

Charakterisierung (nicht gescratched) :

Temperatursensor:

$$U_E = 767 \text{ mV} \rightarrow U_A = 1.673 \text{ V} \rightarrow U_M = 1.667 \text{ V}$$

$$969 \text{ mV} \rightarrow 2.115 \text{ V} \rightarrow 2.109 \text{ V}$$

$$367 \text{ mV} \rightarrow 797 \text{ mV} \rightarrow 791 \text{ mV}$$

Spannungsmessung:

$$U_E = 238 \text{ V} \rightarrow U_A = 857 \text{ mV} \rightarrow U_M = 849 \text{ mV}$$

$$3.086 \text{ V} \rightarrow 1.722 \text{ V} \rightarrow 1.716 \text{ V}$$

$$3.586 \text{ V} \rightarrow 2.0 \text{ V} \rightarrow 1.954 \text{ V}$$

$$4.185 \text{ V} \rightarrow 2.332 \text{ V} \rightarrow 2.326 \text{ V}$$

Strommessung:

$$I_E = 0 \text{ A} \rightarrow U_A = 689 \text{ mV} \rightarrow U_M = 676 \text{ mV}$$

$$109 \text{ mA} \quad 814 \text{ mV} \quad 802 \text{ mV}$$

$$489 \text{ mA} \quad 1257 \text{ V} \quad 1205 \text{ V}$$

$$-489 \text{ mA} \quad 126 \text{ mV} \quad 114 \text{ mV}$$

$$U_A = 3.16 \text{ V}$$

$$U_0 =$$

$$U_F = 3.3 \text{ V}$$

$$I_0 = 60 \text{ mA}$$

$$I_{\text{LED}} = 1.13 \text{ A} - I_0 = 1.07 \text{ A}$$

$$\text{Erweiterung: } 250 \text{ mA}$$

$$I_{\text{ges}} = 1.03 \text{ A} + 250 \text{ mA} = 1.38 \text{ A} \rightarrow 1.5 \Omega$$

Temperatur:

$$G = \frac{10mV}{K}$$

$$\text{Offset} = 500mV$$

$$G_{op} = 1 + \frac{56}{47} = 2.191$$

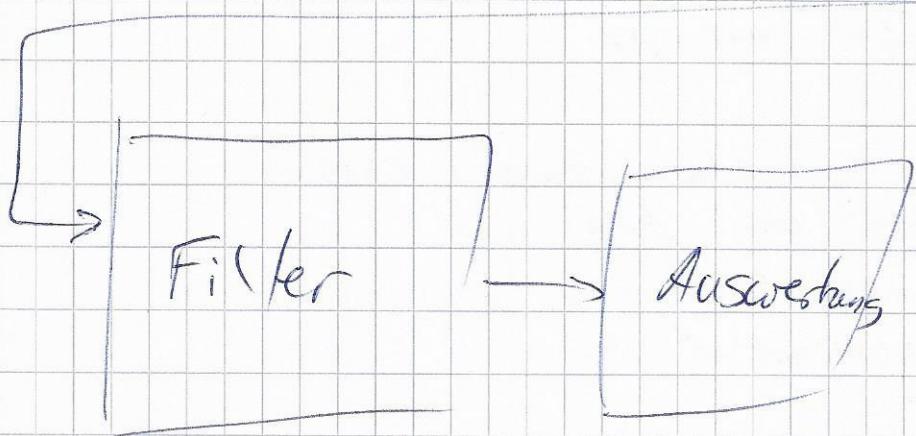
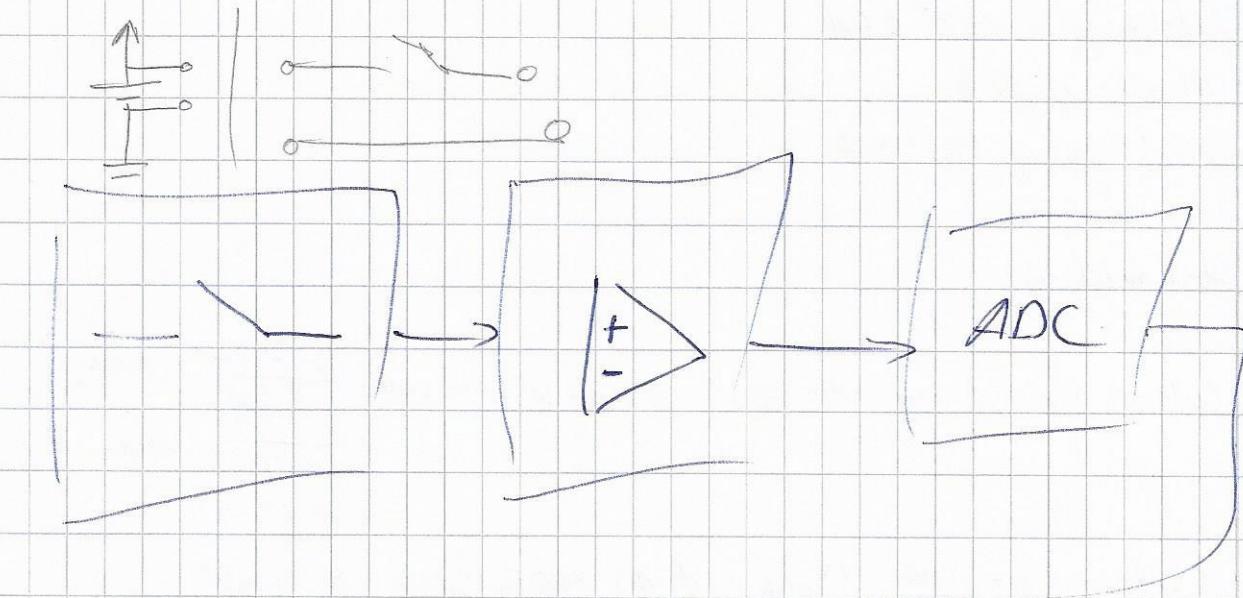
$$0^\circ C \rightarrow U_A = 2.191 \cdot 500mV = 1.096V \rightarrow \frac{1.096V}{2.5V} \cdot 2047 = \underline{\underline{897}}$$

$$65^\circ C \rightarrow U_A = 2.191 \cdot (10mV \cdot 65 + 500mV) = 2.52V \rightarrow \frac{2.52V}{2.5V} \cdot 2047 = \underline{\underline{2063}}$$

$$-25^\circ C \rightarrow U_A = 2.191 \cdot (10mV \cdot (-25) + 500mV) = 547.8mV \rightarrow \frac{547.8mV}{2.5V} \cdot 2047 = \underline{\underline{449}}$$

$$G_+ = \frac{65^\circ C}{2063 - 897} = 55.75 m^\circ C \quad \checkmark \quad \rightarrow G = 56 m^\circ C$$

$$G_- = \frac{-25^\circ C}{449 - 897} = 55.8 m^\circ C \quad \checkmark$$



Umrechnung Sensorwerte:

$$y = G \cdot (c - o)$$

Spannungsmessung:

$$\text{Differenzverstärker } G_1 = \frac{10k}{18k} = 0.5556$$

$$U_{\max} = \frac{2.5V}{G_1} = 4.5V$$

$$U_{\min} = 0$$

$$\rightarrow \text{Offset} = 0$$

$$\rightarrow \text{Gain} = \frac{4.5V}{2.5V_{\text{Ref}} \cdot 2^{10}} = \frac{4.5V}{2048} = 2.198 \text{ mV}$$

Neuauflageung Strommessung:

$$\text{Messbereich: } -1.5 \text{ A} \dots 0.6 \text{ A}$$

$$\text{Offset: } 1.518 \text{ V}$$

$$G_1 = 1.144 \quad ; \quad G_{D1} = 200$$

Strommessung:

$$0A \rightarrow U_A = 1.144 \cdot 1.518 V = 1.737 V \rightarrow \text{code} = \frac{1.737V}{2.5V} \cdot (2^{10} - 1) \\ = \frac{1.737V}{2.5V} \cdot 2047 \\ = 1422$$

$$-1.5A \rightarrow U_A = 1.144 \cdot (5m\Omega \cdot (-1.5A) \cdot 200 + 1.518V) = 20.59 \text{ mV}$$

$$\rightarrow \text{code} = \frac{20.59 \text{ mV}}{2.5V} \cdot 2047 = 17$$

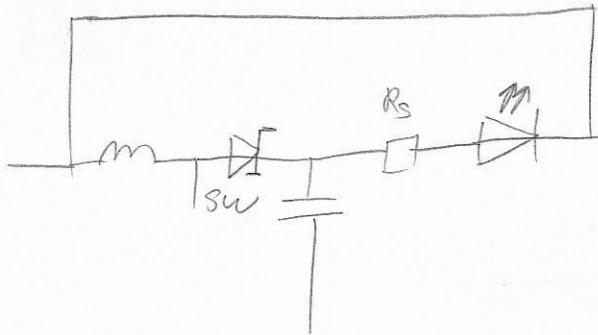
$$0.6A \rightarrow U_A = 1.144 \cdot (5m\Omega \cdot 0.6A \cdot 200 + 1.518V) = 2.423 V$$

$$\rightarrow \text{code} = \frac{2.423V}{2.5V} \cdot 2047 = 1984$$

$$G_+ = \frac{0.6A}{1984 - 1422} = 1.068 \text{ mA}$$

$$G_- = \frac{-1.5}{17 - 1422} = 1.068 \text{ mA}$$

LED-Treiber:



