

Energy harvesting bicycle computer

Katrin Bächli, Manuel König

18. März 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Ausgangslage	5
1.2	Aufgabenstellung	5
1.3	Übersicht der Arbeit oder Aufbau der Dokumentation	7
2	Theoretische Grundlagen	9
2.1	Energy Harvesting mit Bewegungsinduktion	9
2.2	Energy Management für die gewonnene Energie	9
2.2.1	Regelung des optimalen Leistungsbezugs	9
2.3	Low Power Microcontroller von Texas Instruments	11
2.3.1	Fähigkeiten eines Low Power Microcontrollers	11
2.4	Aufsetzen des Low Power Microcontrollers	11
2.5	Bluetooth Low Energy	12
3	Vorgehen	13
3.1	Inbetriebnahme des Modells der Machbarkeitsstudie	13
3.2	Layout Print	16
3.2.1	Bauteiloptimierung	16
3.3	Energie Management	16
3.3.1	Energiekalkulation	16
3.4	Low Power Einstellungen Sensortag	17
4	Firmwareentwicklung	19
4.0.1	VO: SimpleBroadcast	19
4.1	Kommunikation Bluetooth Low Energy	20
4.2	Applikationsentwicklung	20
4.3	Option 1	20
5	Verzeichnisse	21
5.1	Literatur	21
5.2	Glossar und Abkürzungen	21

5.3	Abbildungsverzeichnis	21
5.4	Tabellenverzeichnis	21
A	Ausschreibung Bachelorarbeit	I
B	Projektplanung	III
C	Referenz Sensortag von Texas Instrument	V
C.1	Blockschema Sensortag	V
D	Messprotokoll Energiegewinnung Harvester	VII
E	Messprotokoll Energieverbrauch Sensortag	IX
F	Messprotokoll Rippelspannung Ausgangskondensator Harvester-schaltung	XI

Kapitel 1

Einleitung

In der heutigen Zeit gibt es viele interessante Gadgets, die unterschiedlichste Daten liefern. Seien das Pulsmesser, Heizungsregler oder das Multimedia-system zu Hause, diese Technologien lassen sich auch für den Fahrradfahrer nutzen. Es gibt bereits sogenannte Fahrradcomputer, welche die Geschwindigkeit messen und über ein separates Display ausgeben, jedoch werden die meisten mit einer Batterie betrieben, deren Laufzeit begrenzt ist. Mit der Möglichkeit des Energy Harvesting wird die Batterie und deren begrenzte Laufzeit gänzlich ersetzt. Bluetooth Low Energy kann Daten mit sehr wenig Energie übertragen, damit können die Daten, wie Geschwindigkeit oder Höhenmeter, an ein Android-Endgerät übermittelt werden.

1.1 Ausgangslage

Stand der Technik: Geschwindigkeitsanzeige für Velofahrer aktuelle Beispiele beschreiben.

Zwei Nachteile: Batteriewechsel und zusätzliches Display. Ein Handy hat jeder. Deshalb diese zur Anzeige benutzen.

Vorarbeiten auf diesem Gebiet: Roman Scheider und Daniel Studer verfassten 2015 eine Projektarbeit am InES, in der sie die Machbarkeit eines Bicycle computer and sensoric powerd with energy nachwiesen Roman Schneider (2015). Die Punkte, die sich zu unser Arbeit unterscheiden benennen.

Nennen, was in dieser Arbeit **neu** erarbeitet wird. ...

1.2 Aufgabenstellung

In der Ausschreibung der Arbeit ist der Inhalt der Bachelorarbeit zusammengefasst (siehe A). Das Ziel der Arbeit besteht darin, einen bestehenden

Prototypen eines batterielosen Fahrradcomputers zu verbessern und zu optimieren. Die bestehende Hardware soll optimiert und bestenfalls verkleinert werden. Weiter soll eine App für ein Android-Endgerät entwickelt werden, in der die Messwerte dargestellt werden.

