

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Online lokalizace mobilních objektů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr ŠRÁMEK**
Osobní číslo: **E13N0133P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**
Název tématu: **Online lokalizace mobilních objektů**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte vhodné metody pro lokalizaci mobilních objektů (automobil, motocykl atd.) a možnosti online přenosu lokalizačních a dalších stavových údajů na server. Prostudujte možnosti zpracování získaných dat v reálném čase na straně serveru (PHP, JavaScript, SQL atd.) a způsob prezentace těchto dat uživateli (Google Maps api a jiné). Do úvah zahrňte možnost ovládní lokalizační jednotky na dálku uživatelem.
2. Vyberte vhodné technické prostředky pro realizaci lokalizačního zařízení na základě informací získaných z předchozí rešerše.
3. Navrhněte hardware a příslušný software lokalizačního zařízení. Vytvořte jednoduché online uživatelné rozhraní.
4. Zhodnoťte realizované řešení, celou práci podrobně popište a důkladně zdokumentujte.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

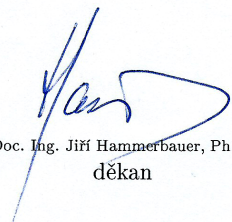
Vedoucí diplomové práce:

Ing. Radek Šalom

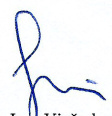
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá zařízením pro online lokalizaci mobilních objektů, například automobil. Součástí této diplomové práce je i vytvoření jednoduchého webového rozhraní pro vizualizaci a ovládání zařízení. První část práce se zabývá výběrem součástek i mapových podkladů. Další popisuje praktickou realizaci zařízení, jak po stránce software, hardware tak i webového rozhraní. Poslední část této práce popisuje funkci zařízení v jednotlivých režimech a také se zabývá měřením spotřeby zařízení.

Klíčová slova

Lokalizace, STM32L100, MSP430G2553, SIM908, GPS, GSM, GPRS, mapy, PHP, MySQL, JavaScript

Abstract

This master thesis is focused on device for online tracking of mobile objects such as a car. A part of this master thesis is designing an easy online interface for visualization and controlling of the device. The first part of master thesis deals with the choice of components and application programming interface, then describes realization of the device. It describes a software, a hardware and an online interface – website. The last part of thesis explains functions of the device in individual modes and it is showed graph of power consumption.

Key words

Localization, STM32L100, MSP430G2553, SIM908, GPS, GSM, GPRS, maps, PHP, MySQL, JavaScript

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
Podpis

V Plzni dne 9.5.2015

Petr Šrámek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Radku Šalomovi za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	VIII
SEZNAM TABULEK	IX
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	X
1 ÚVOD.....	1
1.1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	1
1.2 MOŽNOSTI A TYPY LOKALIZACÍ	1
1.3 ZAŘÍZENÍ PRO ONLINE LOKALIZACE MOBILNÍCH ZAŘÍZENÍ	1
1.4 POUŽITÍ NAVRHOVANÉHO ZAŘÍZENÍ	2
2 HARDWARE ZAŘÍZENÍ PRO ONLINE LOKALIZACI A VÝBĚR API	2
2.1 VÝBĚR API MAPOVÝCH PODKLADŮ.....	2
2.1.1 <i>API mapových podkladů Seznam</i>	2
2.1.2 <i>API mapových podkladů Google</i>	2
2.2 VÝBĚR NABÍJECÍHO OBVODU, SPÍNANÝCH ZDROJŮ A ZDROJŮ ENERGIE.....	2
2.3 VÝBĚR BEZDRÁTOVÉHO MODULU PRO KOMUNIKACI MEZI KLÍČENKOU A ZAŘÍZENÍM V HLÍDANÉM OBJEKTU	4
2.4 VÝBĚR AKCELEROMETRU	5
2.5 VÝBĚR TEPLOTNÍHO SENZORU	6
2.6 VÝBĚR GSM/GPRS A GPS MODULU.....	7
2.7 VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU PRO ZAŘÍZENÍ V AUTOMOBILU	8
2.7.1 <i>Obecný popis mikrokontroléru</i>	9
2.7.2 <i>Programovací rozhraní</i>	9
2.7.3 <i>Hodinový systém mikrokontroléru</i>	10
2.7.4 <i>Low-power režimy [20]</i>	10
2.8 VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU PRO KLÍČENKU	11
2.8.1 <i>Obecný popis mikrokontroléru MSP430G2553</i>	11
2.8.2 <i>Programovací rozhraní</i>	12
2.8.3 <i>Hodinový systém mikrokontroléru</i>	13
2.8.4 <i>Low-power režimy</i>	13
3 REALIZACE ZAŘÍZENÍ.....	14
3.1 PRAVIDELNÁ KONTROLA POZICE POMOCÍ CID BTS.....	14
3.2 PRŮBĚH FUNKCE ZAŘÍZENÍ V AKTIVNÍM REŽIMU.	16
3.3 POPIS FUNKCE KLÍČENKY.....	17

3.4	POPIS HARDWARU KLÍČENKY.....	17
3.5	POPIS SOFTWARE KLÍČENKY	18
3.6	POPIS HARDWARU ZAŘÍZENÍ V HLÍDANÉM OBJEKTU	18
3.7	POPIS SOFTWARE ZAŘÍZENÍ V HLÍDANÉM OBJEKTU.....	22
3.7.1	<i>Knihovna uart_SIM908</i>	22
3.7.2	<i>Knihovna SIM908</i>	22
3.7.3	<i>Knihovna I2C1</i>	25
3.7.4	<i>Knihovna pro ADXL312 a AD7415</i>	25
3.7.5	<i>Knihovna spi1_nrf</i>	26
3.7.6	<i>Knihovna LPM</i>	26
3.7.7	<i>Hlavní soubor main.c</i>	26
3.8	WEBOVÁ ADMINISTRACE.....	28
3.8.1	<i>Soubor index.php</i>	28
3.8.2	<i>Soubor config.php</i>	28
3.8.3	<i>Soubor create_table.php</i>	28
3.8.4	<i>Soubor get.php</i>	29
3.8.5	<i>Soubor set.php</i>	30
3.8.6	<i>Soubor settings.php</i>	30
3.8.7	<i>Soubor setdevice.php</i>	31
3.8.8	<i>Soubor position.php</i>	31
3.8.9	<i>Soubor maps.php</i>	31
3.8.10	<i>Soubor data.php</i>	33
3.8.11	<i>Soubor menu.php</i>	34
3.8.12	<i>Soubor info.php</i>	34
3.8.13	<i>Soubor change.php</i>	34
3.8.14	<i>Soubor login.php</i>	35
3.9	ENERGETICKÁ NÁROČNOST KLÍČENKY	35
3.9.1	<i>Teoretické spotřeba</i>	35
3.9.2	<i>Praktické měření spotřeba</i>	36
3.10	ENERGETICKÁ NÁROČNOST TRACKERU	39
3.10.1	<i>Teoretické spotřeba</i>	39
3.10.2	<i>Praktické měření spotřeby</i>	40
4	ZÁVĚR	47
	LITERATURA	49
	PŘÍLOHY	52
	A BLOKOVÉ SCHÉMA STM32L100	52
	B SCHÉMA ZAPOJENÍ KLÍČENKY	53

C DESKA PLOŠNÉHO SPOJE KLÍČENKY.....	54
D SCHÉMA ZAPOJENÍ MIKROKONTROLÉRU STM32L100.....	55
E SCHÉMA ZAPOJENÍ MODULU SIM908.....	56
F SCHÉMA ZAPOJENÍ ZBYLÝCH SOUČÁSTÍ ZAŘÍZENÍ.....	57
G DESKA PLOŠNÉHO SPOJE TRACKERU	59