Steuerung der Helligkeit über Tasten des shutdown

maximales Tastverhältnis ist $\frac{T - t_{on, delay}}{T} = \frac{1/150\text{Hz} - 430\mu\text{s}}{1/150\text{Hz}} = 93.55\%$

Referenzspannung:

$$I_c = 80\mu\text{A} \dots 15\text{mA} \rightarrow \text{mindestens } 1\text{mA}$$

Kapazität ist egal $\rightarrow 1\mu\text{F}$

Verbrauch für Referenz beim ADC ist nicht gegeben $\rightarrow I = 1\text{mA}$ bei 2.8V

$$R = \frac{2.8\text{V} - 2.5\text{V}}{1\text{mA}} = 300\Omega$$

Spannungsmessung:

- Differenzspannung messen

$$U_{\text{max}} = 4.3\text{V} \quad U_{\text{min}} = 2.4\text{V}$$

$$U_A = 0 \dots 2.5\text{V}$$

$$G_I = \frac{2.5\text{V}}{4.3\text{V}} = 581.4 \cdot 10^{-3}$$

\Rightarrow Instrumentenverstärker geht wegen common mode range nicht! (6)

\rightarrow Differenzverstärker

$$U_A = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_+ - U_-) \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 581.4 \cdot 10^{-3}$$

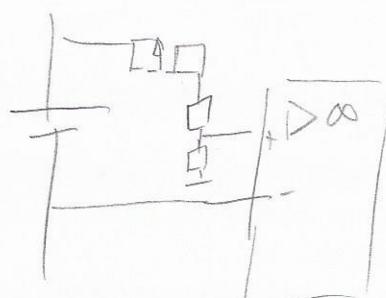
$$\text{max}(U_+) = 2.6\text{V}$$

$$U_+ = U_{E+} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = G_I$$

$$U_+ = U_{E+} \cdot \frac{R_1 \cdot G_I}{R_1 + R_1 \cdot G_I}$$

$$= U_{E+} \cdot \frac{G_I}{1 + G_I}$$



Schaltungsentwurf und -layout

Training zum AP2 der Laborphase

Praktikum Schaltungsentwicklung für Batteriesysteme

Mit Hilfe dieses Trainings sollen Sie Ihre Fähigkeiten im Umgang mit dem Cadsoft EAGLE Schaltplaneditor auffrischen und haben die Möglichkeit Unklarheiten zu beseitigen. Dabei durchlaufen Sie folgende Arbeitsschritte: Erstellung von eigenen Bauteilen, das Arbeiten mit Projekten sowie das Zeichnen und Prüfen von Schaltplänen.

Übung 1: Bibliothek

Für die folgende Anwendung wird ein spezielles Bauelement benötigt, welches nicht in den Standardbibliotheken von EAGLE enthalten ist. Zu diesem Zweck erstellen Sie eine eigene Bibliothek und erzeugen ein neues Bauteil zur späteren Verwendung. Bei dem Bauelement handelt es sich um einen Strommonitor INA210AIDCKT des Herstellers Texas Instruments.

Arbeitsablauf

- Erstellen einer neuen Bibliothek „TESTtraining“
- Erstellen eines neuen Symbols „INA21x“
- Erstellen eines neuen Packages „SC70-6“
- Erstellen des Devices „INA21“

Hinweise

- Achten Sie bei der Erstellung von Symbol und Package auf die korrekte Verwendung von Layern
- Das Package muss folgende Inhalte aufweisen:
Pads, Solderstop, Name auf dem Top-Layer, Bestückungsdruck, Erweiterter Bestückungsdruck, Sperrfläche
- Für das Device müssen folgende Inhalte mindestens in einfacher Ausführung erstellt werden:
Korrekte Varianten, Technologie, Sinnvolles Attribut zur Technologie, Präfix
- Sowohl Symbol, Package als auch Device müssen eine kurze Beschreibung aufweisen

Wenn Sie diese Aufgabe vollständig bearbeitet haben, melden Sie sich zur Abnahme bei Ihrem Betreuer.

DMA-Setup

- o Auto Enable für wiederholte Übertragung

7 S F

0111 1001 1111

Kanal 5: 260

Kanal 11: 350

Kanal 12: 1023

ADC-Setup:

- o T_{PP} prüfen ✓

~~Minimale Abtastrate: 32ksps · 5 = 160ksps \approx 6.25 μs~~

~~Conversion time: $12 \cdot T_{AD} \cdot 12 \cdot 83.33 \text{ ns} = 1 \mu\text{s}$ \rightarrow sample time = 6.25 μs - 1 μs = 5.25 μs~~

~~Sample counter = $\frac{5.25 \mu\text{s}}{83.33 \text{ ns}} = 6300$ ✓~~

$$T_{SAM} = C \cdot T_{AD} ; T_{conv} = 12 \cdot T_{AD}$$

$$f_s = \frac{1}{T_{SAM} + T_{conv}} = \frac{1}{C \cdot T_{AD} + 12 \cdot T_{AD}} \Rightarrow$$

$$T_{AD} = \frac{1}{f_s \cdot (C+12)} = \frac{1}{160 \text{ kHz} \cdot (31+12)} = \underline{\underline{145.3 \text{ ns}}} \rightarrow 166.8 \text{ ns}$$

$$T_{AD} \cdot f_s \cdot (C+12) = 1 \text{ s}$$

$$C = \frac{1}{T_{AD} \cdot f_s} - 12 = \frac{1}{166.7778 \text{ ns} \cdot 160 \text{ kHz}} - 12 = 25.47 \rightarrow \underline{\underline{25}}$$

$$\Rightarrow f_s = (25+12) \cdot 166.8 \text{ ns} = \underline{\underline{1624 \text{ Hz}}} \quad \checkmark$$

Montag Stephanie Czada Vertrag abholen und von Bischoff unterschreiben

LEDs: lassen

Für 2.8V:

Für 3.3V:

$$\text{Grün: } U_F = 2.7V \text{ @ } 2mA \rightarrow R_S = \frac{2.8V - U_F}{2mA} = 50\Omega ; R_S = 300\Omega$$

$$\text{Gelb: } U_F = 1.8V \text{ @ } 2mA \rightarrow R_S = \frac{2.8V - U_F}{2mA} = 500\Omega ; R_S = 250\Omega$$

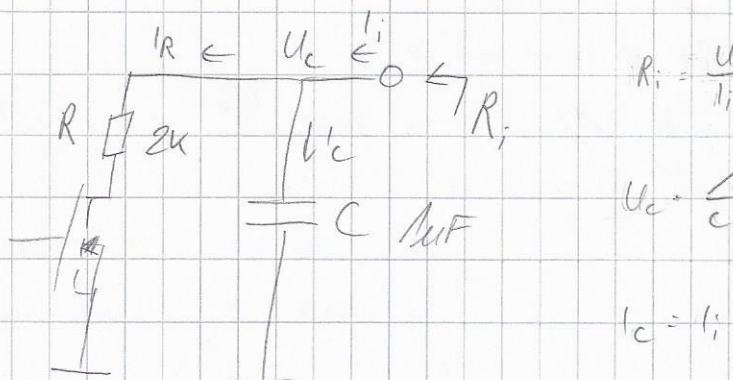
$$\text{Rot: } U_F = 1.7V \text{ @ } 2mA \rightarrow R_S = \frac{2.8V - U_F}{2mA} = 550\Omega ; R_S = 800\Omega$$

$$0.9V \rightarrow \underline{\underline{3.3}} \rightarrow 363$$

$$1V \rightarrow \underline{\underline{3.3}} \rightarrow 727$$

- Externer Widerstand an ITO, da PU zu wenig Strom liefert und dieser im Bereich des Sperrstroms der verwendeten Diode liegt

Max 2000



$$U_c = \text{f. Siedt}$$

$$I_c = I_i - I_R$$

$$I_R = \frac{U_c}{R} \cdot D$$

$$R_i = \frac{Siedt}{I_i}$$

LED min = 1000

880 mA Maximalstrom bei 5V

$$1.5V \rightarrow \text{min} \rightarrow 1200$$

$$1.8V \rightarrow \text{min}$$

$$0V \rightarrow \text{max} \rightarrow 0$$

$$0.25A_{50}$$

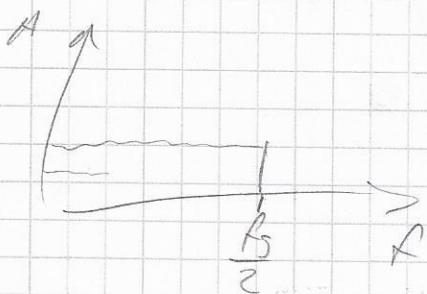
1.5V → Strom ändert sich 5V
→ bei 3V nicht möglich