Aus den Themen entstand eine Aufgabenstellung mit folgenden Punkten:

1. Inbetriebnahme des Prototypen, Einlesen in die vorangegangene Projektarbeit und Beschäftigung mit der Materie, sind die Hauptpunkte des ersten Schrittes.
2. Die bestehende Hardware muss verkleinert und überarbeitet werden. Dafür wird ein neues PCB entworfen, welches verschiedene vorhandene Platinen vereint.
3. Initialisierung der Bluetooth-Schnittstelle muss auf dem Android-Endgerät und der Hardware vorgenommen werden. Eine erste Bluetooth-Kommunikation zwischen der Hardware und der Applikationen ist implementiert.
4. Das bestehende Energiemanagement soll auf die Anwendung eines Fahrradcomputers optimiert werden.
5. Die Benutzeroberfläche der Android-Applikation soll benutzerfreundlich und optisch ansprechend gestaltet werden.
6. Die erfassten Messwerte der Geschwindigkeit und der aktuellen Höhe sollen über Bluetooth übermittelt werden.
7. Die erfassten Daten sollen gespeichert und nur dann übertragen werden, wenn die nötige Energie vorhanden ist.
8. Per GPS soll die aktuelle Position ermittelt, sowie die bereits abgefahrte Route erfasst werden. Alles soll auf einer Karte veranschaulicht werden.
9. Die Beschleunigung, Luftfeuchtigkeit und Temperatur sollen ebenfalls erfasst und über Bluetooth übermittelt werden.
10. Das Energiemanagement soll für verschiedene Geschwindigkeiten optimiert werden.

Für diese Bachelorarbeit sind die Punkte a) bis f) als Minimalanforderungen zu verstehen, während sich die Punkte f) bis j) dynamisch und in Abhängigkeit des Projektfortschritts gestalten lassen.

Aus diesen Anforderungen entstand der im Anhang B abgelegte Projektplan.

1.3 Übersicht der Arbeit oder Aufbau der Dokumentation

Graphisch (mit Kasten) darstellen ?

Am Anfang steht die Inbetriebnahme des Vorab-Exemplars. Dann: Energie-Verwendung optimieren. Daraus ergeben sich ... Dann der Print. Dann die Kommunikation ..

Kapitel 2

Theoretische Grundlagen

2.1 Energy Harvesting mit Bewegungsinduktion

Erwähnen: HarvesterSchaltung ist durch Machbarkeitsstudie vorgegeben. Kurze Einführung die optimierte Schaltung.

2.2 Energy Management für die gewonnene Energie

In der Bachelorarbeit ist bei der Umsetzung des Energymanagements der Chip EM8500 vorgegeben. Dieser IC ist von EM Microelectronics aus Marin (NE) entwickelt.

Energy Management bezeichnet das Regeln von Energiezuständen, damit ein Optimum an Leistung aus einer Quelle bezogen werden kann.

Zu diesem Chip ist das Evaluation-Board EMEVB8500 (im Text mit EVB abgekürzt) entwickelt, welches das Aufsetzen eines energieoptimierten Systems unterstützt.

2.2.1 Regelung des optimalen Leistungsbezugs

Wichtigster Punkt in der Energieoptimierung ist das Maximum aus der produzierten Energie herauszuholen. Die maximale Leistung ergibt sich beim MaximumPowerPoints (MPP), dem Punkte, an denen am effizientesten Leistung bezogen werden kann. Das EVB versucht die Quelle stets in der Nähe dieses Optimums zu betreiben. Dies geschieht über eine Innenwiderstand-Regelung, sodass die Eingangsleistung möglichst dem MPP entspricht.