Seznam obrázků

OBRÁZEK 2.2: KONCEPT NAPÁJENÍ ZAŘÍZENÍ	3
OBRÁZEK 2.4: BLOKOVÉ SCHÉMA AKCELEROMETRU ADXL312 [13]	6
OBRÁZEK 2.5: BLOKOVÉ SCHÉMA PŘEVODNÍKU AD7415 [14]	7
OBRÁZEK 2.8.1: BLOKOVÉ SCHÉMA MSP430G2553 [23]	12
OBRÁZEK 2.8.2A: PROGRAMOVACÍ KONEKTOR JTAG PRO MSP430GXXXX[26]	12
OBRÁZEK 2.8.2B: PROGRAMOVACÍ KONEKTOR SBW PRO MSP430GXXXX[26]	13
OBRÁZEK 3.1: PRAVIDELNÁ KONTROLA POZICE POMOCÍ CID BTS A PŘÍJEM INSTRUKCÍ	15
OBRÁZEK 3.2: PRŮBĚH V AKTIVNÍM REŽIMU	16
OBRÁZEK 3.3: POPIS FUNKCE KLÍČENKY	17
OBRÁZEK 3.4: BLOKOVÉ SCHÉMA KLÍČENKY	17
OBRÁZEK 3.5A: BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ V HLÍDANÉM OBJEKTU	18
OBRÁZEK 3.6: VSTUPNÍ OBVODY ZAŘÍZENÍ	19
OBRÁZEK 3.5B: ZAPOJENÍ GSM/GSP MODULU A SIM KARTY[17]	20
OBRÁZEK 3.5C: OVLÁDÁNÍ STEP-DOWN MĚNIČE	21
OBRÁZEK 3.5D: SKOKOVÁ REGULACE NABÍJECÍHO PROUDU AKUMULÁTORU	21
OBRÁZEK 3.8.9: ZOBRAZENÍ BODŮ PŘI LOKALIZACI	33
OBRÁZEK 3.8.10: PŘÍKLAD VÝPISU DAT	34
OBRÁZEK 3.9.2A: VYSÍLÁNÍ PŘI VÝKONU -18DBM A RYCHLOSTI 250KBPS	36
OBRÁZEK 3.9.2B: VYSÍLÁNÍ SPOLEČNĚ S BLIKUTÍM LED	37
OBRÁZEK 3.9.2C: ODBĚR VYSÍLACÍHO MODULU PŘI VÝKONU 0DBM A RYCHLOSTI 2MBPS	37
OBRÁZEK 3.9.2D: ODBĚR USPANÉ KLÍČENKY	38
OBRÁZEK 3.9.2E: PRŮBĚH ODEBÍRANÉHO PROUDU KLÍČENKOU	38
OBRÁZEK 3.9.2F: VÝPOČET SPOTŘEBY KLÍČENKY	39
OBRÁZEK 3.10.2A: POŽADAVEK NA ZMĚŘENÍ TEPLoty A NÁSLEDNÝ ONE-SHOT PŘEVOD	40
OBRÁZEK 3.10.2B: ZOBRAZENÍ PRŮBĚHU PŘI MĚŘENÍ AKCELERACE	41
OBRÁZEK 3.10.2C: ODBĚR VE VYPNUTÉM REŽIMU SE ZAPOJENOU ANTÉNOU	42
OBRÁZEK 3.10.2D: PŘIPOJOVÁNÍ MODULU K MOBILNÍ SÍTI	42
OBRÁZEK 3.10.2E: PRŮBĚH PŘI ODESÍLÁNÍ SMS	43
OBRÁZEK 3.10.2F: PRŮBĚH PŘI PŘIJMU DAT	43
OBRÁZEK 3.10.2G: PRŮBĚH ODBĚRU PROUDU V KLIDOVÉM REŽIMU PO ZAPNUTÍ	44
OBRÁZEK 3.10.2H: ODBĚR PŘI PRAVIDELNÉ KONTROLE	44
OBRÁZEK 3.10.2I: PRŮBĚH ODBĚRU PŘI ZAPNUTÍ GPS	45
OBRÁZEK 3.10.2I: ODBĚR ZAŘÍZENÍ PŘI PRAVIDELNÉ KONTROLE	46
OBRÁZEK 3.10.2J: TABULKA VYPOČTENÝCH HODNOT ODBĚRU	46

Seznam tabulek

TABULKA 2.2A: PŘEHLED PARAMETRŮ RŮZNÝCH TYPŮ AKUMULÁTORŮ.....	3
TABULKA 2.2B: PŘEHLED PARAMETRŮ VYBRANÝCH OBVODŮ	4
TABULKA 2.3 PŘEHLED BEZDRÁTOVÝCH MODULŮ	5
TABULKA 2.4: PŘEHLED AKCELEROMETRŮ.....	5
TABULKA 2.5: PŘEHLED TEPLOTNÍCH ČIDEL	6
TABULKA 2.6A: ZÁKLADNÍ PARAMETRY GPS A GSM/GPRS MODULU SIM908[17].....	7
TABULKA 2.6B: PARAMETRY DUÁLNÍ ANTÉNY [18].....	8
TABULKA 2.7 : VÝBĚR MIKROKONTROLÉRŮ A JEJICH VLASTNOSTI	8
TABULKA 2.8: VÝBĚR MIKROKONTROLÉRŮ A JEJICH VLASTNOSTI	11
TABULKA 2.8.4: PŘEHLED LOW POWER REŽIMŮ	14
TABULKA 3.7.7: SEZNAM PŘÍKAZŮ.....	27

Seznam symbolů a zkratek

API	A pplication P rogramming I nterface
Li-Pol	L ithium-ion P olymer
EEPROM	E lectrically E rasable P rogrammable R ead- O nly M emory (elektricky mazatelná programovatelná paměť)
FLASH	Typ paměti vycházející z paměti EEPROM
UART	U niversal A synchronous R eciever T ransmitter (univerzální asynchronní přijmač vysílač)
I ² C	I nter- I ntegrated C ircuit
SPI	S erial P eripheral I nterface
RTC	R eal T ime C lock (hodiny reálného času)
RAM	R echargeable A lkaline M anganese (nabíjecí alkalické baterie na bázi oxidu manganičitého)
LPM	L ow P ower M ode (režim nízké spotřeby)
RISC	R educed I nstruction S et C omputing (mikrokontroléry s redukovanou instrukční sadou)
DMA	D irect M emory A ccess (přímý přístup do paměti)
BOD	B rown- o ut D etektor (analogový obvod chránící mikrokontrolér před poklesem napájecího napětí pod definovanou úroveň)
JTAG	J oin T est A ction G roup
SWD	S erial W ire D ebugging
USCI	U niversal S erial C ommunication I nterface
SBW	S py- b i W ire (dvouvodičový JTAG)
DCO	D igitally C ontrolled O scillator (digitálně řízený oscilátor)
ACLK	A uxiliary C lock (pomocné hodiny)
MCLK	M aster C lock (hlavní hodiny)
SMCLK	S ub- S ystem M aster C lock (podsystemové hlavní hodiny)
LFXT1CLK	L ow- f requency/ h igh- f requency oscillator (nízkofrekvenční/vysokofrekvenční oscilátor)
IDE	I ntegrated D evelopment E nvironment
GIE	G lobal I nterrupts E nable (globální povolení přerušení)
GSM	G lobální S ystém pro M obilní komunikaci
GPS	G lobal P ositioning S ystem

GPRS	General Packet Radio Service (služba pro přenos dat)
POR	Power-on Reset (resetuje zařízení po náběhu napájení)
PDR	Power-down Reset (resetuje zařízení při snížení napětí pod danou úroveň)
BOR	Brown-out Reset (reset vyvolaný kolísáním napájecího napětí)
PVD	Programmable Voltage Detector (programovatelný napěťový detektor)
PLL	Phase Lock Loop (fázový závěs)
GPIO	General Purpose Input Output
EXTI	External Interrupts (externí přerušení)
BTS	Base Transceiver Station (základnová stanice)
AP	Access Point (přístupový bod)
IP	Internet Protocol

1 Úvod

1.1 Cíl diplomové práce

Cílem této diplomové práce je navržení hardwaru a softwaru zařízení pro online lokalizaci mobilních objektů jako je automobil nebo motocykl. Další součástí diplomové práce je vytvoření jednoduché webové administrace a vytvořit tak možnost vzdáleného ovládání zařízení skrze internetový. Diskutovat realizované zařízení a podrobně jej popsat.

1.2 Možnosti a typy lokalizací

Nejčastějším typem lokalizace je pomocí GPS. To je logické řešení vzhledem k velmi přesnému zaměření (pokud má zařízení přímý výhled a není stíněno popřípadě se nenachází ve městě s hustou zástavbou – mrakodrapy atp.).

K dostání jsou i další zařízení, které objekt zaměřují pouze pomocí GSM respektive BTS. K určení polohy se používají data z BTS a ty jsou pak odeslána k operátorovi, který vyhodnotí přibližnou polohu zařízení. Tímto způsobem je ale nutná spolupráce s operátorem. Tento způsob vyhledání polohy je však operátorem zpoplatněn a zdaleka se nepřibližuje přesnosti lokalizace pomocí GPS. Na druhou stranu, v případě, že GPS modul nemá přímý výhled na satelity, je toto možná varianta lokalizace.

Posledním, nejčastějším, typem lokalizace je vysílač umístěný v objektu vysílající na specifické frekvenci a zaměřování poté probíhá za pomoci dalších, vyhledávacích, objektů firmy hlídající daný objekt.

1.3 Zařízení pro online lokalizace mobilních zařízení

Tímto pojmem je myšleno zařízení (dále jen „tracker“), které podle senzorů nebo na vyžádání začne zaznamenávat polohu a další údaje důležité pro lokalizaci objektu. Pokud zařízení rozpozná možný pokus o odcizení objektu, začne vyhledávat druhé zařízení (dále jen „klíčenka“), které obsahuje unikátní identifikátor a vysílá svůj jedinečný kód danému zařízení. V případě nalezení klíčenky se zařízení uvede do režimu spánku. V nastavitelných periodách pak zkontroluje, zda je klíčenka stále v dosahu. Pokud není klíčenka v dosahu, je aktivován GSM/GPS modul. Majitel je informován pomocí SMS o započeti sledování. Data s dalšími údaji ze zařízení jsou automaticky odesílána na server, který přichází data zpracuje a odešle data mapovým podkladům, které zobrazí aktuální polohu v mapě. Zařízení je dále

možno nastavit skrze webové rozhraní. Jak z textu vyplývá, byl zvolen návrh Server – Tracker – Klíčenka.

1.4 Použití navrhovaného zařízení

Použití tohoto zařízení je lokalizace objektu po jeho odcizení nebo upozornění majitele na možné poškození způsobené nárazem. Zařízení disponuje zálohovacím akumulátorem, který je schopen dodávat energii lokalizátoru i po odpojení hlavního akumulátoru vozidla.

2 Hardware zařízení pro online lokalizaci a výběr API

2.1 Výběr API mapových podkladů

Pro zobrazení aktuální polohy a dalších údajů ze zařízení bylo nutné vybrat vhodné API mapových podkladů. Bylo nutné uvažovat podporovaná území (Evropa či celý svět) a možnosti doplnění dalších informací přímo do mapy.

2.1.1 API mapových podkladů Seznam

Jedním z výběru byl i česká firma Seznam. V úvahu přišla především díky české podpoře a dobrým mapovým podkladům celé Evropy, přímořské státy Středomoří, evropské části Ruska a státy Blízkého východu.