Schmierblatt

number of samples for n additional bits:

$$2^{2n} \rightarrow 2 \text{ additional bits for } 16x \text{ oversampling}$$

$$\Rightarrow ENOB = 9 + 2 = 11$$



$4x$ Noise $\rightarrow \sqrt{4x}$ Amplitude

$4x$ Signal $\rightarrow 4x$ Amplitude

$$SNR = \frac{\text{Signal}}{\text{Noise}} = \frac{4}{\sqrt{4}} = \sqrt{4} = 2$$

$$\rightarrow SNR \rightarrow T_n$$

$$\rightarrow \text{additional bits} = \text{ld}(SNR) = \text{ld}(\sqrt{n}) = \frac{1}{2} \cdot \text{ld}(n)$$

$$\text{Code} = U_E \cdot \frac{2^{\text{ENOB}} - 1}{U_{\text{ref}}} \Leftrightarrow U_E = \frac{\text{Code}}{2^{\text{ENOB}} - 1} \cdot U_{\text{ref}}$$

$$\Rightarrow U_E = \frac{(\text{Code} \cdot U_{\text{ref}})}{2^{\text{ENOB}} - 1}$$

$$\text{ld}(\text{Code}) = ENOB = 11 \quad 2^{11} = 2048$$

$$\text{ld}(U_{\text{ref}}) = ENOB = 11$$

$$\text{ld}(\text{Code} \cdot U_{\text{ref}}) = 22$$

IT IT

Berechnung Batteriestrom:

$$R_S = 5 \text{ m}\Omega$$

$$G_1 = 200$$

$$G_2 = 1.14$$

Messbereich: $-0.6 \dots 1.6 \text{ A}$

$$\text{Offset} = 600 \text{ mV} \cdot 1.14 = 684 \text{ mV} \rightarrow 600 \text{ mA}$$

$$G_{\text{ain}} = R_S \cdot G_1 \cdot G_2 = 5 \frac{\text{mV}}{\text{A}} \cdot 200 \cdot 1.14 = 1.14 \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

$$\rightarrow G_{\text{ain}} = 1.14 \frac{\text{A}}{\text{V}} = 877.2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Berechnung Temperaturmessung:

$$\begin{aligned} U_{\text{meas}} &= G_2 \cdot (G_1 \cdot T + \text{Offset}) \\ &= 2.302 \cdot (10 \frac{\text{mV}}{\text{K}} \cdot T + 500 \text{ mV}) \text{ V} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{U_{\text{meas}}}{2.302} - 500 \text{ mV} \right) : 10 \frac{\text{mV}}{\text{K}} = T \Leftrightarrow$$

$$T = \frac{U_{\text{meas}}}{2.302 \frac{\text{mV}}{\text{K}}} - 50 \text{ K} - 0.04344 \frac{\text{K}}{\text{mV}} \cdot U_{\text{meas}} - 50 \text{ K}$$

Neuer $G = 2.191$

$$T = \left(\frac{U_{\text{meas}}}{2.191} - 500 \text{ mV} \right) : 10 \frac{\text{mV}}{\text{K}}$$

$$= \frac{U_{\text{meas}}}{2.191 \frac{\text{mV}}{\text{K}}} - 50 \text{ K}$$

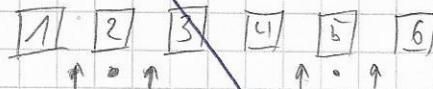
$$= 0.04564 \frac{\text{K}}{\text{mV}} \cdot U_{\text{meas}} - 50 \text{ K}$$

30 % müssen überwacht sein $\frac{1}{3}$ Schmiedeblatt

wir überwachen $\frac{2}{3}$ gleichverteilt

→ jede dritte muss überwacht sein

→ 2 von 3 werden überwacht

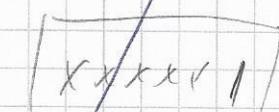
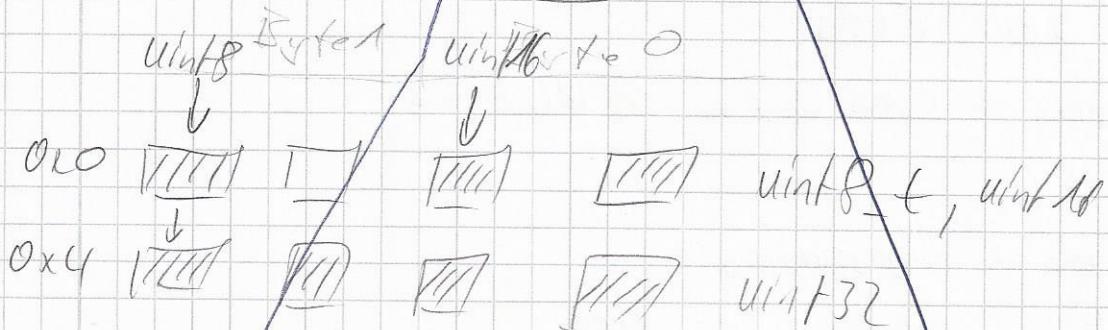


◦ MSB first

◦ CS low for entire transmission duration; data is latched on rising edge of CS

◦ CPOL = 1 idle high

◦ CPHA = 1 second edge sampling



Messages:

1. config register config $\rightarrow 1\text{ms}$

2. ADOW $\rightarrow 5\text{ms}$

3. ADOW $\rightarrow 5\text{ms}$

NMC : Li-Nickel-Mangan-Kobalt-Ox 3..4.2V / 3.6..3.7V

LCO : Li-Co-Ox 3..4.2V / 3.6V

LMO : Li-Mangan-Ox 3..4.2V / 3.7V

NCA : Li-Nickel-Kobalt-Aluminium-Ox 3..4.2V / 3.6V

LFP : LiFePO₄ 2.5..3.65V / 3.2..3.3V

• Auswertung der ADCs

- Spannung → Auflösung: 10mV Range: 2.3..4.4V

- Strom → Strom Auflösung: 10mA Range: -2.0..2A

- Temperatur → Auflösung: 1K Range: -20°C..60°C

Anzahl Buffer:

$$f_s \geq 32\text{ kHz} ;$$

$$f_{s\min} \geq 24\text{ Hz}$$

→ Oversampling: $\frac{32}{2} = 16x \rightarrow 16$ Samples pro Kanal

→ 5 Kanäle → $5 \cdot 16 = 80$ Speicherplätze

ADC hat 9 bit ENOB

16x Oversampling → ENOB steigt um $\frac{1}{2} \lg(16) = 2$

$$\rightarrow \text{ENOB} = M$$

Umrechnung Code in Eingangsspannung:

$$U_E = \frac{\text{Code} \cdot U_{ref}}{2^{\text{ENOB}} - 1} ; 2^{\text{ENOB}} - 1 = 2^{\text{ENOB}}$$

$$\equiv \frac{\text{Code} \cdot U_{ref}}{2^{\text{ENOB}}} ; U_{ref} = 2500\text{ mV}$$

Berechnung Batteriespannung:

$$U_{mess} = G \cdot (U_{Batt+} - U_{Batt-}) = \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_{Batt+} - U_{Batt-}) ; U_{Batt+} - U_{Batt-} = U_{Batt}$$

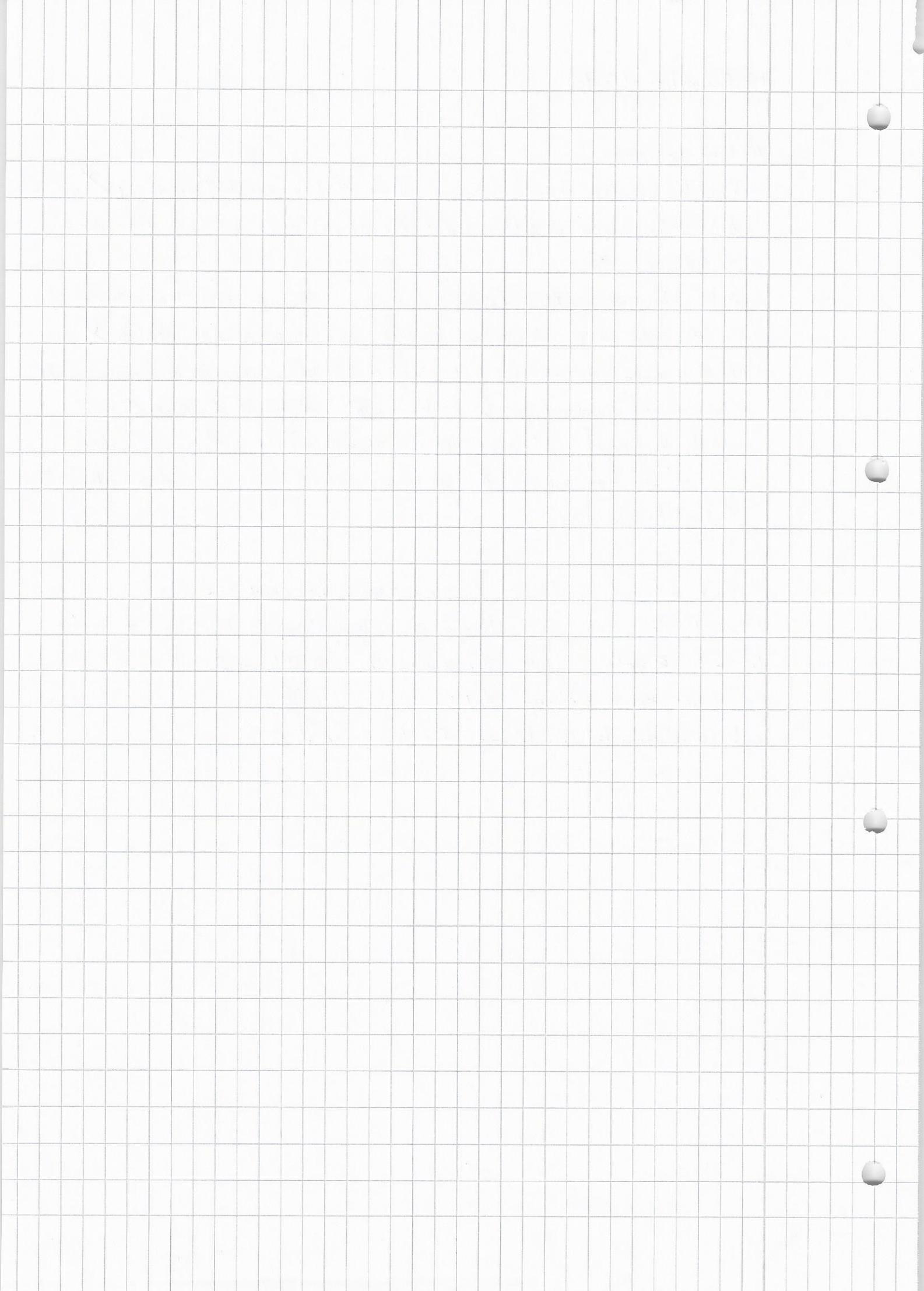
$$= 0.5556 \cdot U_{Batt} \Leftrightarrow$$

$$U_{Batt} = \frac{U_{mess}}{0.5556} = 1.8 \cdot U_{mess}$$

LS-Estimation (Forts.):