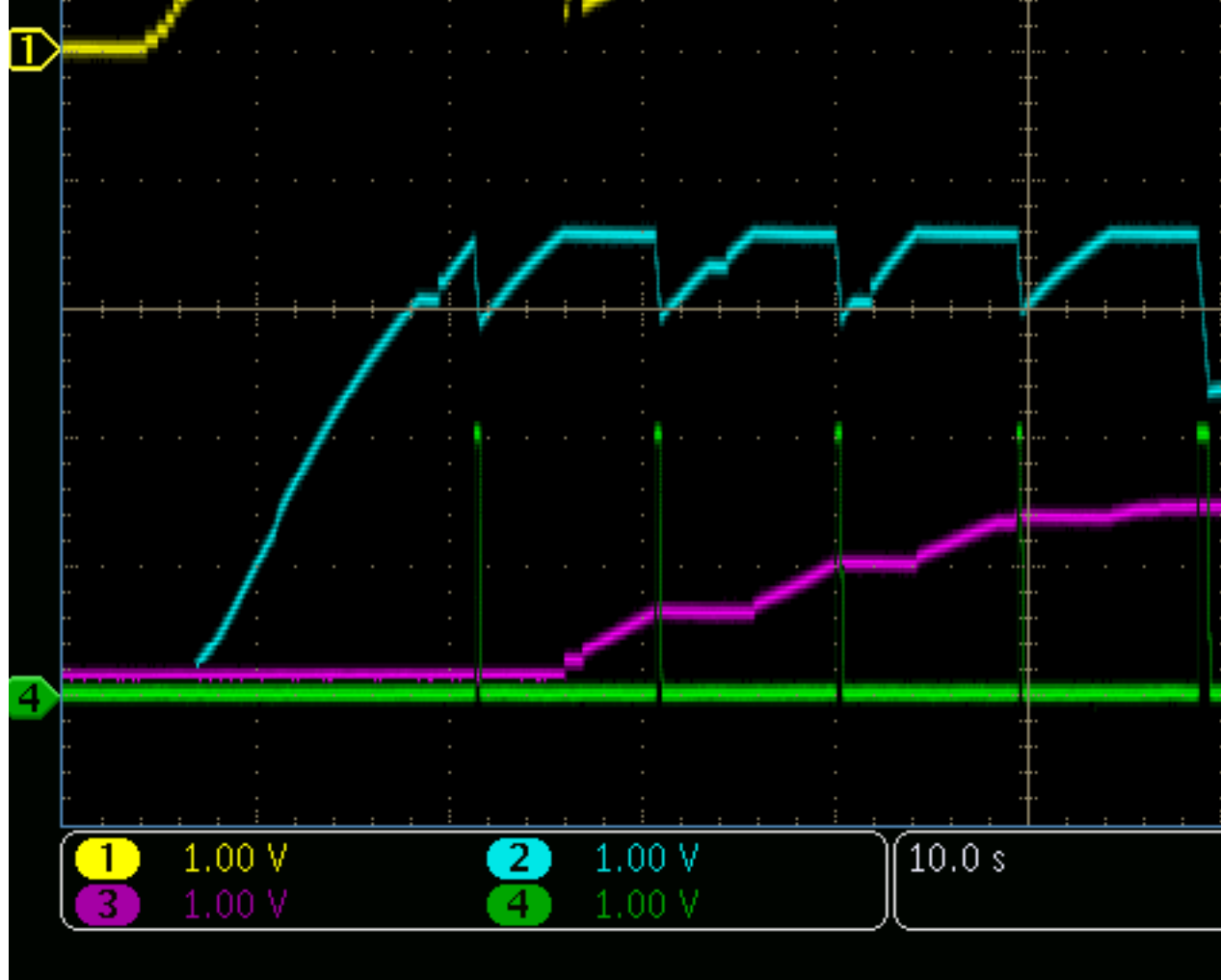


Abbildung 2.2: Spannungswerte Modell der Machbarkeitsstudie

Zweite Aufgabe beim Energiemanagement ist eine konstante Eingangsspannungen zu erzwingen. Das System kontrolliert periodisch den aktuellen (unregulierten) Spannungswert der Harvestingquelle. Hat sich der Wert mehr als 37 mV gegenüber der zur Zeit aktuellen Regelspannung geändert, wird der neue Wert als Spannungsreferenz zum Regeln genommen. Die Abbildung C.1 zeigt das Anpassen der Spannungslevel alle s. Die periodischen Kontrollmessungen alle 8 s verursachen kurze Spannungsspitzen. Diese entstehen bei der Kurzschlussmessung, für den aktuellen Stromwert.

Entsprechen die Konfigurationen auf dem EVB nicht dem Verhalten der Eingangsquelle, so entstehen keine konstanten Spannungswerte an der Harvestingquelle, was Abbildung 2.2 zeigt.

Dritter Punkt ist der Aufbau von Energiespeichern. Diese sollen so viel Energie speichern, wie eine gewisse Aktion braucht. Das Energiemanagmenet kennt für jede Aktion den Energieverbrauch und löst, bei genügend Speicherenergie eine Aktion laufen (siehe Berechnung der Kondensatoren).