Jedním z kladných aspektů těchto mapových podkladů jsou oficiální vzorové ukázky použití. Další výhodami je použití zcela zdarma i pro komerční účely a neomezené množství dotazů [1].

2.1.2 API mapových podkladů Google

Tyto mapové podklady podporují celý svět ve velmi detailním rozlišení. Umožňují použití zdarma (pro nekomerční účely), maximálně 25 000 dotazů (načtení map)/den kontinuálně po dobu 90 dní [2].

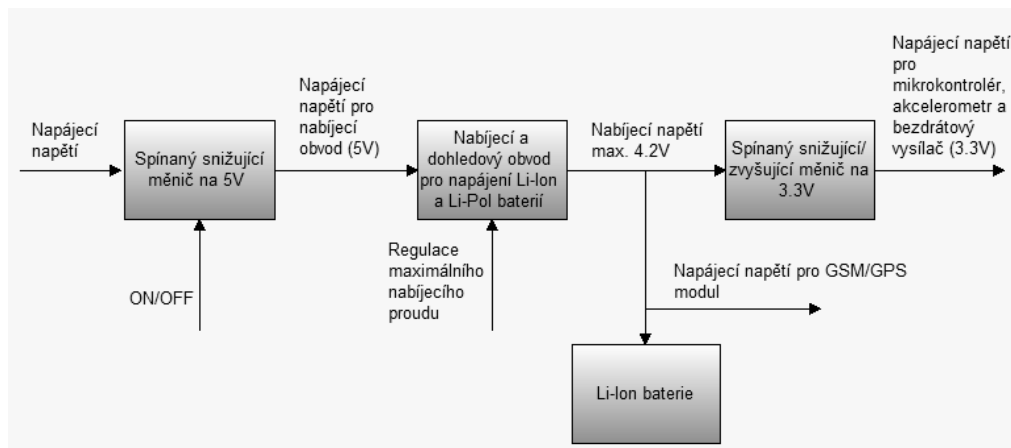
Toto API má větší možnosti nastavení a zobrazení než konkurenční API Seznamu. API také umožňuje větší variabilitu přijímaných dat (příjem GPS souřadnic ve více formátech).

Pro realizaci byla dána přednost API mapovými podkladům od firmy Google Inc.

2.2 Výběr nabíjecího obvodu, spínaných zdrojů a zdrojů energie

Na zdroj pro nabíjení tohoto zařízení jsou kladeny velmi vysoké požadavky. Musí být funkční ve velkém rozsahu napájecích napětí, které se nacházejí v automobilu nebo nákladním vozidle. Napájecí zdroj i nabíjecí obvod zálohovacího akumulátoru by měl mít

velmi malou vlastní spotřebu a co nejvyšší možnou účinnost. Také by měl být vypínatelný a schopen dodat vysoké proudy z důvodů proudových špiček při vysílání a příjmu GSM/GPS modulu. Z těchto důvodů byl vybrán tento koncept, který je zobrazen na následujícím Obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Koncept napájení zařízení

Z důvodů náročného prostředí v automobilu byl vybrán nejvhodnější typ akumulátoru, který splňoval největší část požadavků. Zejména nízké samovybití společně se schopností dodat špičkově až 2A a zároveň schopen pracovat v širokém pásmu teplot. V Tabulce 2.2a naleznete porovnání různých typů akumulátorů a jejich parametry.

Název	Li-Pol [3]	RAM [4]	NiMH [5]
Jmenovité napětí [V]	3.7	1.5	1.2
Nabíjecí napětí [V]	4.2	1.65	1.5
Samovybití [%/měsíc]	5	1	10
Teplotní rozsah – nabíjení [°C]	0 až 40	-20 až +60	0 až +50
Teplotní rozsah – vybití [°C]	-20 až +60	-20 až +60	0 až +50

Tabulka 2.2a: Přehled parametrů různých typů akumulátorů

Z výše uvedených důvodů byla vybrána technologie Li-Pol. Má nízké samovybití, netrpí paměťovým efektem a dokáže pokrýt vysoké proudové špičky. Velkou nevýhodou je nutnost nabíjení akumulátoru v teplotách od 0 od 40° C. To je však hlídáno mikrokontrolérem, který bude akumulátor nabíjet pouze při tomto teplotním rozsahu.

První spínaný měnič snižuje napětí z palubního napětí vozidla (24 nebo 12) na 5V. Tímto spínaným stabilizátorem je LM2576-ADJ, který umožňuje nastavit výstupní napětí pomocí odporového děliče napětí. Zařízení je však navrženo tak, aby bylo možné zapojit

přímo i LM2576-5.0V. Pro snížení vlastní spotřeby je obvod vypínán pomocí ON/OFF vstupu.

Tímto napětím je napájen nabíjecí a dohledový obvod pro Li-Ion (Li-Pol) akumulátor MCP73832T. Tento obvod obsahuje regulaci výstupního a nabíjecího proudu pomocí rezistoru. Velikost odporu je skokově měněna otevřením tranzistoru, který přemostňuje další rezistor a je zapojen v sérii s prvním rezistorem. Tím je docílena regulace nabíjení a v případě potřeby, aktivace GSM/GPS modulu, i dodání vyššího proudu.

Toto napětí (4.2V) je přivedeno do dalšího snižujícího měniče napětí, který vstupní napětí stabilizuje na 3.3V. Tímto napětím je napájen mikroprocesor STM32L100, bezdrátový modul NRF24L01+, akcelerometr ADXL312 a teplotní čidlo AD7415.

V klidovém režimu je tedy stabilizátor LM2576 deaktivován a o napájení se stará Li-Pol akumulátor. V okamžiku zapnutí GSM/GPS modulu, který je probouzen v pravidelném intervalu, je změřeno napětí akumulátoru.

V *Tabulce 2.2b* naleznete parametry vybraných obvodů.

Název	LM2576 [6]	MCP73832T [7]	ADP2108-3.3V [8]
Napájecí napětí [V]	Až 40V	3.75 až 6V	2.3 – 5.5
Výstupní napětí [V]	5V (pro 5V verzi)	4.2V	3.3
Teplotní rozsah [°C]	-40 až +125	-40 až +85	-40 až +125
Vlastní spotřeba [mA]	5	510 uA při nabíjení	18uA
Spotřeba v úsporném režimu [uA]	50	53uA (není baterie nebo nabíjení dokončeno)	0.2
Spínací frekvence [KHz]	52	-	3MHz
Účinnost [%]	77% (pro 5V i ADJ verzi)	-	95%

Tabulka 2.2b: Přehled parametrů vybraných obvodů

2.3 Výběr bezdrátového modulu pro komunikaci mezi klíčenkou a zařízením v hlídaném objektu

U výběru bezdrátového modulu byl, jako u všech dalších částí této diplomové práce, brán ohled na velmi nízkou spotřebu a potřebný dosah rádiového vysílání. Dosah modulu by měl být omezený na maximálně několik metrů, aby nenastala situace, kdy automobil bude odcizen, ale klíčenka se bude stále hlásit. Přepnutí do sledovacího režimu by tedy nastalo až při další periodě pravidelné kontroly přítomnosti klíčenky. Při výběru bylo také nahlíženo na to, aby modul komunikoval ve volném, tzv. bezlicenčním, pásmu.

V *Tabulce 2.3* můžete vidět porovnání mezi NRF24L01+ a RFM73S.

Název	NRF24L01+ [9]	RFM73-S [10]
Napájecí napětí [V]	1.9 – 3.6	1.9 – 3.6
Frekvenční pásmo [MHz]	2400 – 2483.5	2400 - 2483.5
Rychlost [Mbps]	0.25, 1, 2	0.25, 1, 2
Délka paketů [B]	Až 32	Až 32
Odběr v klidovém režimu [uA]	0.9	2.5/Power Down
Odběr při vysílání [mA]	Vysílač: 11.3/0dBm Přijímač: 13.5/2Mbps	Vysílač: 170/0dBm Přijímač: 22/2Mbps
Sběrnice	SPI až 10MHz	SPI až 8 MHz

Tabulka 2.3 Přehled bezdrátových modulů

Z porovnání je vidět, že NRF24L01+ má nižší spotřebu jak při vysílání, tak i příjmu. Při snížení vysílacího výkonu je odběr ještě podstatně nižší. NRF24L01+ disponuje i dalšími vhodnými vlastnostmi jako je automatické potvrzení přijetí, komunikace až se 6 vysílači/přijímači najednou. Každému vysílači je naprogramován unikátní identifikátor, který je poté obsažen v dané zprávě a přijímací modul rozpozná, že zpráva je určena pro něj.

2.4 Výběr akcelerometru

Výběr akcelerometru, který je využíván pro odhalení pohybu či nárazu sledovaného objektu byl zásadní. Obvod neustále měří akceleraci ve všech třech osách (X, Y, Z) a je tedy neustále aktivní. Jeho spotřeba nejvíce ovlivňuje spotřebu celého zařízení v klidovém režimu.

V *Tabulce 2.4* naleznete základní parametry vybraných akcelerometrů.