Mögliche Lösungen:

- λ weiter erhöhen, damit vergangene Werte stärker gewichtet werden ✓
- Nebenbedingungen vergeben, damit die Vorzeichen fix sind (z.B. Lagrange-Multiplizierer X)
- Nicht rekursive Implementierung ist meiner Meinung nach keine Option, da es sehr viele Ressourcen benötigt, damit wäre es aber möglich X
- Dynamik wird aktuell komplett ignoriert; Richtung der Spannungsaänderung wird nicht berücksichtigt. Die Richtung wird im Paper allerdings auch nicht konkret berücksichtigt, lediglich der Ladungsdurchtritt, welcher sich aber nicht auf die Kennlinie der Ruhestellung auswirkt, wird als dynamischer Vorgang berücksichtigt.
- Versuche mit nicht rekursiver Implementierung, basierend auf den letzten 500 Sekunden, mit Nebenbedingungen (ungleichungen) haben nicht zu besseren Ergebnissen als RLS geführt. Die Trajektorien der Parameter waren insgesamt weniger stabil.
- λ zu erhöhen hat zu besseren Ergebnissen geführt.



Überlegungen zur Taktquelle:

Frage ist ob interner RC oder externer Crystall

Der interne RC hat eine Genauigkeit von $\pm 0.5\%$ $\rightarrow \pm 8\text{MHz} \cdot 0.5 = \pm 72\text{kHz}$

Das führt zu Ungenauigkeit bei der wahrgenommenen Zeit, die z.B. für Integration benötigt wird.

Da die Abweichung im Betrieb fix und nicht statistisch ist, wird der Fehler aufgekennigt. Das ist bei dynamischen Systemen ohne Rückführung (z.B. Coulomb Counting) problematisch. Für die Zustandsbestimmung mit Kalmanfilter und andere Regelungen ist es hemmend, aber nicht essentiell. Problematisch ist eine Abweichung beim Takt auch bei serieller Kommunikation ohne Synchronisationsignal (z.B. UART), was aber nur bei hohen Baudaten ein großes Hindernis ist.

Bei $f_s = 2\text{kHz} \Rightarrow T_s = 500\mu\text{s}$ führt die Abweichung zu $T_s = 500\mu\text{s} \pm 4.5\mu\text{s}$.

Insgesamt führt eine prozentuale Abweichung bei der Taktquelle zur selben Abweichung von der wahrgenommenen Zeit.

=> Da wir Methoden mit Rückführung verwenden wollen, spielen uns statische Abweichungen keine wesentliche Rolle

1

2

3

4

5

6

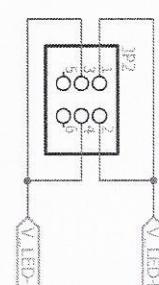
Versorgungsanschluss

Batterieanschluss
(Sensor: MCP9700)



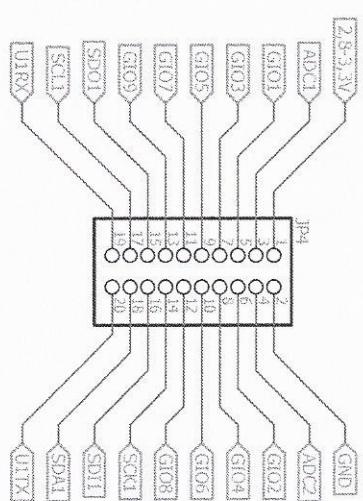
B

LED-Anschluss



A

Erweiterungsstecker



C

B

D

Verantwortliche Abt.	Technische Referenz	Dokumententyp	Dokumentenstatus
EES	Sebastian Ludwig	Elektrischer Schaltplan	Final
TUM	Erstellt durch: Andreas Noel Genehmigt von: Andreas Jossen	Titel, zusätzlicher Titel SteckerSpec	Sachnummer Z170308AN01 And. Ausgabedatum A 11.05.2017 10:48 Blatt 1/1
1	2	3	4
			5
			6

Schwerpunkt 1.7

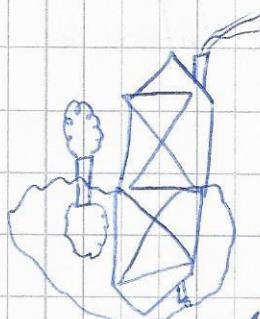
- Why does an increase in cache size decrease WCET

Worum kann man bei Esterel WCET durchhören

- Das C-Programm übernimmt die Struktur des Esterelprogramms
 - An einem Zeitpunkt erlaubt Esterel nur eine endliche Menge Arbeit
 - Eigenschaften, die schlecht in ASM geprüft werden können, können dafür in C oder Esterel geprüft werden

- Was ist der Stand von GaN und SiC?

- Bei welchen Anwendungen haben diskrete Transistoren Vorteile gegenüber Modulen?



- Etwa $1/3$ der spezifizierten Spannung für transiente Überspannung reservieren. Die Betriebsspannung sollte also nur $2/3$ der spezifizierten Spannung betragen.
- Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Stromrichtern ist maßgeblich durch die gesuchte Verbindungstechnik bestimmt
 - => Pressfit < gelötet < Schrauben < Stecker

Noch zu spezifizieren:

- Spannungssensor (Bereich, Frequenz, Genauigkeit) 1kHz
- Stromsensor (Bereich, Frequenz, Genauigkeit) 1kHz -2A-2A
- Temperatursensor (Bereich, Frequenz, Genauigkeit) -20-60°C 1Hz
- Umgebungstemperatur 0-40°C
- Grenzwerte für Zellen (Spannung und thermisch)
↳ DOD berücksichtigen
- Ausfallsicherheit (z.B. Redundanz bei Ausfall des BMS) → Verpolschutz
- Genauigkeit der Zustandsschätzung
- Ausgabe der verbleibenden Restlaufzeit → Interface
- Lader (Spannungs- und Strombereich) → Zellabhang (Typ) 2,5-4,2V 2A
- Verständnis von Sicherheit (Datenblattwerte einhalten)
- Software entwickeln → modulares Softwarekonzept
↳ müssen wir schon Software bereit stellen? → Platform (API)
- Erlaubte Höhe von Komponenten auf Ober- und Unterseite
- Wie viel Platz um Bohrungen auf der Unterseite
- Es muss ein PCB entwickelt werden → Maße etc.
- Spannungsbereich für GPIO 3.3V Input protection?
- Spannungsbereich für ADC 3.3V "
- Verpolschutz für Messsignale
- Verpolschutz für 5V-Versorgung + BAT
- I²C, SPI, Master oder Slave → optional
- Pegel für IO 3.3V

MCP662

Schreiber Schaff

GPIO:

IN:

~~ANSEL = ANSEL & ~0x1~~ → Also clearen

~~TRIS = TRIS | 0x1~~ → Also setzen

~~Schreib Lesen über PORT~~

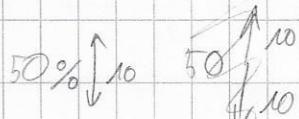
OUT:

~~ANSEL = TRIS & ~0x1~~ → clearen

~~TRIS = TRIS & ~0x1~~ → clearen

~~Schreiben und lesen über LAT~~

ADC :



~~ANSEL = ANSE | 0x1~~ → setzen

- Referenz setzen
- Trigger konfigurieren
- Format definieren

ADC1CON1 bits	FORM	Format	VCFG	Reference	OP	an
SSRC	Trigger		CSCNA	Scan		
ASAM	Autosample		ADRC	Clock		

Lithium Zelltechnologie:

Typ	$U_{min} \vee$	$U_{max} \vee$	$U_{mean} \vee$	$T_{max} \text{ } ^\circ\text{C}$
LiCO	3	4.2	3.6	150
NMC	3	4.2	3.6/3.7	210
LiMnO	3	4.2	3.7/3.8	250
NCA	3	4.2	3.6 V	150
LFP	2.5	3.65	3.2/3.3	270

$$T_{CH} = 0.45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{Dis} = -20 \dots 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

+B-Dry

LiFePo ist sehr flach

$$\text{Bsp: } \Delta U = 0.1 \text{ V} \rightarrow \Delta Q = 80$$

SOC genau auf 10% \rightarrow 10 Stufen

\hookrightarrow Grenauigkeit für $U = 10 \text{ mV}$

\hookrightarrow Grenauigkeit für $I = \frac{IC}{10} \rightarrow 10 \text{ mA}$



Buck-Boost converter: TPS63021

LED:

$$R_{th} = 6.5 \frac{\text{m}}{\text{A}}$$

~~$\vartheta_J = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$~~

$$L_{max} = 1 \text{ A}$$

~~$\vartheta_{Jmax} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$~~

$$U(1 \text{ A}) = 3.2 \text{ V}$$

Thermal path electrically neutral

Übung 3: ERC

Abschließend überprüfen Sie mit dem ERC Ihre Zeichnung und beseitigen eventuelle Fehler.