Das Berechnen der Schwellwerte und der Kondensatoren detaillierter in Kapitel XXXXS.

Energiestände kontrollieren

Sobald genügend Startenergie bereit steht, wacht der EM8500-Chips auf. Neben dem Setzen der Konfigurationen aus dem EPROM kontrolliert der Chip als erstes den aktuellen Speicherzustand der angeschlossenen Speicher.

Die Energiequelle wie auch die angeschlossenen Speicher haben eigene Pins, die ihren Zustand übermitteln (EMMicroelectronic (2015), p.11).

Kommunikationsschema ?

2.3 Low Power Microcontroller von Texas Instruments

Zur Verwaltung der gegebenen Energie ist der Microcontroller gegeben. Es handelt sich um einen Cortex M3, der sich auf dem Sensortag von Texas Instruments befindet. Die zentralen Eigenschaften dieses Boards und die Funktionsblöcke befindet sich im Anhang C.

2.3.1 Fähigkeiten eines Low Power Microcontrollers

Low Power Microcontroller können Gebiete des Prozessors oder von Peripherieelementen temporär ausschalten. Das System befindet sich im Standby Modus. Nur die für die Applikation unabdingbaren Aktivitäten laufen mit niederstem Takt weiter. Über Interrupts können einzelne Bereich aufgeweckt werden, die ihre Aktionen ausführen und danach geht das System wieder in den Standby Modus.

Bild: Energie-Langzeitmessung BLE versenden Beschriften mit aktiv und standby modus

Zu den unabdingbaren Aktivitäten eines laufenden Microcontrollers gehört das Refreshen (Neuladen) der Register mit den Systemeinstellungen. Diese Refreshing-Peaks sieht man im Standby Modus.

2.4 Aufsetzen des Low Power Microcontrollers

(Die Low-Power Programmbeispiele von TI basieren auf RTOS, ebenso die Dokumentation zu Low Power Applikationen, was zu viel Energie verbraucht (korrekt, wie belegen?).)

Konfiguration der CPU (system.h, config.h) Einstellungen Active Mode: Sensoren, Wireless Processor, SPI-Kommunikation

Einstellungen sleep Mode: Abstellen
PowerDomain ausschalten Clk
GPiO Konfigurieren (gpio.h, board.h) Event anstelle von Interrupt Synchronisation timer, oder systick oder GPiO signal. Wake up
Aktivitäten aufsetzen

2.5 Bluetooth Low Energy

Kapitel 3

Vorgehen

Model der Machbarkeitsstudie ausmessen und Entwicklungspunkte definieren.

3.1 Inbetriebnahme des Modells der Machbarkeitsstudie

Mit der in der Projektarbeit entwickelten Harvesterschaltung kann per Bluetooth Smart auf dem Android-Endgerät die Geschwindigkeit ausgegeben werden. Bei der Inbetriebnahme zeigten sich folgende Grenzen im gegebenen Modell:

1. Zu hoher Kondensator vor Energiemanagementschaltung gefährdet deren Stabilität
2. Konfiguration auf Energiemanagementboard sind nicht auf Energieharvesterschaltung angepasst

Kapazität für Harvesting-Schaltung verbessern

In der Machbarkeitsstudie ist nach dem Gleichrichter ein Kondensator von 470 F nachgeschaltet. Dieser glättet die Spannungspulse nach dem Gleichrichter zu einer DC-ähnlichen Spannung mit Rippeln.

Mit einem Kondensator von 470 F wird die Ausgangsspannung der Harvesterspannung fast rippelfrei. Die Rippelspannung beträgt 3.2 mV (siehe Abbildung 3.1).

Gemäss Ives **XXXXXX** von EM Microelectronics sollten Kondensatoren der Harvesterschaltung im Bereich von 4.7 F liegen, sodass die Energiemanagementschaltung ordnungsgemäss funktioniert.