Název	ADXL377 [11]	MPU6050 (akcelerometr + gyroskop) [12]	ADXL312 [13]
Teplotní rozsah [°C]	-40 až +85	-40 až +85	-40 až +105
Napájecí napětí [V]	1.8 – 3.6	2.375 – 3.46	2.0 – 3.6
Poplachový výstup	-	-	2x - nastavitelný
Sběrnice	Analogový	I ² C/SPI	I ² C/SPI
Rozlišení	6.5mV/g	16bit	10bit nebo 13bit
Rozsah [g]	±200g	±2; ±4; ±8; ±16	±1.5; ±3; ±6; ±12
Odběr při provozu	300uA	500uA/pouze akcelerometr 60uA/20Hz vzorování	57uA/10Hz vzorkování
Klidový odběr [uA]	-	5	0.1

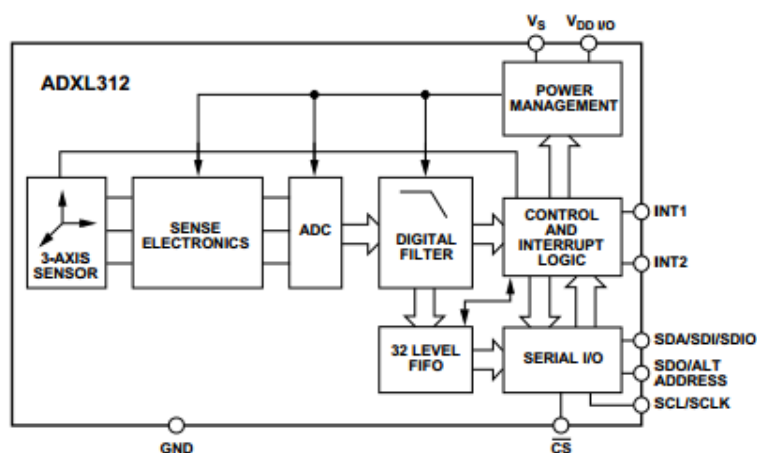
Tabulka 2.4: Přehled akcelerometrů

Akcelerometr ADXL377 s analogovým výstupem byl vzat v úvahu díky jednoduchému měření zrychlení. Z prvního pohledu nízký odběr se ve srovnání s dalšími akcelerometry

nezdál dále jako nízkoodběrový. I z důvodu absence jakéhokoli alarmového výstupu nakonec z volby tohoto akcelerometru sešlo.

Další volbou byl obvod MPU6050 obsahující akcelerometr, gyroskop i digitální pohybový procesor (DMP). Při vzorkování 20Hz byl, podle katalogového listu, odběr pouze 60uA. I tento obvod však postrádal alarmový výstup při překročení zrychlení.

Poslední z volby akcelerometrů byl obvod ADXL312. Při vzorkování 10Hz a méně je odběr akcelerometru pouhých 57uA. Dva nastavitelné alarmové výstupy jsou velkou předností stejně jako možnost nastavení rozsahu měření zrychlení. Obvod podporuje I²C i SPI sběrnici. Na následujícím *Obrázku 2.4* můžete vidět blokové schéma tohoto akcelerometru.



Obrázek 2.4: Blokové schéma akcelerometru ADXL312 [13]

2.5 Výběr teplotního senzoru

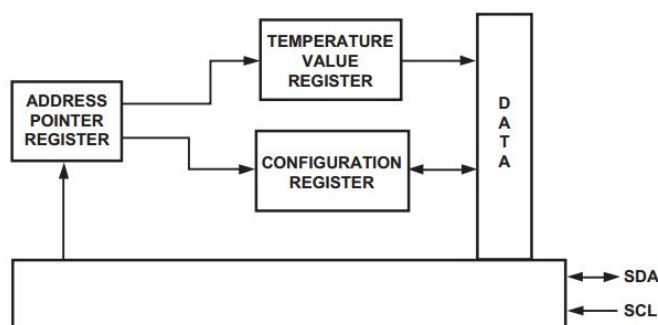
V tabulce 2.5 lze vidět přehled vybraných teplotních čidel, rozsah napájecího napětí, teplotní rozsah a maximální odebíraný proud a odběr v režimu spánku.

Název	AD7415ARTZ [14]	MCP9802 [15]	LM75BIM [16]
Teplotní rozsah [°C]	-40 až +120	-40 až +150	-55 až +125
Napájecí napětí [V]	2,7 - 5,5V	2,7 - 5,25V	3 - 5,5
Špičkový proud [mA]	1.2	0.2	0.25
Odběr ve spánku [μA]	0.8	1	4
Sběrnice:	I ² C	I ² C	I ² C

Tabulka 2.5: přehled teplotních čidel

Pro měření teploty bylo vybráno teplotní čidlo AD7415ARTZ [14], díky velmi nízkému odběru při tzv. power-down módu (tj. vypnuté měření teploty, aktivní je pouze I²C řadič) a to pouze 800nA. Pomocí vývodu AS je možné nastavit stejné čidlo na tři různé

adresy. Výhodou je také tzv. one-shot režim, kdy se změří teplota a poté se čidlo automaticky přepne do režimu spánku. Na *obrázku 2.5* je vidět blokové schéma převodníku.



Obrázek 2.5: Blokové schéma převodníku AD7415 [14]

2.6 Výběr GSM/GPRS a GPS modulu

Prvním možným řešením bylo použití samostatných modulů pro GPS a GSM/GPRS. Výběr oddělených modulů je nepřehledný.

První nevýhodou by při použití dvou oddělených modulů byla nutnost použití dvou komunikačních sběrnic USART. Další, významnou, nevýhodou by byla velikost zastavěného místa v zařízení. Asi největší, nicméně ne poslední, nevýhodou při použití oddělených modulů by byl celkový odběr zařízení.

Z těchto důvodů byl vybrán jediný modul kombinující GPS a GSM/GPRS dohromady – SIM908. Ten byl vybrán z důvodu nejsnadnější dostupnosti a vyhovujícím parametrům.

Nevýhodou tohoto výběru, resp. modelu, je skutečnost, že GPS funguje jenom tehdy, funguje-li GSM/GPRS část modulu. V návrhu tohoto zařízení to však není omezující faktor.

Název	SIM908
Teplotní rozsah [°C]	-30 až +80
Napájecí napětí [V]	3.2 až 4.8
Klidový odběr GSM [uA]	50
Odběr při hlasovém módu GSM [mA]	Až 240mA při 33dBm výstupního výkonu/850MHz
Odběr při datovém módu GPRS [mA]	Až 240mA při 33dBm výstupního výkonu/850MHz
Odběr při sledování GPS [mA]	76
Klidový odběr GPS [uA]	0.03

Tabulka 2.6a: Základní parametry GPS a GSM/GPRS modulu SIM908[17]

SIM908 je rozměry nenáročný modul s integrovanými dvěma konektory pro anténní výstup - uFL. Modul obsahuje dvě sběrnice UART. První je pro ovládání zařízení, druhý pro aktualizaci firmware modulu nebo jeho ladění. V zařízení je použita pouze první sběrnice.

Modul má integrované nabíjení akumulátoru. To však nebylo v zařízení použito, protože při nabíjení modulu není možné ve stejný okamžik navázat spojení se základnovou stanicí mobilní sítě ani využít příjem GPS souřadnic.

K výběru GSM/GPRS a GPS modulu také patří i výběr aktivní antény. Výběr byl podmíněn dostatečnou délkou kabelů antény kvůli možnosti variability umístění v hlídaném objektu. Další praktickou výhodou by byla realizace GSM a GPS antény v jednom zařízení kvůli ušetření zastavěného místa. Z těchto předpokladů byla vybrána duální anténa 2J620P [18]. Parametry této antény naleznete níže v *Tabulce 2.6b*.

Název	2J620P
Teplotní rozsah [°C]	-40 až +85
Napájecí napětí [V]	2.7 až 5.5
Proud [mA]	15 – 25
Výkon [mW]	125
Frekvence [MHz]	900/1800/1900/2100/2400, GPS 1575.42MHz

Tabulka 2.6b: Parametry duální antény [18]

2.7 Výběr mikrokontroléru pro zařízení v automobilu

Jak již bylo uvedeno, mikrokontrolér, pro zařízení ve sledovaném vozidle, by měl disponovat velmi nízkým odběrem v klidovém i provozním režimu, dostatečným množstvím sběrnic (minimálně 2x USART, 1x I²C, 1x SPI) a dostatečnou velikostí FLASH a RAM paměti.

Název	MSP430F5529[19]	STM32L100[20]	STM32L152 [21]
Napájecí napětí [V]	1.8 –3.6	1.65–3.6	1.65 - 3.6
Teplotní rozsah [°C]	-40 až +85	-40 až +105	-40 až +85
Odběry v jednotlivých režimech	Active 290uA/8MHz Shutdown 0.18uA	Active 185uA/MHz Standby: 0.29uA	Aktive214uA/1MHz Standby 0,3uA
Architektura/ max. frekvence	16-bit RISC / 25MHz	32-bit RISC / 32MHz	32-bit RISC / 32MHz
Periferie	SPI/USART/ADC/16-bit Timer/I ² C	12bit ADC/12bit DAC/2xI ² C/3xSPI/3xUSAR T/1xUSB/Timer: 10x 16bit, 2x 16bit základní Timer	12bit ADC/12bit DAC/2xI ² C/2xSPI/3xUSAR T/1xUSB/Timer: 10x 16bit, 2x 16bit základní Timer
Paměť: FLASH/ EEPROM/ RAM	128kB/-/10kB	256KB s ECC/4kB s ECC/16kB RAM	128KB s ECC/4kB s ECC/16kB RAM

Tabulka 2.7 : výběr mikrokontrolérů a jejich vlastnosti

S ohledem na definované požadavky byl zvolen STM32L100 od firmy ST.