Arbeitsablauf

- Überprüfen des Schaltplans mittels ERC-Befehl

Wenn Sie diese Aufgabe vollständig bearbeitet haben, melden Sie sich zur Abnahme bei Ihrem Betreuer

Strommessung

$$I = 600 \text{ mA} \dots -1.6 \text{ A} \quad \Delta U = 2.2 \text{ A} \cdot R_S \cdot G_s$$

Offset

$$= 2.2 \text{ A} \cdot 5 \text{ mS} \cdot 200 \\ = 2.2 \text{ V}$$

$$\Delta_{+}U = 600 \text{ mV}$$

$$\Delta_{-}U =$$

$$G_{s2} = 1.136 = \frac{2.5 \text{ V}}{\Delta U}$$

Lader $2 \times 6.7 \mu F / 10 V$

Frage 1.22V ist Maximum am Kondensator

$$I = 0.5 \text{ mA}$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I \cdot t}{U} \Leftrightarrow t = C \cdot \frac{U}{I}$$

$$C = 1 \mu F \rightarrow t = 2.44 \text{ ms} \quad \checkmark$$

$$R_{\text{Prog}} = \frac{1000V}{I_{\text{REG}}} = \frac{1000V}{500 \text{ mA}} = 2k$$

Strommessung:

$$I_A = 210 \rightarrow G = 200$$

$$U_A = 2.5 \checkmark$$

Messbereich $\pm 2A$

$$U_A = U_{A_0} + G \cdot R_S \cdot I$$

$$R_S = \frac{U_A - U_{A_0}}{G \cdot I} = \frac{2.5V - 1.25V}{200 \cdot 2} = 3.125 \text{ mA}$$

$$P_S = I^2 \cdot R_S = 4A^2 \cdot 3.125 \text{ mA} = 12.5 \text{ mW}$$

Spannungsreferenz:

LM34060

$$I_{\min} = 80 \mu A \quad I_{\max} = \frac{15}{25} \text{ mA}$$

$$U = 2.5 \checkmark$$

Shuntregler

1.2V interne Referenz
für Korrektur

Externe Referenz oder
AvDD

AvDD ist dummerweise
Variabel \rightarrow externe Referenz
für maximale Genauigkeit
 \hookrightarrow LM34060 $\rightarrow 2.5 \checkmark$

$$\hookrightarrow 0.603$$

$$\Rightarrow R_S = 1.5 \text{ m}\Omega \rightarrow 25 \text{ mV}$$

$$\Delta U_A = G \cdot R_S \cdot I = 200 \cdot 1.5 \text{ m}\Omega \cdot 2A \\ = 0.6$$

Graf

Gesucht ist $I_K = \frac{U_K}{U_0}$ ← Falsche Spezifikation (i)

~~$I_K = \frac{U_{FB} - U_{REF}}{R_0}; U_{REF} = 2.495 V; U_{FB}$~~

$$= \frac{R_2 \cdot U_0 + R_1 \cdot R_2 \cdot I_3}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)} - \frac{U_{REF}}{R_0}$$

$$= \frac{R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)} \cdot U_0 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)} \cdot I_3 - \frac{U_{REF}}{R_0}$$

$$I_3 = \frac{C \cdot S \cdot (U_{KA} - (R_1 + R_2) - R_2 \cdot U_0)}{R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3)}$$

~~$U_{KA} = U_0 - U_S - U_F; U_S = R_S \cdot I_0$~~

Gesucht ist $C_S = \frac{I_0}{U_0}$

~~$I_0 = I_K + I_3 + I_g (\Rightarrow I_K)$~~

$$= I_g + \frac{R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)} \cdot U_0 + I_3 \cdot \left(1 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)}\right) - \frac{U_{REF}}{R_0}$$

$$I_3 = \frac{C \cdot S \cdot (U_{KA} \cdot (R_1 + R_2) - R_2 \cdot U_0)}{R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3)}; U_{KA} = U_0 - U_S - U_F = U_0 - R_S \cdot I_0 - U_F$$

$$= \frac{C \cdot S \cdot ((R_1 + R_2) \cdot (U_0 - R_S \cdot I_0 - U_F) - R_2 \cdot U_0)}{R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3)}$$

$$I_0 = I_g + \frac{R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)} \cdot U_0 + \left(1 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)}\right) \cdot \frac{C \cdot S \cdot ((R_1 + R_2) \cdot (U_0 - R_S \cdot I_0 - U_F) - R_2 \cdot U_0)}{R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3)}$$

~~$- \frac{U_{REF}}{R_0} \Leftrightarrow$~~

$$I_0 \cdot \left(1 + \frac{C \cdot S \cdot (R_1 + R_2) \cdot R_S}{R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3)} + \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot C \cdot S \cdot R_S}{R_0 \cdot (R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3))}\right)$$

$$= U_0 \cdot \left(\frac{R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)} + \left(1 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)}\right) \cdot \frac{C \cdot S \cdot R_1}{R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3)}\right)$$

$$+ I_g \cdot \left(1 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_0 \cdot (R_1 + R_2)}\right) \cdot \frac{C \cdot S \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + C \cdot S \cdot (R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3)} \cdot U_F$$

Aufstehende Frequenzen:

- 550 kHz ... 1.6 MHz vom Schaltregler
- Überlagerte 150 Hz für dimmen mit F. Oberschwingung im Stopbereich
- 40..50 MHz vom Mikrocomputer

Bandbreite: 14 Hz wegen Verhalten des Ersatzschaltbildes für die Zelle

$$\text{Abtastfrequenz } f_s > 2 \cdot B = 14 \text{ Hz}$$

Mindestens -40 dB bei f_s

$$G = 2.08 \text{ um ADC voll auszunutzen} \rightarrow G = 2 \text{ (nur für Strom)}$$

⇒ aktives Filter zweiter Ordnung sinnvoll

Filter:

◦ Butterworth Sallen-Key

$$f_g = 14 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{stop}} = 16 \text{ kHz at } -40 \text{ dB mit einer Stufe machbar} \rightarrow f_c > 2 \cdot f_{\text{stop}} = 32 \text{ kHz}$$

→ 8x Oversampling mit Filterung oder Moving Average

Pinbelegung Mikrocomputer II:

- 1x PWM für CH_CTRL oder PWM Open Drain → einen Transistor sparen X
- 1x 5V toleranter Open Drain für /BAT_CONNECT X
- 1x ADC für Strommessung X
- 1x PWM für ISHDV von LED-Treiber X
- 1x PWM für IADJ X
- 1x External Interrupt für Tasker X

Übung 2: Schaltungsentwurf

Im Folgenden soll eine Schaltung zur Messung eines bidirektionalen Stroms entwickelt werden. Eine Beispielschaltung können Sie aus dem aktuellen Datenblatt des in Übung 1 verwendeten Bauteils unter Punkt 8.2.2 entnehmen. Entwerfen Sie Ihre Version mit folgenden Bauelementen:

Bauteil	Quelle/Bibliothek
INA210AIDCKT	TESTtraining
Alle Kondensatoren	C-EU_C0603 (C-EU_)
Alle Widerstände (außer Shuntwiderstand)	Widerstand, europäisches Symbol, Package R0603
Shuntwiderstand	Widerstand, europäisches Symbol, Package R3216, für Wellenlötzung
OP-AMP	AD820, Package SO-8
Steckverbinder	PINHD-1X8

Zusätzlich sind folgende Spezifikationen gegeben:

- Zu messender Strom: $\pm 4 \text{ A}$
- Pegel des auszugebenen Messsignals: $0 - 2,5 \text{ V}$
- Die Messschaltung wird separat über ein stabiles Analognetz versorgt (Spannung: $3,3 \text{ V}$)
- Die Schaltung soll als Modul zum Einsticken in einen vorhandenen Stromkreis genutzt werden. Deswegen müssen sowohl die zu messenden Signale, die Versorgungssignale für die Messschaltung als auch das Messsignal auf einen zweiten Stecker durchgeschleift werden.
- Verwenden Sie für alle passiven Bauelemente Werte aus der E96-Reihe (ausgenommen Shunt)

Arbeitsablauf

- Erstellen eines neuen Projektes „Strommessung INA“
- Erstellen eines Schaltplans „Strommessung INA.sch“
- Hinzufügen der Bauteile mittels ADD-Befehl
- Positionieren der Bauteile mittels MOVE-Befehl
- Anpassen der Bauteilnamen mittels NAME-Befehl
- Zuweisen der Bauteilwerte mittels VALUE-Befehl
- Erstellung der Netze mittels NET-Befehl