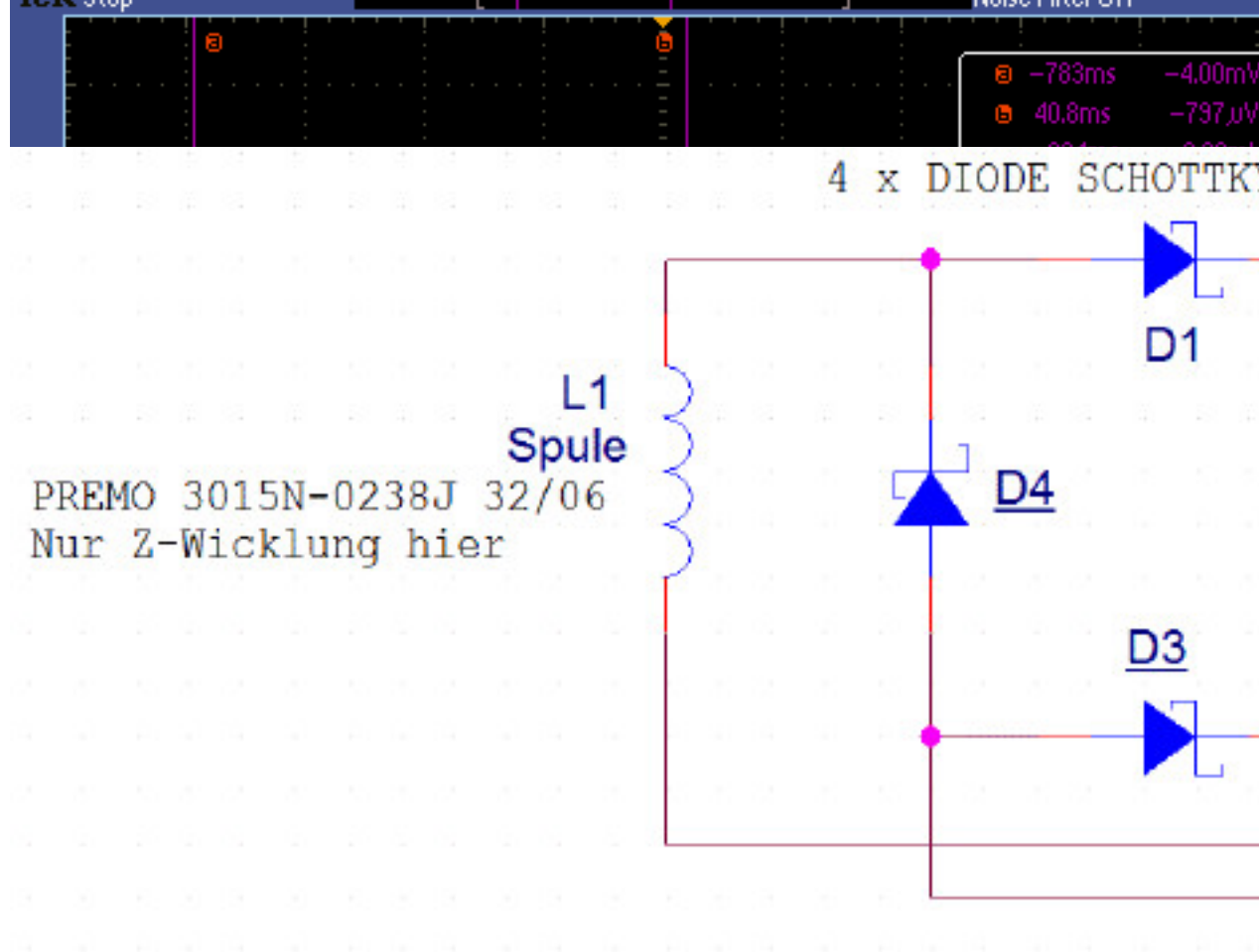


Abbildung 3.2: Messschaltung

Aus diesem Grund wird die Rippelspannung am Ausgangs der Harvester-schaltung mit kleineren Kondensatoren gemessen. Das Messprotokoll befindet sich im Anhang.

Messaufbau

In der gegebenen Harvesterschaltung wird am Kondensator die Spannung mit einem Kathodenstrahloszilloskop (KO) gemessen. Ausgehend vom bestehenden Kondensator (470 uF), werden danach Elektrolytkondensatoren (Elko) mit den Werten 100 F, 47 F und 10 F gemessen.