2.7.1 Obecný popis mikrokontroléru

Zařízení ve sledovaném objektu je založeno na mikrokontroléru STM32L100RC [20]. Jedná se o 32 bitový mikrokontrolér s redukovanou instrukční sadou (RISC) založený na architektuře ARM[®] Cortex[®] - M3. Tento mikrokontrolér vyniká velmi nízkou spotřebou, kterou je možné ještě snížit použitím nižších frekvencí pro sběrnice AHB, APB1 a APB2. Mikrokontrolér obsahuje interní oscilátor o maximální frekvenci 16MHz, interní 37kHz RC oscilátor a nízkoodběrový oscilátor v rozmezí 65KHz až 4.2MHz. K dispozici jsou dva vstupy pro externí oscilátory. První pro oscilátor 1 až 24MHz pro všechny sběrnice a periferie a druhý pro RTC – 32.768KHz. STM32L100 samozřejmě obsahuje nízkoodběrové hlídací obvody jako BOR (brownout reset), POR/PDR (Power On/Down Reset) a programovatelný napěťový detektor PVD.

Mezi další periferie se řadí I²C, SPI, USART, USB, LCD driver, ADC, DAC, teplotní senzor, operační zesilovače, komparátory a v neposlední řadě 16 bitové a 32 bitové čítače/časovače.

Mikrokontrolér obsahuje 51 vstupně/výstupních vývodů. Většina z těchto vývodů jsou 5V tolerantní.

V příloze A je zobrazeno blokové schéma tohoto mikrokontroléru.

2.7.2 Programovací rozhraní

JTAG

JTAG [22] je moderní programovací a testovací rozhraní, kde se výrobci snaží o sjednocení testování integrovaných obvodů. Nyní je pro JTAG norma IEEE 1149.1. Je ovšem nutno říci, že každý výrobce si svůj JTAG konektor rozvrhne podle potřeb. Norma tedy pouze definuje rozhraní integrovaných obvodů a komunikaci, nikoli však rozložení vývodů tzv. pinout.

SWD

Toto programovací rozhraní je jednodušší variací JTAG. Základní zapojení SWD je napájení cílového zařízení, SWCLK (clock), zem, SWDIO (data in/out), RESET a jeden rezervovaný pin. Stejně jako JTAG, tak i SWD podporuje programování a ladění (debug).

2.7.3 Hodinový systém mikrokontroléru

Mikrokontrolér obsahuje několik zdrojů hodinových signálů. Prvním z nich je HSI, rychlý interní RC oscilátor s frekvencí 16MHz. Dalším hodinovým zdrojem může být HSE. HSE je hodinový zdroj určený pro externí oscilátor s maximální frekvencí 24MHz. STM32L100 obsahuje i dva nízkoodběrové oscilátory. Interní, LSI, s frekvencí typicky 37KHz (od 26KHz do 56KHz) a externí, LSE, pro připojení hodinkového krystalu (nebo keramického rezonátoru) o frekvenci 32.768KHz. Dalším zdrojem frekvence je multi-speed interní RC oscilátor s frekvencí d 65.5KHz do 4.2MHz. Posledním možným zdrojem signálu je PLL s frekvencí od 2 MHz do 24 MHz, která plní roli násobičky vstupní frekvence z HSI nebo HSE.

Z výběru zdrojů hodinových signálů je vybrán jeden, který poskytuje hodinový signál AHB sběrnici. Na AHB sběrnici jsou připojeny GPIO. Z AHB jsou přes mosty AHB/APBx zdrojem hodin pro sběrnice APB1 a APB2. Tím jsou taktovány další periférie jako SPI1, USART1, ADC, a časovače 9 až 11 (APB2) nebo TIMER 2 až 7, I2C1 a 2, SPI2 a 3 a v neposlední řadě i DAC.

2.7.4 Low-power režimy [20]

Sleep mode: V tomto režimu je CPU zastaven, všechny periférie pokračují v činnosti a CPU je probuzen pouze v momentu, kdy je vyvoláno přerušení.

Low-power run mode: Při tomto režimu je zapnut MSI, interní oscilátor, s frekvencí 131KHz s vypnutou SRAM nebo FLASH pamětí a interní regulátor je také v low-power režimu a počet povolených periférií je omezeno.

Low-power sleep mode: V tomto režimu je omezen odebírající proud minimalizováním ztrát na interním regulátoru a je povoleno minimum periférií ve stejné chvíli. Také je zamezeno použití všech zdrojů hodinového signálu a povoleny jsou pouze některé.

Stop mode s RTC: Všechny zdroje hodinového signálu jsou zakázány s výjimkou LSI a LSE oscilátorů. Interní regulátor je také v režimu low-power a probuzení ze Stop módu je možné pouze skrze externí přerušení (EXTI), vyvolané události z komparátorů 1 nebo 2, alarmem z RTC hodin nebo probuzením skrze USB radič.

Stop mode bez RTC: Při tomto režimu jsou zakázány všechny zdroje hodin a probuzení je možné pouze přes komparátory 1 a 2. Mikrokontrolér může být také vzbuzen přes USB.

Standby mode s RTC: U tohoto režimu jsou zakázány všechny zdroje hodin vyjma LSI a LSE. Regulátor napětí je také vypnut. Z tohoto režimu může být probuzen skrze externí reset (NRST), náběžnou hranou na jednom ze třech WakeUp pinů nebo RTC alarmem.

Standby mode bez RTC: Tento režim je nejúspornější z důvodu, že regulátor napětí je vypnut stejně jako všechny zdroje hodinových kmitočtů. Probuzení je možné pouze externím resetem nebo náběžnou hranou na jednom ze třech WakeUp pinů.

2.8 Výběr mikrokontroléru pro klíčenku

V tabulce 2.8 jsou vypsány jednotlivé mikrokontroléry a základní charakteristické vlastnosti.

Název	MSP430G2553 [23]	ATTiny13V [24]	ATMega8A [25]
Napájecí napětí [V]	1.8 - 3.6	1.8 - 5.5	2.7 – 5.5
Odběry v jednotlivých režimech	Active: 230uA/1MHz/2, 2V Standby: 0,5uA Off mode: 0,1uA	Active: 240uA/1.8V/1MHz Power-down: <0.1uA	Active: 3.6mA/3V/4MHz Idle: 1mA Power-down: 0.5uA
Architektura/ max. frekvence	16-bit RISC / 16MHz	8-bit RISC / 16MHz	8-bit RISC / 16MHz
Periferie	ADC/Timer 2x16bit PWM/USART/IrDA/SPI/I ² C	Timer: 2x 8bit, 1x 16bit/I ² C/USART/SPI	Timer: 2x 8bit, 1x 16bit/I ² C/USART/SPI
Paměť: FLASH/EEPROM/ RAM	16kB/-/512B	1kB/64B/64B	8kB/512B/1kB

Tabulka 2.8: výběr mikrokontrolérů a jejich vlastnosti

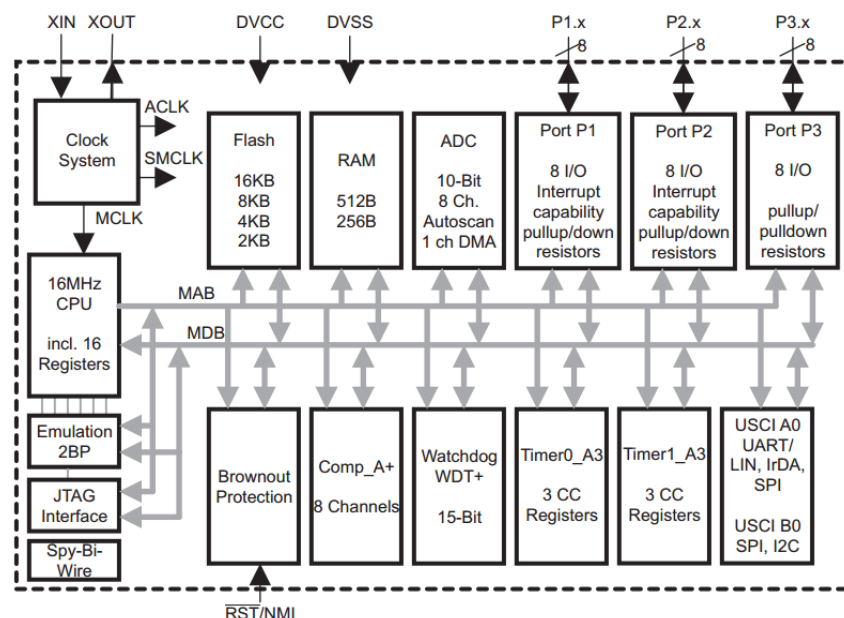
Jako mikrokontrolér klíčenky byl vybrán MSP430G2553 [23] od firmy TI. K přednostem tohoto mikrokontroléru patří zejména velmi nízká spotřeba při zapnutém externím nebo interním low-power oscilátoru.

2.8.1 Obecný popis mikrokontroléru MSP430G2553

Jedná se o 16 bitový mikrokontrolér s redukovanou instrukční sadou (RISC). Tento mikrokontrolér se vyznačuje velmi nízkou spotřebou a má několik způsobů jak snížit svou spotřebu pomocí režimů LPM. Napájecí napětí je od 1,8V až do 3,6V. Disponuje 16kB FLASH pamětí a 512B RAM pamětí. Mezi jeho periferie patří USCI (UART s automatickým nastavením rychlosti/I²C/SPI/IrDA). Obsahuje i dva 16bitové časovače, analogový komparátor, 10bitový A/D převodník s rychlostí 200ksps s možností nastavení 2 vnitřních

referencí (1.5 a 2.5V) a funkcí Sample-and-Hold, to znamená, že se napětí změří pouze jedenkrát.

Obsahuje i DMA kontrolér, BOD a 24 vstupně/výstupních vývodů. Tento mikrokontrolér lze programovat pomocí JTAG nebo SBW. Na *Obrázku 2.8.1* je blokové schéma tohoto mikrokontroléru.