Hinweise

- Verwenden Sie Supply-Symbole um wichtige Netze zu kennzeichnen
- Benennen Sie wichtige Netze
- Achten Sie auf eine saubere Form Ihres Schaltplans

Wenn Sie diese Aufgabe vollständig bearbeitet haben, melden Sie sich zur Abnahme bei Ihrem Betreuer

$$U_A = G_1 \cdot R_S \cdot I + U_{A_0}$$

$$G_2 \cdot U_A = G_1 \cdot G_2 \cdot R_S \cdot I + G_2 \cdot U_{A_0} \stackrel{!}{=} 2.5V$$

$$\approx 200 \cdot G_2 \cdot 1.5m\Omega \cdot 2A + G_2 \cdot U_0$$

$$G_2 \cdot U_{A_0} = 1.25V \quad G_2 \approx \Rightarrow U_{A_0} = \frac{1.25V}{G_2} = \underline{\underline{600mV}}$$

$$200 \cdot G_2 \cdot 1.5m\Omega \cdot 2A + 1.25V = 2.5V$$

$$G_2 = \frac{2.5V - 1.25V}{200 \cdot 1.5m\Omega \cdot 2A} = \underline{\underline{2.083}}$$

Verstärker als analoges Filter

- Butterworth
- -3dB bei 1kHz $\rightarrow f_s > 2\text{kHz}$
- -60dB bei 8kHz $\rightarrow 6\text{fach Oversampling}$
- $G = 2.08$

LED-Treiber:

$$U_{ADJ} = 0..1.5V \rightarrow U_{SENSE} = 50..0mV$$

Ferntherm-Drossel wegen hoher $f_s = 1.4\text{MHz}$

Drossel muss Spikenstrom ohne Sättigung können

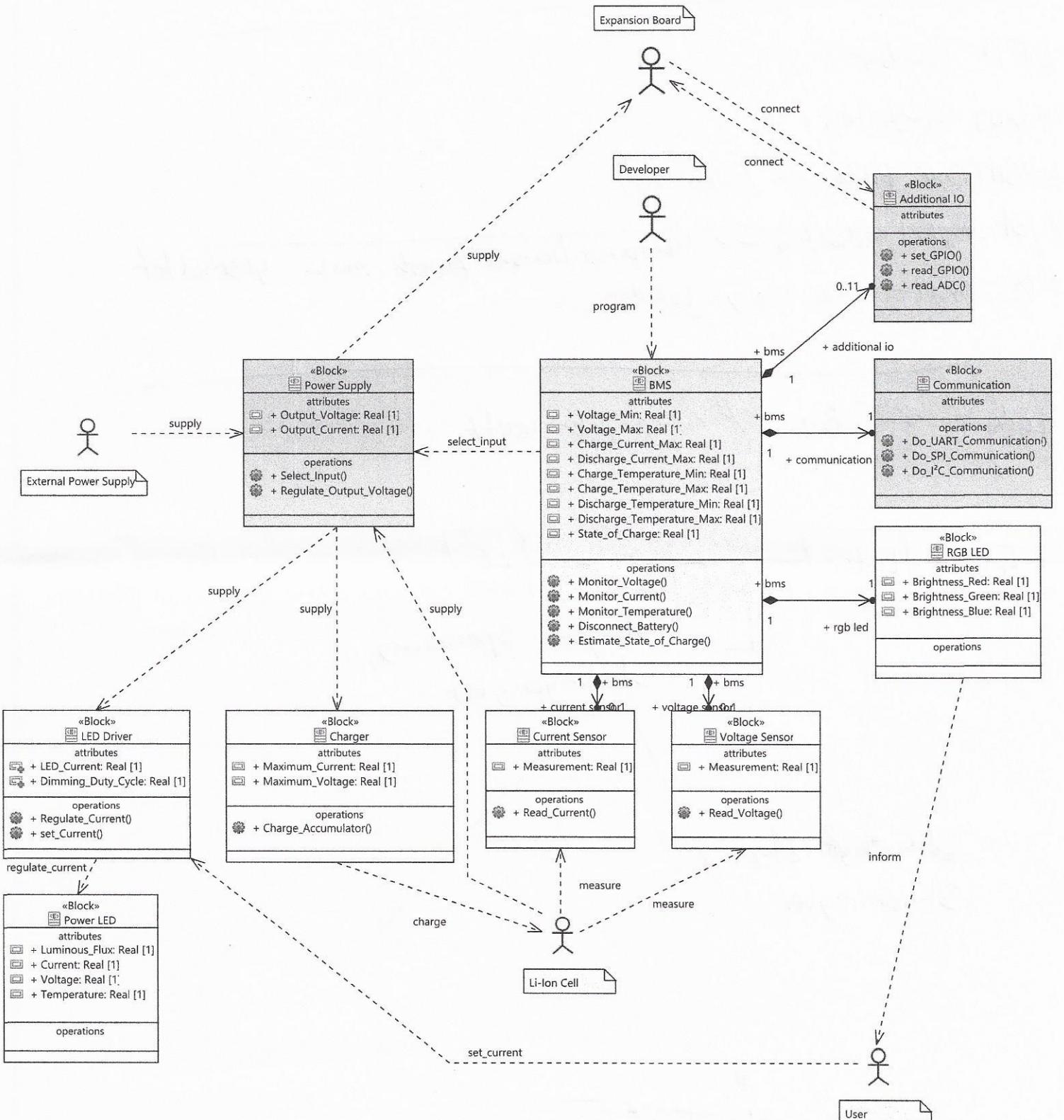
Größerer Wicklungswiderstand

4.7..10μH sind eine gute Wahl $\rightarrow L = 4.2\mu H$ ist da

$$I_L = 3.65A \quad R_L = 35.6m\Omega$$

$$C_A = 4.7..10\mu F$$

U_A 20% bis 30% höher als Spannung im CC Modus



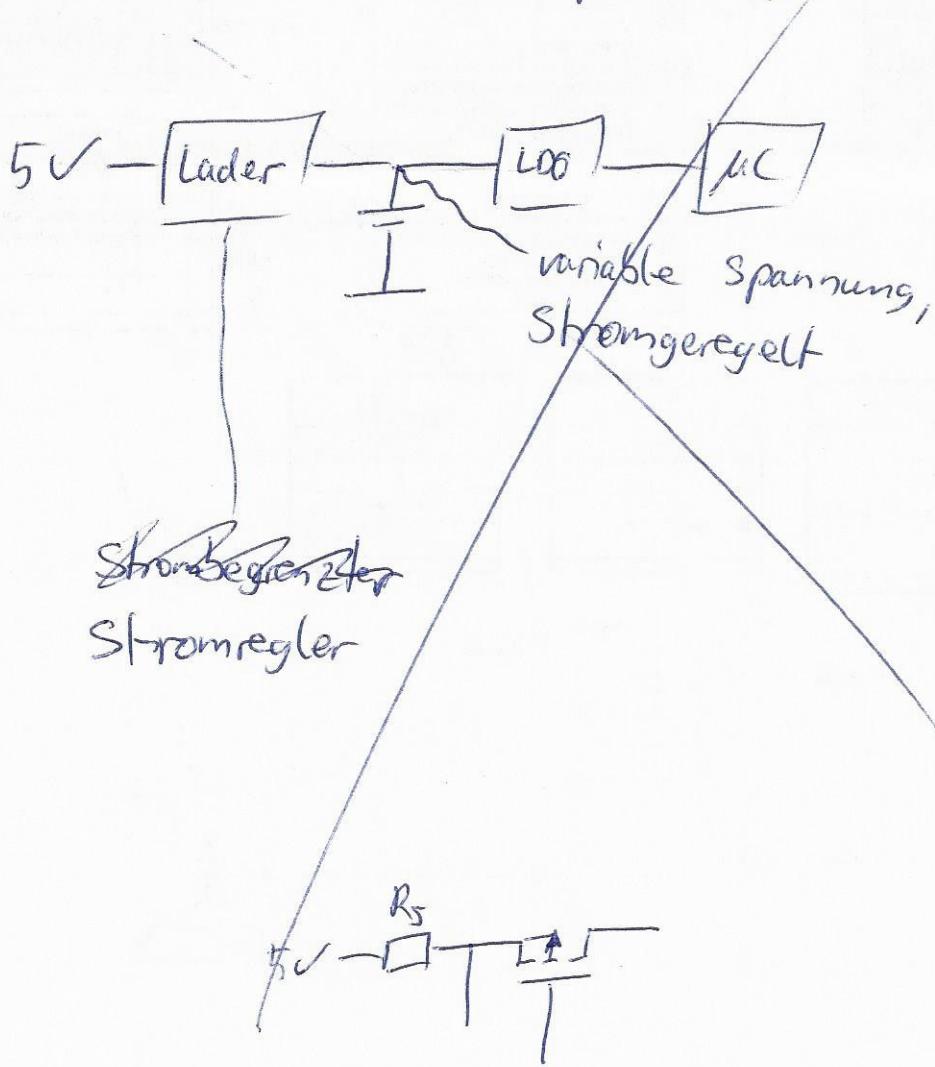
100 XC6210 kann ausschalten!