Resultat

Die Rippelspannung erhöht sich wie erwartet. V_{pp} beträgt bei 100 uF **xx** mV, bei 47 uF 28.8 mV (siehe Abbildung 3.4) und bei 10 uF 320 mV (Abbildung 3.3).

Messungen Energy Management Board

In der Projektarbeit findet sich auf S. 36 folgende Abbildung 3.5 zu den Spannungswerten des Modells der Machbarkeitsstudie.

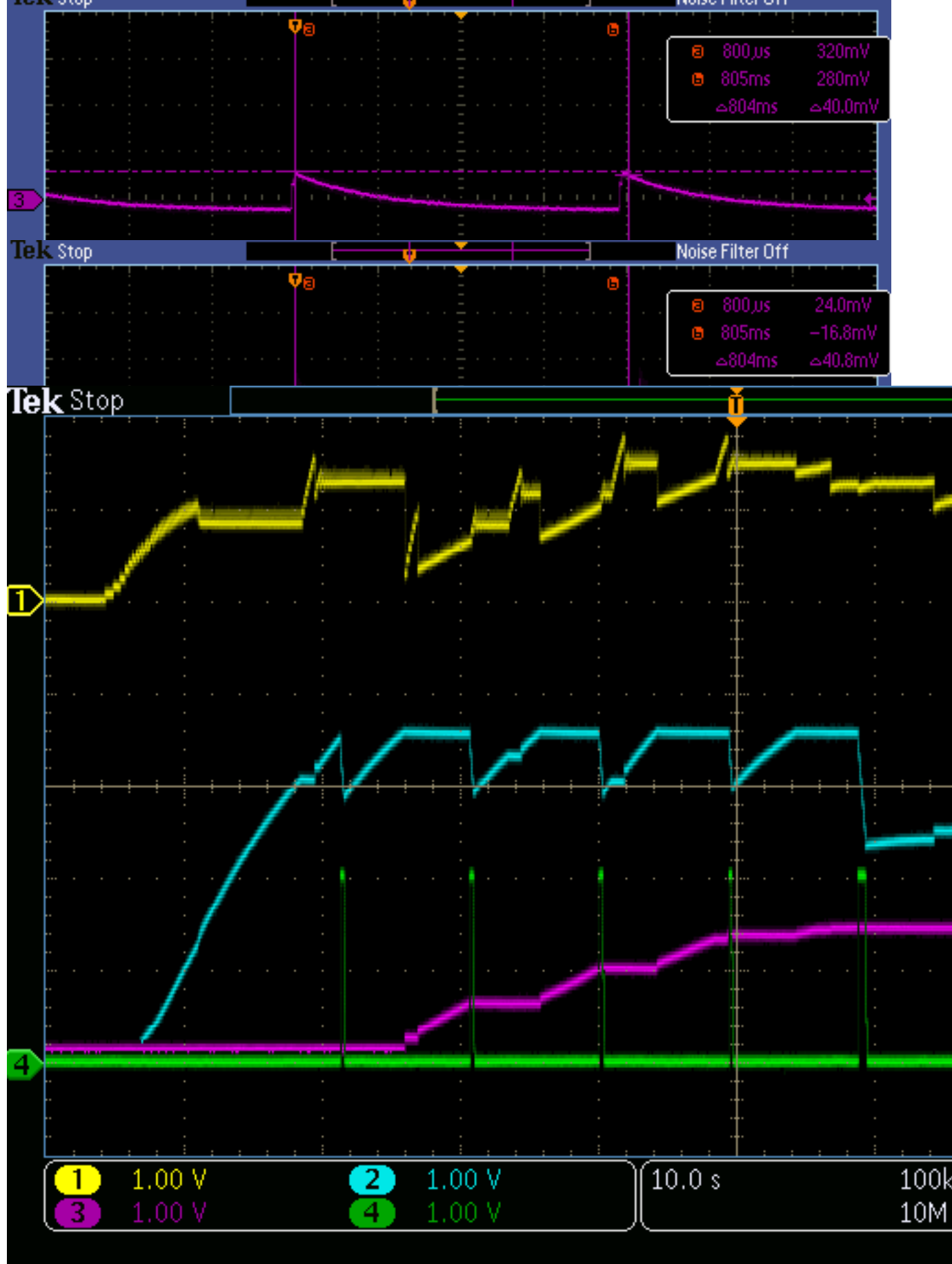


Abbildung 3.5: Spannungswerte Modell der Machbarkeitsstudie

Und es zeigt sich, dass das EM-Board nicht zu regulieren beginnt. Damit das Energiemanagement funktioniert, muss der Wert XXXX erreicht werden. Da dieser Wert nicht erreicht wird, passt die Energiemanagementschaltung den Innenwiderstand nicht auf.

Zum korrekten Einstellen des Energiemanagements braucht es eine MaximumPowerPointT Ratio.

3.2 Layout Print

Die Spule ist gegeben.

3.2.1 Bauteiloptimierung

Der Glättungskondensator wird auf 47 uF geändert. Daneben führten nachfolgende Messung zu nachfolgender Bauteiloptimierungen.

Limitier mit weniger Leckstrom

Der Limiter in der Machbarkeitsstudie besteht aus 3 Dioden. Die verwendete Dioden haben, wie alle Halbleiterelemente, einen Leckstrom.

Leckstrom Dioden als Limiter

Leckstrom bei LDO

Gleichrichter für LowPower

3.3 Energie Management

3.3.1 Energiekalkulation

Die Energie der Quelle $[E_{HRV}^-]$ muss ausreichen für das Versenden der Datenpakete über Bluetooth smart $[E_{BLE}^-]$.

$$E_{HRV}^- \geq E_{BLE}^-$$

