spannung in 1 Windung

Die zusätzliche Spannungsmessung in 1 Windung wurde vorgenommen, um eine zusätzliche Information über die Sättigung zu bekommen. Das Problem ist nämlich, dass sich eine durch den Widerstand nach unten gekrümmte Kurve und eine durch die Sättigung nach oben gekrümmte Kurve teilweise kompensieren können, so dass die Kurve linear aussieht, obwohl die Spule schon in der Sättigung ist. (Allerdings müsste sich die exponentielle Widerstandskrümmung schon zu Beginn der Kurve zeigen, während die Sättigungskrümmung erst bei hohen Strömen auftritt.)

Im Idealfall sollte die induzierte Spannung impulsförmig sein, im Sättigungsfall müsste sie stark abnehmen.

Ungeeignete 360uH Spule, $I_s = 1\text{A}$ (nicht im Bild):



Ab dem Sättigungsstrom bricht die induzierte Spannung stark ein.

13. Intermezzo: Schatten-Versuch

Wie wirkt sich eine partielle Abschattung der Panel aus?

Um dies zu untersuchen habe ich folgendes Experiment gemacht:

1. Zunächst wurde bei voller Sonneneinstrahlung der MPP manuell eingestellt, als Ergebnis floss ein Batterie-Ladestrom von ca. 4A bei einem PWM-Wert von 33%.
2. Dann wurde etwa 1/3 der Fläche eines der beiden in Reihe geschalteten Solarpanel abgedeckt (Also etwa 1/6 der Gesamtfläche). Das Ergebnis war dramatisch. Der Strom ging bei unverändertem PWM-Wert praktisch auf null zurück.
3. Nun wurde der MPP wieder manuell nachgestellt, mit dem Ergebnis dass sich der Strom wieder auf 1.8A bringen liess, nun bei einem PWM von 70%.
Das MPP Tracking lohnt sich also gerade bei Abschattung eines Teils.
4. Beim gleichen PWM-Wert wurde die Abdeckung entfernt. Das Ergebnis war schlechter als zu Beginn, der Strom betrug nur 2A. Mit manuellem Tracking auf einen PWM-Wert von 33% wie zu Beginn ergab sich wieder der Strom von 4A.

Fazit:

Ein MPP-Tracking kann erhebliche Leistungsgewinne bringen, vor allem wenn ein Teil der Zellen im Schatten liegt.

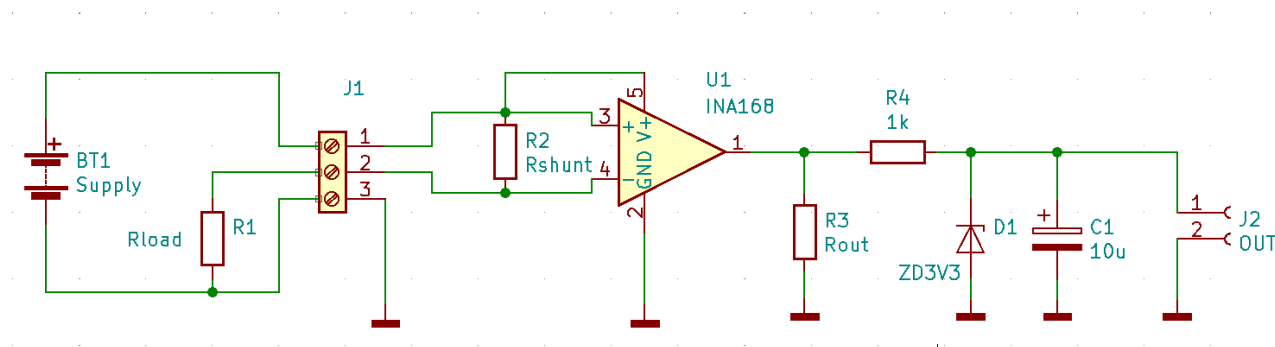
14. "Schönere" Strom-Messung

1.6.2023

Der Wunsch nach einer High Side Messung (Warum? Wegen der gemeinsamen Masse für alle Baugruppen) erinnerte mich an Versuche mit dem INA168. Dieser kann an bis zu 60V betrieben werden, er liefert ein analoges Ausgangssignal:

http://staff.ltam.lu/feljc/electronics/messtechnik/INA168_HighSide_Stromsensor.pdf