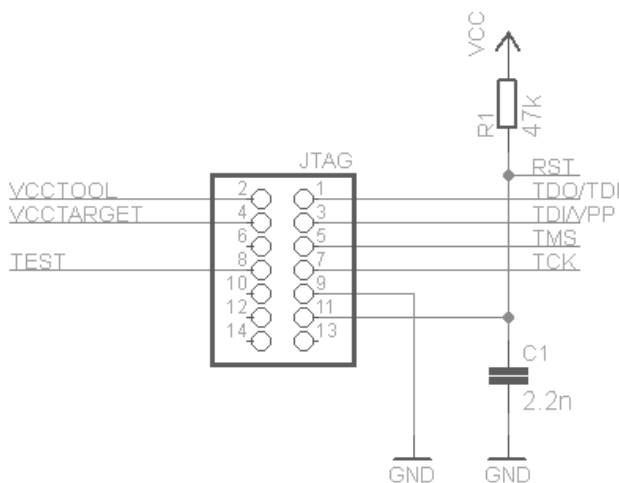


Obrázek 2.8.1: Blokové schéma MSP430G2553 [23]

2.8.2 Programovací rozhraní

JTAG

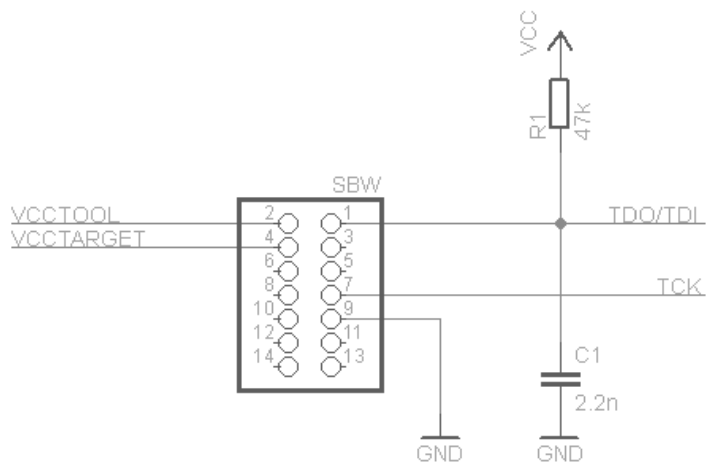
Na *Obrázku 2.8.2a* [26] je zobrazeno základní zapojení JTAG programovacího konektoru pro MSP430. Komunikace probíhá po 4 vodičích - Test Data Out, Test Data In, Test Mode Select, Test Clock.



Obrázek 2.8.2a: Programovací konektor JTAG pro MSP430Gxxxx [26]

SBW

Pro vybrané druhy mikrokontrolérů z řady MSP430Xxxxx, lze při programování uplatnit další programovací rozhraní a to SBW. Jedná se v podstatě o 2 vodičový JTAG. Jak je vidět na *obrázku 2.8.2b*



Obrázek 2.8.2b: Programovací konektor SBW pro MSP430Gxxxx[26]

2.8.3 Hodinový systém mikrokontroléru

Mikrokontrolér disponuje třemi rozvody hodin. Označují se Auxiliary Clock (ACLK - pomocné hodiny), Master Clock (MCLK - hlavní hodiny) a Sub-System Master Clock (SMCLK - podružné hlavní hodiny). To umožňuje mít periferie taktované jednou ze tří nastavených frekvencí. Pomocí Low-Power režimů (viz 2.8.4) jsou automaticky deaktivovány, či aktivovány jednotlivé rozvody hodin. Tímto způsobem je možné efektivně snížit spotřebu.

Do ACLK patří například Internal Very-Low-Power Low-Frequency Oscillator (VLOCLK), což je vnitřní oscilátor s frekvencí typicky 12KHz. ACLK je možné dělit 1, 2, 4 nebo 8krát. Dále také LFXT1CLK (nízkofrekvenční nebo vysokofrekvenční oscilátory), do kterého patří externí krystaly a rezonátory od 400KHz až do 16MHz nebo hodinkové krystaly 32 768Hz pro ultranízkou spotřebu.

Do MCLK patří LFXT1CLK, VLOCLK nebo DCO (digitálně řízený oscilátor). Tento hodinový rozvod je opět možné dělit stejně jako ACLK.

Do SMCLK patří stejné zdroje hodinového kmitočtu jako MCLK.

2.8.4 Low-power režimy

Řada MSP430 disponuje několika módy snížené spotřeby. Tyto módy jsou vypsány v *tabulce 2.8.4*.

	Active mode (AM)	Low-Power mode 0 (LPM0)	LPM1	LPM2	LPM3	LPM4
CPU	Aktivní	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>
ACLK	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	<i>Deaktivován</i>
SMCLK	Aktivní	Aktivní	Aktivní	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>
MCLK	Aktivní	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>
DCO generátor	Aktivní	Aktivní	<i>Deaktivován, pokud není použit pro SMCLK</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>	<i>Deaktivován</i>
Krystalový oscilátor	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	Aktivní	<i>Zastaven</i>
Teoretický odběr [μ A]	300	55	-	17	0.9	0,1

Tabulka 2.8.4: Přehled low power režimů

Probuzení z jednotlivých úsporných režimů trvá v jednotkách μ s. Podle katalogového listu [23] by probuzení nemělo přesáhnout 1μ s. Dále řada MSP430 umožňuje samostatně vypnout, pomocí registrů, napájení vnějšího oscilátoru (většinou krystalu). Pokud se MSP430 probudí z LMP režimu do aktivního režimu pomocí přerušení, není nutné jej ručně v obsluze přerušení znova uspat, ale usnutí do předchozího LPM režimu se provede automaticky po dokončení obsluhy přerušení.

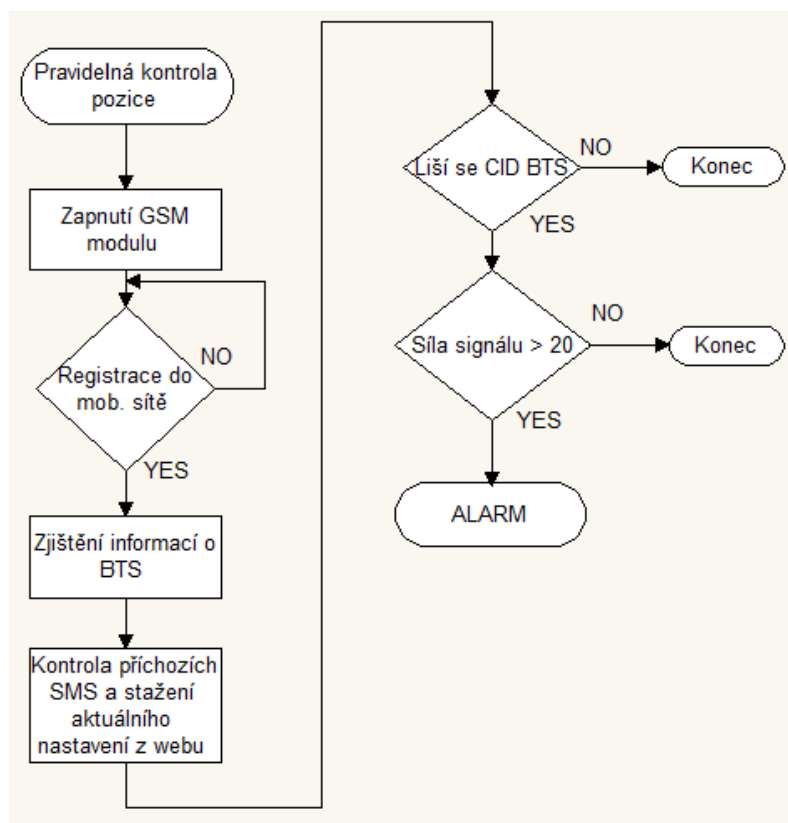
3 Realizace zařízení

V následujícím textu je kompletně popsáno zařízení se všemi jeho aspekty, vlastnostmi a funkcemi a jeho realizace a s ní spojené problémové části.

3.1 Pravidelná kontrola pozice pomocí CID BTS

Pro kvalitnější kontrolu pozice, resp. pohybu, vozidla a také pravidelný příjem SMS instrukcí je v určité nastavitelné periodě kontrolována změna identifikačního čísla (CID, Cell ID) BTS, které by mohlo znamenat změnu pozice. Tato ochrana není nejspolehlivější, protože může znamenat výskyt falešných poplachů. Na druhou stranu se tím může detekovat nefungující akcelerometr.

V následujícím vývojovém diagramu na *Obrázku 3.1* je popsána funkce pravidelné kontroly.



Obrázek 3.1: Pravidelná kontrola pozice pomocí CID BTS a příjem instrukcí

Po probuzení zařízení od RTC časovače je tracker přepnuto z low-power režimu do režimu aktivního a je zapnut GSM modul. Předtím je ale probuzeno teplotní čidlo a je zahájena konverze teploty. Následně se provede test připojení s modulem posláním AT příkazu. Při příjmu kladné odpovědi je proveden test odblokování telefonu. Příkazem AT+CPIN. Poté je kontrolováno, zda je modul již zaregistrovaný v mobilní síti. Po přijetí kladné odpovědi jsou zjištěny informace o BTS a jsou zkontrolovány příchozí SMS a společně s tímto jsou staženy aktuální nastavení ze serveru. V případě chyby při připojení k internetu, je tento proces přeskočen. Poté se provede porovnání údajů BTS s předchozí pravidelnou kontrolou. Jestliže se identifikační číslo BTS změnilo a zároveň síla signálu větší než 20, je vyvolán poplach.