Die durchschnittliche maximale Leistung der Quelle kann aus der Abbildung 3.3.1 entnommen werden. Diese basiert auf dem Messprotokoll im Anhang D. Da die produzierte Energie von der Fahrgeschwindigkeit abhängt, wird das Energie-System in drei Zustände eingeteilt:

- tiefe Geschwindigkeit: 0 - 10 km/h

- mittlere Geschwindigkeit: 10 - 20 km/h
- hohe Geschwindigkeit: grösser als 20 km/h

Leistungsabgabe Harvester-Schaltung

Geschwindigkeit [km/h]	Maximale Leistung [μW]
10	74.4
20	unbekannt
40	unbekannt

Der Energieverbrauch hängt von der Anzahl ausgelesener Daten ab. Wird nur die Geschwindigkeit übermittelt, ist der Verbrauch kleiner, als wenn zusätzlich die Temperatur und die Höhe mitgesendet werden.

Energieverbrauch BLE-Pakete versenden

Anzahl Inhalte	Energieverbrauch [μJ]
1	11000
2	unbekannt
3	unbekannt

(Für die Zuverlässigkeit der Datenübermittlung wird jeweils dasselbe Paket über drei Kanäle gesendet. Wenn hier „1 Inhalt versenden“ steht, meint dies, ein Paket über drei Kanäle senden.)

Berechnung

$$E_{HRV}^- = \bar{P} * t \geq E_{BLE}^- P_{10km/h}^- * t = 11000$$

$$E_{HRV}^- = P_{10km/h}^- * t \geq E_{BLE}^-$$

$$E_{HRV}^- = P_{10km/h}^- * t \geq E_{BLE}^-$$

3.4 Low Power Einstellungen Sensortag

Kapitel 4

Firmwareentwicklung

Gearbeitet wird mit einem Cortex M3 von TI. Grundsätzlich basieren die Bsp. auf RTOS. Wenige für PowerManagement. Das Powermanagement bezieht sich auf RTOS Kernel.

4.0.1 VO: SimpleBroadcast

Gestartet mit simpleBLE-Projekt von TI mit Einstellungen von Assistenten vom Ines.