3.3V regeln für MCU und expansion boards

LED Treiber:

- A0J einstellen
- ISHTDN PWM → 430μs delay
- Strompfad schalten → Kompensationsteil muss geschaltet werden
- Vc PWM → 430μs delay werden

Laden: 2.8 bis Mikrocomputer läuft



$$U_f = U_{ref} \cdot \frac{R_1 \cdot 595.2e^{-3}}{R_1 + R_2 \cdot 595.2e^{-3}} \leftrightarrow$$

$$U_f = U_{ref} \cdot \frac{5952e^{-3}}{1 + 595.2e^{-3}}$$

Temperaturmessung

→ MCP9700AE → 500mV + 10mV/K (20°)

→ Arbeitsbereich -20°C - 60°C → 300 mV - 1100 mV

Vervielfachen:

$$G_V = \frac{2.5V}{1.1V} = 2.273 \rightarrow 2.25 \text{ gewählt}$$

Ein Tiefpass ist nicht notwendig, da der OP aber sowieso benötigt wird, haben wir es eingebaut

$$f_g = 10 \text{ Hz } (-3 \text{ dB})$$

Pin Belegung Mikrocontroller: I

- 9x GPIO für Expansion
- 2x ADC für Expansion X
- 1x SPI für Expansion X
- 1x I²C für Expansion X
- 1x UART für Expansion X
- 1x Debug X
- 1x ADC für Temperatur X
- 1x 5V toleranter Open Drain für U_SENS_EN X
- 1x ADC für Spannungsmessung X

Überlegungen für Impedanzmessung:

$$Z = \frac{U}{I}$$

Für die Berechnung der Impedanz werden Messwerte für Strom und Spannung benötigt. Beide Messwerte werden bereits mit einer Bandbreite $B = 1\text{kHz}$ erfasst. Bei EIS wird meist bis $f \geq 10\text{kHz}$ gemessen, was mit unserer Bandbreite nicht möglich wäre. Die entsprechenden Filtercharakteristiken können bei Bedarf angepasst werden.

Für EIS wird ein, idealerweise sinusförmiges, Anregungssignal benötigt. Mit dem LFO-Treiber können Stromsprünge mit relativ hoher Flankensteilheit erzeugt werden, wobei Amplitude und Frequenz ungefähr einstellbar sind. Sinusförmige Anregung ist so auch möglich, wobei die Frequenz nach oben auf den Bereich $1\text{..}10\text{kHz}$ beschränkt sein dürfte. Alternativ kann ein zusätzlicher Transistor als elektronische Last verwendet werden.

Überlegungen für Identifikation des Zelltyps:

Li-Ionenzellen haben verschiedene für einen Zellchemietyp charakteristische Eigenschaften. Diese sind:

- Ruhespannungskennlinie $U_0 = f(\text{SOC})$
- Innenwiderstand $R_i = f(\text{SOC}, \vartheta)$
- RC-Glied $R_C = f(\text{SOC}, \vartheta)$ und $C_{RC} = f(\text{SOC}, \vartheta)$

wobei die Ruhespannungskennlinie am charakteristischsten ist.

Um diese zur Laufzeit zu identifizieren, muss die Änderung der Ruhespannung über die Änderung des SOC betrachtet werden.

$$\frac{\partial U_0}{\partial \text{SOC}} \text{ und } \frac{\partial U_0}{\partial t} = \frac{\partial U_0}{\partial \text{SOC}} \cdot \dot{\text{SOC}} = \frac{\partial U_0}{\partial \text{SOC}} \cdot I$$

Ist $\frac{\partial U_0}{\partial \text{SOC}}$ für verschiedene Zelltypen verschieden sprug und die Kapazitäten der Zellen sehr ähnlich, kann dieses Kriterium für die Identifikation herangezogen werden.

Schmierblatt

$$U_A = U_{\text{Ref}} \cdot \frac{R_S}{R_S + R_V}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_A}{\partial R_S} &= U_{\text{Ref}} \cdot \frac{1 \cdot (R_S + R_V) - R_S \cdot 1}{(R_S + R_V)^2} \\ &= \frac{R_S + R_V - R_S}{(R_S + R_V)^2} = \frac{R_V}{(R_S + R_V)^2} = S \end{aligned}$$

Für $R_V = R_S \approx R$:

$$\frac{\partial U_A}{\partial R_S} = \frac{R}{(2R)^2} = \frac{R}{4R^2} = \frac{1}{4R}$$

Optimierung:

Maximum suchen:

$$\frac{\partial S}{\partial R_S} = \frac{-R_V \cdot 2 \cdot (R_S + R_V) \cdot 1}{(R_S + R_V)^4} = \frac{-2 \cdot R_S \cdot R_V - 2R_V^2}{(R_S + R_V)^4} \stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow$$


$$\frac{\partial U_A}{\partial R_S} = \frac{R_V}{(R_S + R_V)^2} = S(R_S)$$

S optimieren bezüglich R_V :

$$\frac{\partial S}{\partial R_V} = \frac{(R_S + R_V)^2 - R_V \cdot 2 \cdot (R_S + R_V) \cdot 1}{(R_S + R_V)^4} \stackrel{!}{=} 0$$

$$(R_S + R_V)^2 - 2 \cdot R_V \cdot R_S - 2 \cdot R_V^2 \Leftrightarrow$$

$$\underbrace{R_S^2 + 2R_S \cdot R_V + R_V^2}_{R_V^2 - R_S^2} - 2 \cdot R_S \cdot R_V + 2 \cdot R_V^2 \Leftrightarrow 1 - R_V^2 = -2 \cdot R_S \cdot R_V$$

$$R_V^2 - R_S^2 = 0 \Leftrightarrow$$

$$R_V = R_S$$

Min oder Max:

$$R_V = R_S + \varepsilon$$

$$\frac{\partial S}{\partial R_V} = \frac{(2R_S + \varepsilon)^2 - (R_S + \varepsilon) \cdot 2 \cdot (2R_S + \varepsilon)}{(2R_S + \varepsilon)^4}$$

Gedanken zu automatischer Identifikation von Zelltyp:

Charakteristische Merkmale der RuheSpannungsKennlinie:

ANZ System:

olitePo2

- Maximalspannung $U_{max} = 3.6V$
- Nennspannung $U_{mean} = 3.3V$
- Minimalspannung $U_{min} = 2V$
- Starker Abfall von U_{max} auf U_{mean} innerhalb 5% DOD (positive Krümmung)
- Konstanter Abfall im Nennbereich (5..80% DOD) ohne Krümmung
- Starker Abfall von U_{mean} auf U_{min} innerhalb 20% DOD mit negativer Krümmung

Samsung:

- $U_{max} = 4.2V$
- $U_{min} = 2.75V$
- $U_{mean} = 3.7V$
- Keine Entladekurve gegeben, \rightarrow Entladekurve von dampfaktus.de
- Starker Abfall von U_{max} auf U_{mean} innerhalb 1% DOD
- Konstanter Abfall im Nennbereich (5..50% DOD) mit leicht negativer Krümmung
- Starker Abfall ab 50% DOD auf U_{min}

Molicel:

- Lithium Phosphor Fluor mit Lithium Mangan Sauerstoff Kathode
- $U_{max} = 4.2V$
- $U_{min} = 2.5V$
- $U_{mean} = 3.86V$
- Kurzer starker Abfall von U_{max} auf 4V
- Langer Abfall im Nennbereich mit leicht negativer Krümmung von 4..3.7V (5..80% DOD)
- Kurzer starker Abfall auf U_{min}

Kurven aus Datenblatt ablesen:

A123:

$$m_c = \frac{0.2 Ah}{32.35 \text{ mm}} = 6.59 \frac{Ah}{m}$$

$$m_u = \frac{3.6V - 2V}{34.46 \text{ mm}} = 29.4 \frac{V}{m}$$

Molicell: → Dokument ist geschriften, messen nicht möglich

$$m_c = 1.6 Ah$$

$$m_u =$$

Sanyo:

$$m_c = \frac{2.00 Ah}{68.65 \text{ mm}} = 30.3 \frac{Ah}{m}$$

$$m_u = \frac{4.5V - 2V}{39.66 \text{ mm}} = 63 \frac{V}{m}$$

LS-Estimation:

$$y = A + B \cdot \ln(SOC) + C \cdot \ln(1-SOC) = \varphi^T \cdot \Theta$$

$$\Theta^T = [A, B, C]$$

$$\varphi^T = [1, \ln(SOC), \ln(1-SOC)]$$

$$SOC = \frac{Q}{C_N}$$

Kalman-Filter geht auch, da sich Rauschen bei der Spannungsmessung stark auswirkt

⇒ Identifikation der Kennlinie funktioniert nicht sonderlich gut, da die Dynamik des Systems nicht berücksichtigt wird. Die RLS-Identifikation einer statischen Kennlinie führt damit zu Problemen: Bei $SOC = 1 - SOC$ wechselt der Parameter B sein Vorzeichen um und die Kennlinie ändert ihre Form von ↗ zu ↘