Erster Test:



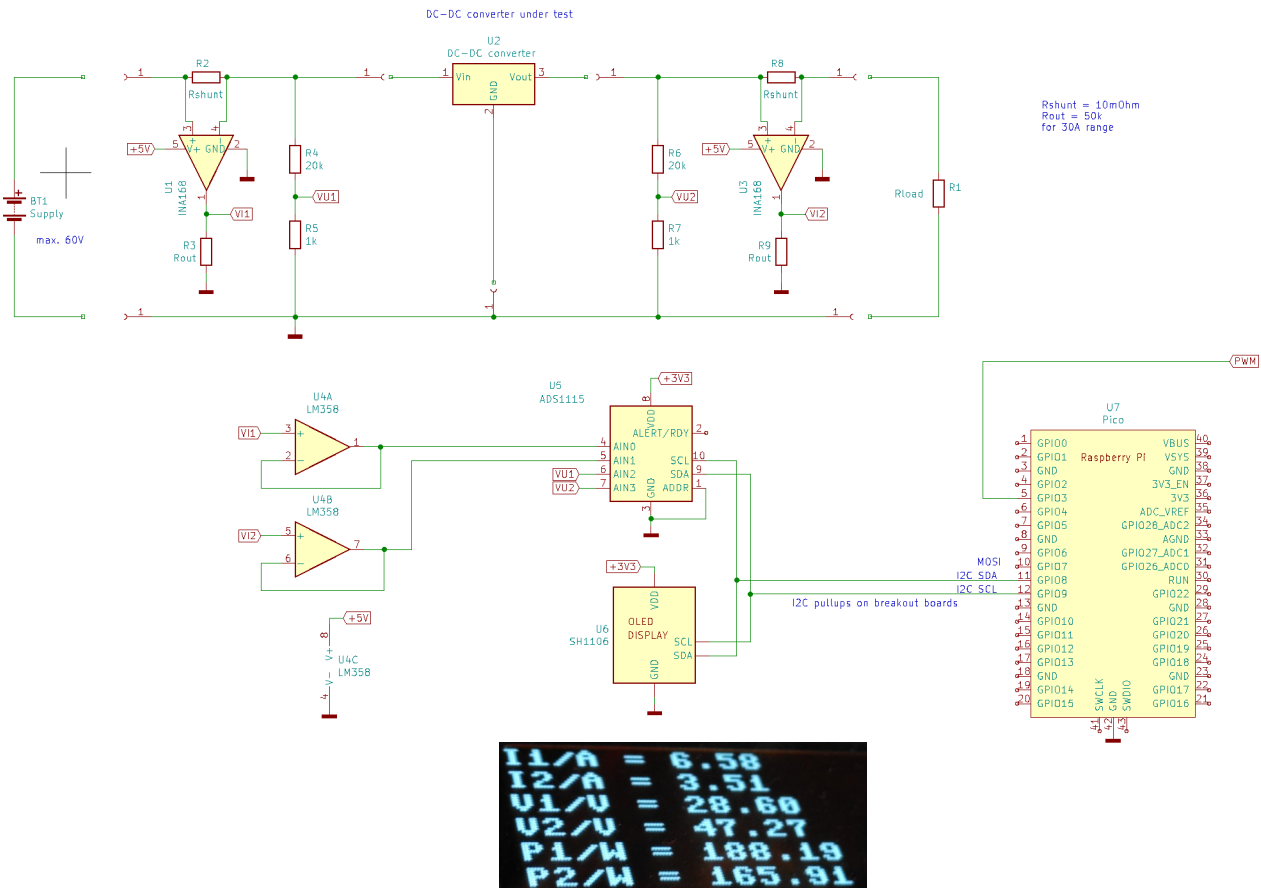
$R_{shunt} = 10\text{m}\Omega$

$R_{out} = 50\text{k}\Omega$

Da das Ausgangssignal auf eine ADS1115 – ADC geführt werden soll, wird es sicherheitshalber von D1 begrenzt (Es können schon mal Störimpulse mit zerstörerischer Spannung am Ausgang erscheinen.) Ausserdem sorgen R4 und C1 für eine Tiefpass-Filterung.