- Configure ccfg.c to use internal LF RCOSC
- Configure WAKE INTERVAL
- Configure recharge period to 400ms if WAKE INTERVAL is larger than 400ms(ish)
- Configure IO's and set up advertisment payload

Allgemeine Einstellungen in der Konfigurationsdatei ccfg.c: $V_{min} = 2.25$
 $V_{Imax} = 39 \text{ mA}$

```
Einstellungen in config.h // GPIO to be used # define IO_A IOID_0
#define IO_B IOID_1 #define IO_C IOID_2 #define IO_D IOID_3 #define
IO_E IOID_4
```

```
// RTC wakeup interval #define WAKE_INTERVAL_MS 1000 #define
WAKE_INTERVAL_TICKS WAKE_INTERVAL_MS*65536 / 1000
```

```
// Advertisment payload length in bytes #define ADVLEN 10
Gehen in den Standby modus. Wird eingestellt über die Datei pwr_ctr.c
/h
```

Dort stehen alle Handlungen, die das System macht, um in den Standby-Modus zu gelangen.

4.1 Kommunikation Bluetooth Low Energy

4.2 Applikationsentwicklung

4.3 Option 1

Kapitel 5

Verzeichnisse

5.1 Literatur

EMMicroelectronic. *EM8500, Power Management Controller with energy harvesting interface*. Datasheet, 2015. V 1.0.

D. S. Roman Schneider. Bicycle computer and sensoric powered with harvested energy. Projektarbeit, ZHAW School of Engineering, 2015.

5.2 Glossar und Abkürzungen

Clock Domain

Ein Bereich der Hardware, der mit demselben Takt läuft.

5.3 Abbildungsverzeichnis

5.4 Tabellenverzeichnis

Anhang A

Ausschreibung Bachelorarbeit

Anhang B

Projektplanung

Anhang C

Referenz Sensortag von Texas Instrument

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sind nicht Microcontroller für Low Power Anwendungen zu evaluieren. Das Sensortag von Texas Instrument ist vorgegeben und beinhaltet für die Entwicklung des Bicycle Computer bereits mehrere Eigenschaften auf einem Borad vereint:

- Bestückt mit 10 Sensoren
- Bestückt mit einem zweiten Cortex für die Wireless-Anbindung. Dadurch leichtes Wechseln der Kommunikationsart von Bluetooth smart auf z.B. Zigbee.
- Hohe Rechenleistung

C.1 Blockschema Sensortag

?S.3

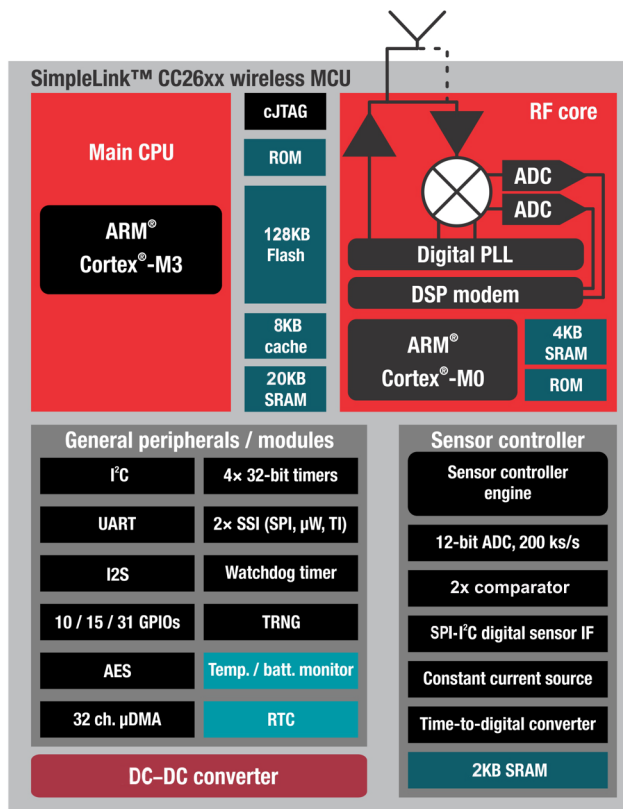


Abbildung C.1: Blockschema Sensortag

Anhang D

Messprotokoll

Energiegewinnung Harvester

VIIIANHANG D. MESSPROTOKOLL ENERGIEGEWINNUNG HARVESTER

Anhang E

Messprotokoll

Energieverbrauch Sensortag

XANHANG E. MESSPROTOKOLL ENERGIEVERBRAUCH SENSORTAG

Anhang F

Messprotokoll Rippelspannung
Ausgangskondensator
Harvesterschaltung