Hodnota „20“ je hodnota signálu, která je vrácena GSM modulem. Například hodnota 2 znamená -109 dBm, hodnota 10 je -93dBm, kdy signál už dostatečný pro komunikaci s BTS, hodnota 15 je -83 dBm, přičemž signál je už dobrý a od hodnoty 20, což je -73dBm a více je signál vynikající.

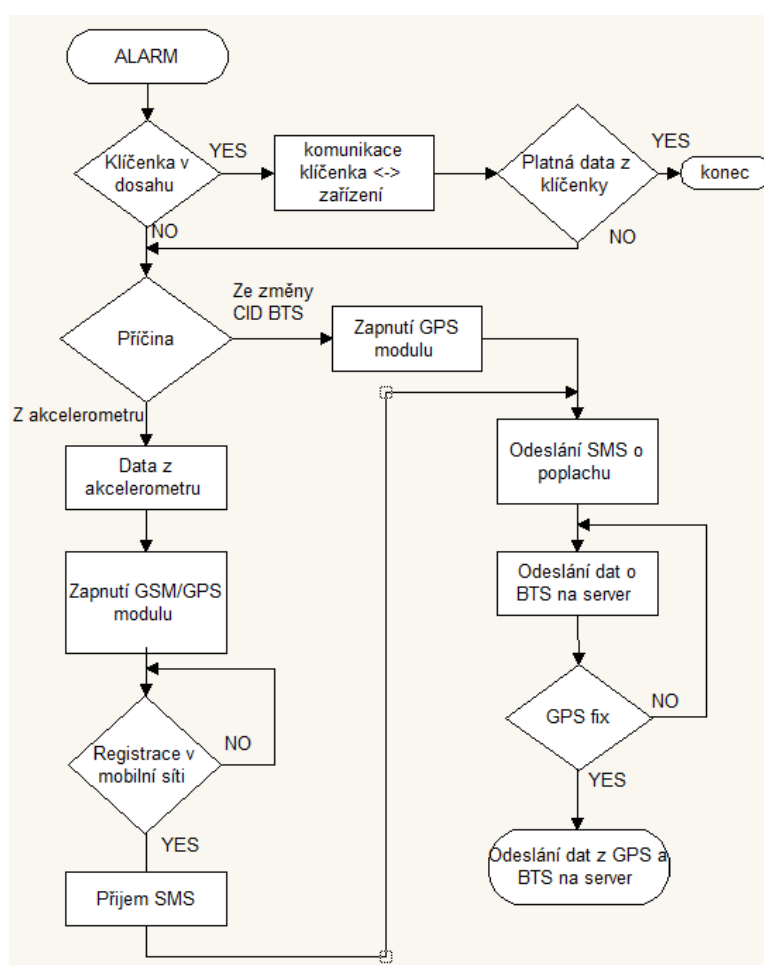
Při teplotě vyšší než 70°C je odeslána SMS o velmi vysoké teplotě trackeru a je okamžitě odpojen od napájení.

Dále je změřeno samotné napětí zálohovacího akumulátoru. V případě změření vyššího napětí akumulátoru, je zařízení dále provozováno pouze na akumulátor. Tato hodnota je zhruba 70% kapacity. Napětí akumulátoru je měřeno GSM/GPS modulem, který změřené napětí přepočítává na přibližnou hodnotu kapacity akumulátoru. Pokud je kapacita nižší než 70% a zároveň vyšší než 50%, je zapnut stabilizátor LM2576 a začne nabíjení Li-Pol akumulátoru. V případě nevyhovující teploty je nabíjení odloženo. Při poklesu kapacity akumulátoru na hodnotu nižší než 50% a vyšší než 25% je zahájeno nabíjení. V případě nevyhovující teploty je uživateli zaslána SMS o nízkém stavu akumulátoru.

Při hodnotě kapacity akumulátoru nižší než 25% a nevyhovující teplotě je opět uživateli zaslána SMS zpráva s urgencí o nabíjení. V opačném případě se opět začne akumulátor nabíjet. Nabíjení je ukončeno při hodnotě kapacity vyšší než 90%.

3.2 Průběh funkce zařízení v aktivním režimu.

V případě, že zařízení přejde do aktivního režimu, rozuměje po vyvolání poplachu, jsou provedeny funkce zobrazené na *Obrázku 3.2*.



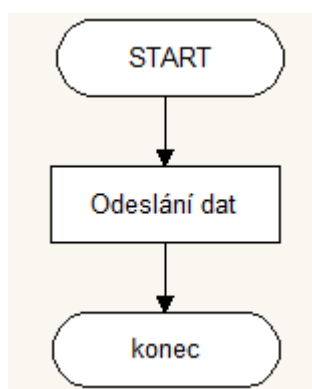
Obrázek 3.2: Průběh v aktivním režimu

Po vyvolání poplachu je zkontrolováno, zdali není v dosahu klíčenka.

Majitel je informován pomocí SMS o vzniku poplachu, provede se zapnutí GPS modulu, zařízení se připojí k datové síti a odešlou se data o dostupných BTS stanicích. GPS modul čeká, dokud nebude poloha zařízení platná (tzv. fix). V průběhu tohoto čekání jsou dále odeslána data o dostupných BTS stanicích. Pokud je poloha platná, odešle se GPS pozice na server. Zařízení je poté ve stavu poplachu. Deaktivace poplachu je možné pouze prostřednictvím platné klíčenky popřípadě zasláním SMS s platnou instrukcí vypnutí.

3.3 Popis funkce klíčenky

Na následujícím *Obrázku 3.3* je zobrazen vývojový digram funkce klíčenky při vysílání.

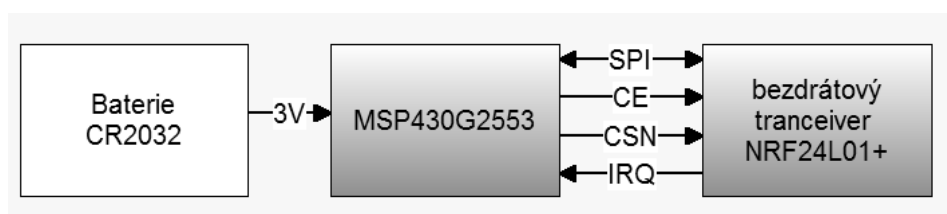


Obrázek 3.3: Popis funkce klíčenky

Při probuzení mikrokontroléru od časovače dojde k aktivaci bezdrátového modulu, jeho konfiguraci a odeslání dat. Po odeslání dat je klíčenka opět uspána. Pokud chtějí dva moduly komunikovat, musí znát svoje unikátní adresy, jinak příchozí zprávy ignorují. Po odeslání adresy jsou odeslána další data. Tím je komunikace mezi moduly ukončena. Po dalším probuzení od časovače se průběh komunikace opakuje.

3.4 Popis hardwaru klíčenky

Na *Obrázku 3.4* můžete vidět blokové schéma klíčenky.



Obrázek 3.4: Blokové schéma klíčenky

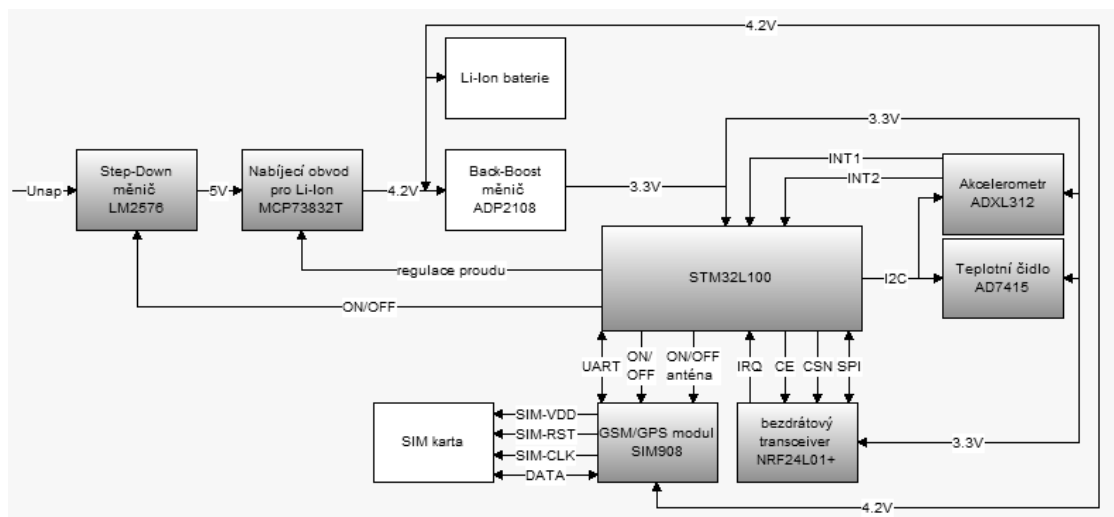
Klíčenka obsahuje mikrokontrolér MSP430G2553, bezdrátový modul NRF24L01+, signalizační LED a baterii CR2032. Komunikace probíhá po SPI sběrnici a společně s ní je veden i vývod CE, který slouží k přenosu dalších informací pro modul. V případě log. 1 na vývodu CE je jím signalizován příjem dat, v případě krátkého pulzu z log. 0 na log. 1 po dobu alespoň 10us naopak jejich vysílání. Klíčenka je naprogramována pouze jako vysílač. Schéma zapojení klíčenky můžete nalézt v příloze B. V příloze C pak naleznete návrh desky plošného spoje.