15. Ein Leistungs-Vierpol-Messgerät

Für genauere Untersuchungen des Stepupwandlers (oder eines anderen Leistungs-Vierpols) wäre es wünschenswert, alle Spannungen, Ströme und Leistungen zu messen. Das geht mit dieser Schaltung:

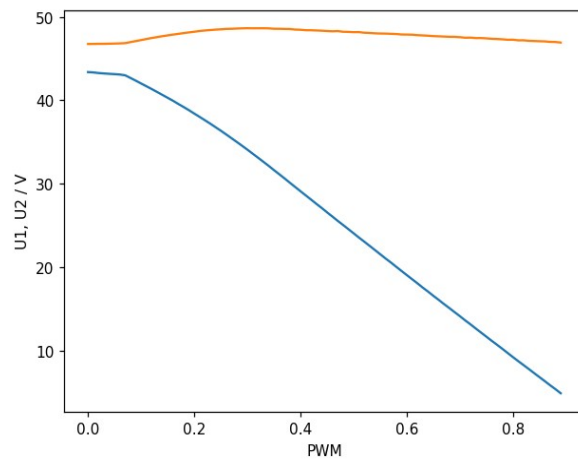
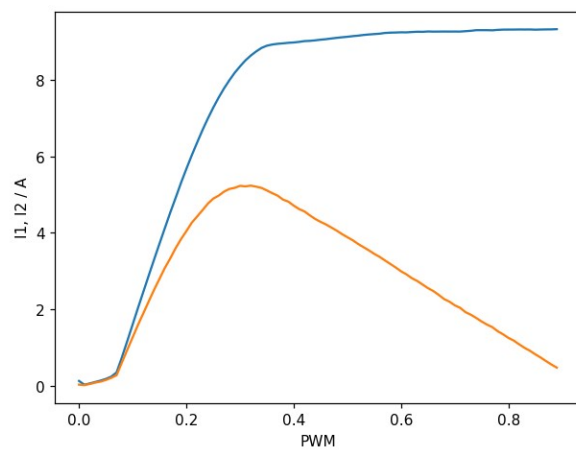
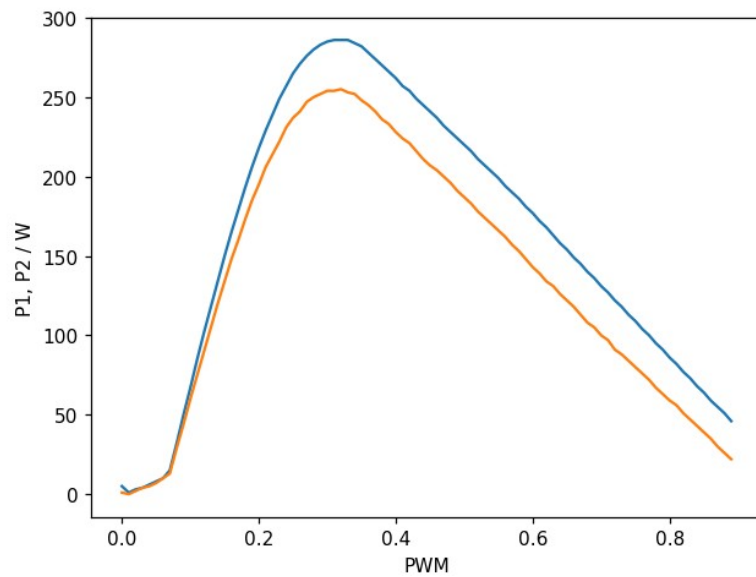


<https://github.com/jean-claudeF/MeasurePowerQuadrupole>

17.7.2023

16. MPP-Kurven

Die folgenden Kurven wurden mit dem INA168-Stromsensor aufgenommen. Dabei wurde eine Parallelschaltung von 2 x 2 in Reihe geschalteten Modulen verwendet.



1 = Eingangsgrößen

2 = Ausgangsgrößen des Stepup – Wandler.

Wie ist der Zusammenhang zwischen optimalem PWM-Wert und Leistung?