Schmiedblatt

$$\frac{\partial S}{\partial R_v} = \frac{(R_s + R_v)^2 - 2 \cdot R_v \cdot R_s - 2 R_v^2}{(R_s + R_v)^4}$$

$$= \frac{R_s^2 + 2 \cdot R_s \cdot R_v + R_v^2 - 2 \cdot R_v \cdot R_s - 2 \cdot R_v^2}{(R_s + R_v)^4}$$

$$= \frac{R_s^2 - R_v^2}{(R_s + R_v)^4}$$

$$\frac{\partial^2 S}{\partial R_v^2} = \frac{2 \cdot R_v \cdot (R_s + R_v)^4 - (R_s^2 - R_v^2) \cdot 4 \cdot (R_s + R_v)^3 \cdot 1}{(R_s + R_v)^8} \quad |_{R_v = R_s}$$

$$= \frac{2 \cdot R_s \cdot 16 \cdot R_s^7 - 0}{64 \cdot R_s^8} = \frac{32 \cdot R_s^8}{64 \cdot R_s^8} = \frac{1}{2} \cdot R_s^{-5} > 0 \Rightarrow \text{MN}$$

Bei $R_s = R_v$ ist die Sensitivität maximal

Sanyo:

- $U_{max} = 4.2V$
- $U_{nenn} = 3.6V$
- $U_{min} = 2.75V$
- langer Abfall von $4.15V$ auf $3.5V$ mit positiver Krümmung
- Kurzer starker Abfall von $3.3V$ auf U_{min}

Fazit:

Die Kennlinie der LFP-Zelle von A123-System unterscheidet sich im Verlauf wesentlich von den Zellen von Samsung, Molicel und Sanyo. Die Unterscheidbarkeit dieser Zellen ist besonders wichtig, damit die richtigen Min und Max für den sicheren Betrieb eingestellt werden können.

Schutzkonzept:

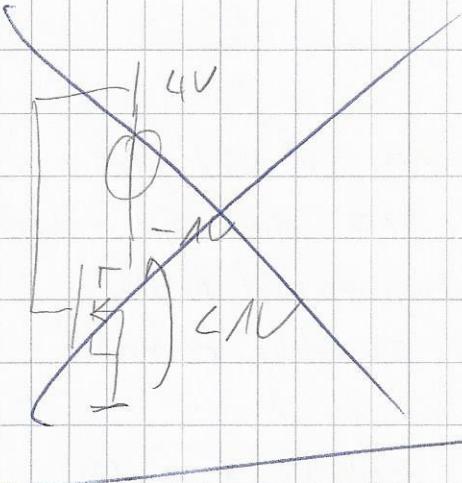
- Der Mikrocomputer kann Stromfluss aus dem Akku unterbinden, indem er den FET nicht mehr offen hält und damit alle Laskos, auch sich selbst, abwirft. Damit kann der Akku vor Tiefentladung geschützt werden.
- Beim Laden wird der Strom vom Mikrocomputer eingestellt, es kann also kein Überstrom fließen und keine Überlastung stattfinden.
- Aktuell ist der Akku nicht gegen Kurzschluss geschützt. Eine aktive Schaltung wäre möglich, z.B. mit einem Komparator bei I_{th} abschalten, funktioniert aber nur bei korrekter Versorgung. Besser wäre eine Schmelzsicherung.
- Bei Verpolung des Akku-Schaltverbinders entsteht folgende Situation:

$$\begin{array}{ccccccc} V_{DD-SENSOR} & \textcircled{o} & \textcircled{o} & V_{-SENSOR} & & V_{BAT-FORCE+} & \textcircled{o} \textcircled{o} V_{BAT-SENSE+} \\ V_{BAT-SENSE-} & \textcircled{o} & \textcircled{o} & V_{BAT-FORCE-} & \Rightarrow & V_{BAT-FORCE-} & \textcircled{o} \textcircled{o} V_{BAT-SENSE-} \\ V_{BAT-SENSE+} & \textcircled{o} & \textcircled{o} & V_{BAT-FORCE+} & & V_{-SENSOR} & \textcircled{o} \textcircled{o} V_{DD-SENSOR} \end{array}$$

Bei Verpolung bleibt der Massebezug erhalten. Problematisch ist die Verbindung von $V_{DD-SENSOR}$ (z.B. 3.3V) mit $V_{BAT-FORCE+}$. Hier muss verhindert werden, dass Strom vom Akku in die Schaltung fließen kann.

Sowohl $V_{-SENSOR}$ an $V_{BAT-SENSE+}$ als auch $V_{BAT-SENSE+}$ an $V_{-SENSOR}$ sind unproblematisch, da diese Anschlüsse jeweils eine große Impedanz am Eingang haben.

$V_{DD-SENSOR}$ an $V_{BAT-FORCE+}$ ist kein Problem, da der Sensor keine Quelle ist.



- o QFN-Gehäuse für Ladesteller
- o Impedanzmessung für Zelle
- o Erkennung von Betrieb am Netzteil, damit Laden initialisiert werden kann
- o Zelltyp identifizieren
- o Spannungsabhängige Reduktion des LED Stroms
- o Taster holt die Zelle wieder aus

Pinnamen:

AV - Analog Input

o Range von Spannungs- und

OC - Output Compare (PWM)

Strommessung anpassen, damit

INT - External Interrupt

auch der Fehlerfall erkannt

SDI - SPI Data In

werden kann

SDO - SPI Data Out

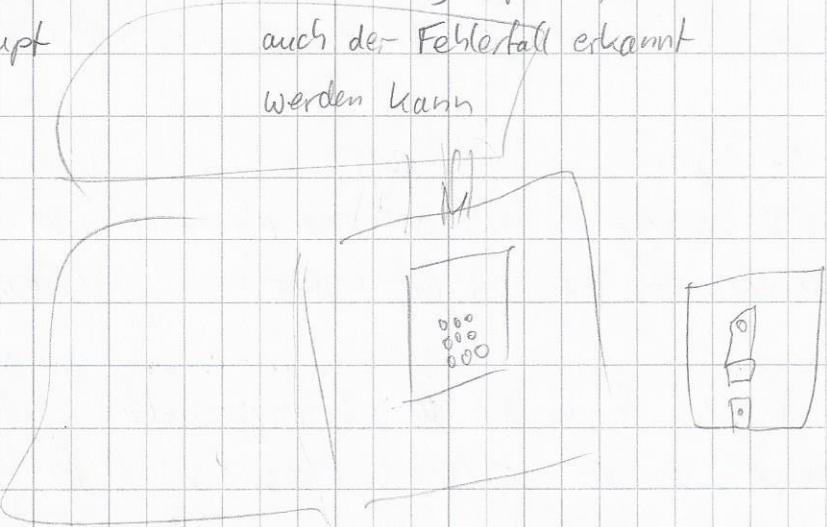
UxTX - UART Tx

UxRX - UART Rx

SCK - SPI Clock

SCL - I²C Clock

SDA - I²C Data



Pinbelegung:

5x ADC 21 / 22 / 23 / 24 / 25

2x DEBUG 41 / 42

3x Open Drain 5V-Tolerant 4 / 21 / 3 mit PWM

1x Taster 43

1x SPI 10 / 11 / 14

1x I²C 44 / 1

1x UART 30 / 31

2x PWM für LED Treiber 33 / 34

9x GPIO Don't Care

10/14

Schmierblatt

$$-A \leq -3 \Leftrightarrow A \geq 3$$

$$-B \leq 0 \Leftrightarrow B \geq 0$$

$$C \leq 0 \Leftrightarrow C \geq 0$$

$$A = \frac{C}{S} \text{ mit } 3600 \frac{S}{h} \Rightarrow A = \frac{3600 C}{S}$$

Vias:

$$b = 0.7 \text{ mm}$$

$$\text{Ratio} \Rightarrow 10 \text{ mil}$$

$$d = b + 2 \cdot 0.15$$

$$= 1 \text{ mm} \quad H = \frac{Y}{u} \Leftrightarrow Y = H \cdot u \Leftrightarrow \vec{a} \cdot \vec{y}_e = \vec{b} \cdot \vec{u}_e \Rightarrow a_0 \cdot y + a_1 \cdot \frac{Y}{2} + a_2 \cdot \frac{Y}{2^2} = b_0 \cdot u + b$$

$$A \cdot x \leq b, \quad x \geq 3$$

$$-x \leq -3$$

Durchsprache Layout:

Leiterbahnbreite bei 0.15mm breiter machen

LDO Ausgangskondensator

3.3V am LDO aufbremsen für Mikrocomputer und OPs und extremes Board

Strompfad für LED-Treiber nochmal anschauen

$$A^+ = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T$$

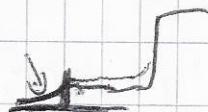
$$A \cdot A^+ \cdot B = A \cdot (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot B$$

Besprechung Forschungspraxis:

- Matrikelnummer an Eyle
- Fachlich dürfen wir Eyle gerne fragen, aber wir wollen ihm eigentlich verschonen
- Startdatum, dann wenn wir angefangen haben
- April bis Ende Jani in Südafrika

Pins umsortieren:

- ADCs sind wichtig
- GPIO sind egal
- Debug ist ok



2x PWM AHC3 / 1x PWM 5V C5

2x OD 5V

1x UART Tx: B15 Rx B13

1x SPI CLK: B14 SDO: B11 SDO: CP

1x I²C CLK: B8 SDA: RB9

Wir hatten PPS falsch verstanden: Wir dachten, dass auf jedem PPS-Pin jede Funktion verfügbar sei. Im Gespräch mit Kollegen, viel der Fehler auf und wurde korrigiert. Bei der neuen Belegung wurde darauf geachtet, dass die Eingriffe möglichst wenig Änderungen bewirken.