3.5 Popis softwaru klíčenky

V režimu spánku je mikrokontrolér taktován z vnitřního nízkoodběrového oscilátoru VLOCLK, který je zdrojem hodin pro časovač. Při přerušení z čítače je zapnut vnitřní digitální oscilátor (DCO), který taktuje jádro procesoru, a periférii SPI. V této době je zakázáno opětovné přerušení od časovače. Po vykonání všech potřebných instrukcí je mikrokontrolér uspán a je povoleno pouze přerušení od časovače. Data jsou odesílána jedenkrát za pět vteřin a funkce klíčenky je signalizována krátkým bliknutím LED (3ms) jedenkrát za deset vteřin.

3.6 Popis hardwaru zařízení v hlídaném objektu

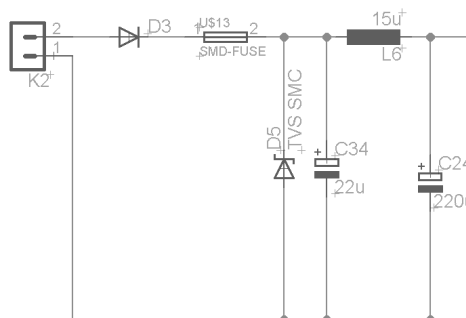
Na *Obrázku 3.5a* můžete vidět blokové schéma zařízení, které se nachází v hlídaném objektu. Bloky s šedým přechodem jsou ty, které ovládá mikrokontrolér.



Obrázek 3.5a: Blokové schéma zařízení v hlídaném objektu

Před přivedením napájecího napětí automobilu do snižujícího měniče, prochází vstupními obvody. Ty jsou zobrazeny na *Obrázku 3.6*. Ochranu proti přepólování plní sériově zapojená dioda. Vstupní obvod, snižující měnič, má vstupní napětí maximálně 40V. Proto byla na vstup zapojena TVS dioda proti napěťovým špičkám z palubní sítě. Kondenzátory

C34 a C24 společně s indukčností L6 tvoří ochranu proti rušení. Celé zapojení je chráněno SMD pojistkou. Zapojení ochran bylo inspirováno zdrojem [27].



Obrázek 3.6: Vstupní obvody zařízení

Napájecí napětí z hlídaného objektu (automobil nebo nákladní vozidlo) je sníženo pomocí step-down měniče na 5V, kterým je napájen nabíjecí obvod a nabíjí Li-Ion akumulátor a GSM/GPS modul. Z tohoto napětí 4.2V je také napájen Back-Boost měnič, který se stará o napájení mikrokontroléru, akcelerometru, teplotního čidla a bezdrátového modulu NRF24L01+.

Hlavní částí zařízení je mikrokontrolér STM32L100RC. Ten je napájen, jak už bylo zmíněno, z Back-Boost měniče z 4.2V na 3.3V zálohovaného Li-Pol akumulátorem.

Taktován je z vnitřních oscilátorů. Při přechodu zařízení do režimu spánku jsou jádro i hodinové rozvody vypnuty a je aktivní pouze RTC WakeUp časovač, který je taktován z vnitřního RC oscilátoru LSI. Při přechodu do aktivního režimu je zapnuto jádro a MSI oscilátor.

Mikrokontrolér komunikuje s akcelerometrem a teplotním čidlem skrze I²C sběrnici. Akcelerometr obsahuje dva alarmové výstupy, které slouží k probuzení mikrokontroléru z režimu spánku. Tyto výstupy je možné nastavit na několik událostí v kombinaci s různými možnostmi. Událost výstupu lze nastavit na platnost dat, aktivitu (překročení nastavené úrovně zrychlení), neaktivitu nebo na dosud nepřečtená data, která už byla nahrazena novými. Aktivita či neaktivita je možné nastavit na X, Y a Z osu nebo na tak zvané AC/DC aktivitu či neaktivitu.

Při volbě DC je přerušení automaticky generované po překročení prahové hodnoty. Při volbě AC je první vzorek brán jako referenční a překročení tohoto prahu od této, referenční, hodnoty a ne od hodnoty 0 jako při volbě DC.

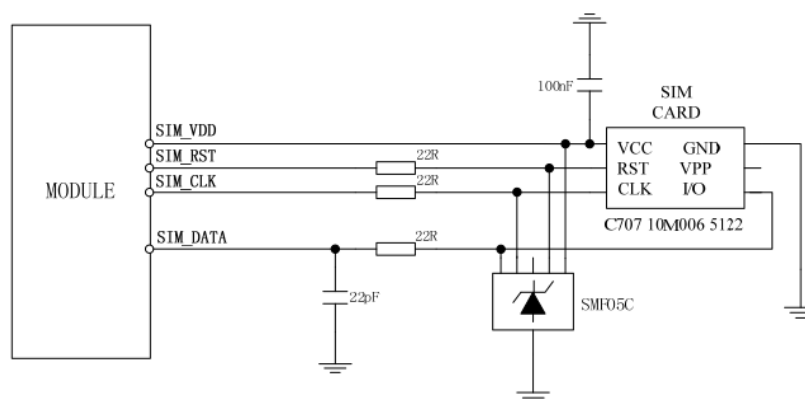
Teplotní čidlo měří pouze vnitřní teplotu zařízení, podle které se vyhodnocuje, zdali se může akumulátor nabít či nikoliv. Měření teploty probíhá tzv. one-shot metodou. To

znamená, že čidlo změří teplotu pouze jedenkrát a poté se uvede do režimu spánku a čeká, dokud nejsou data vyčtena.

Bezdrátový transceiver je řízen po sběrnici SPI a vodiče CSN a CE. Vodič CE slouží k odeslání dat. Pokud je CE v log. 1, zařízení se chová jako přijímač. Pokud je CE v log. 1 déle než 10us, je tím aktivováno vysílání. Transceiver má jeden vývod sloužící k vyvolání přerušení. Tento vývod může být použit různými způsoby. Například se vývod aktivuje při příjmu či odeslání dat. Modul v zařízení je však nastaven pouze na přijímání dat.

Mikrokontrolér komunikuje s GSM/GPS modulem skrze sběrnici UART. Modul ještě přijímá dva signály od mikrokontroléru. Prvním je zapnutí (přechod ze standby režimu do aktivního a naopak) a povolení externího napájení pro anténu. Modul obsahuje interní zdroj pro napájení aktivní antény. Toto napětí dosahuje pouze 2.8V. Vybraná anténa má pracovní napětí od 2.7V do 5.5V a v praxi se ukázalo, že napětí 2.8V pro aktivní GPS část antény je nedostačující a přijetí platných dat trvá mnohonásobně déle, než při napájení 3.3V a vyšším. GSM/GPS modul obsahuje rozhraní pro komunikaci se SIM kartou. Modul podporuje SIM karty s napájením 1.8V i 3V. Interní zdroj napětí se nejprve nastaví na 1.8V a odešle data, pokud SIM karta neodpoví, je napájecí napětí zvýšeno a postup se opakuje. Pokud ani při 3V napájecím napětí SIM karta neodpoví, modul vyhodnotí, že SIM karta není vložena nebo je vadná. Tuto informaci předá mikrokontroléru pomocí zprávy po datové sběrnici.

Na *Obrázku 3.5b* můžete vidět základní zapojení modulu a SIM karty.

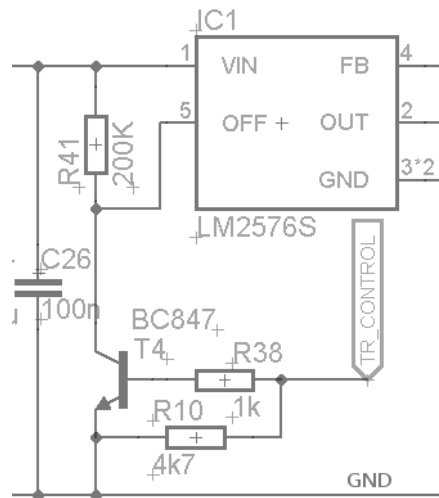


Obrázek 3.5b: Zapojení GSM/GSP modulu a SIM karty [17]

Jak je vidět, vodič DATA obsahuje RC článek. Ten je použit z důvodu zamezení rušení GSM pásma vlivem komunikace.

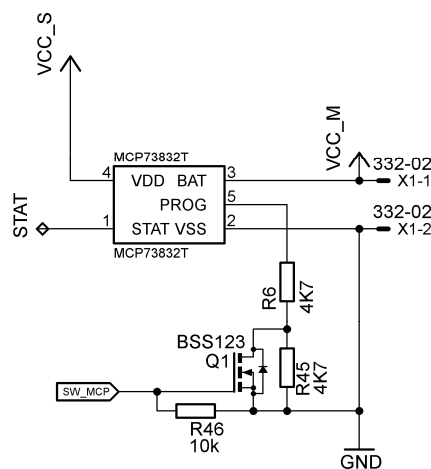
Mikrokontrolér ještě obsahuje další 2 výstupy.

První slouží pro zapnutí a vypnutí step-down měniče z palubního napětí na cca 5V. Na *Obrázku 3.5c* můžete vidět schéma zapojení tohoto ovládání. Vývod TR_CONTROL je výstup z řídicího mikrokontroléru.



Obrázek 3.5c: Ovládání step-down měniče

Druhý vývod slouží pro skokovou regulaci nabíjecího proudu akumulátoru. Schéma této regulace můžete vidět na *Obrázku 3.5d*.



Obrázek 3.5d: Skoková regulace nabíjecího proudu akumulátoru

Regulace je použita z toho důvodu, že při neaktivním zařízení je akumulátor nabíjen malým proudem z důvodu vyšší životnosti akumulátoru. Pokud zařízení přejde do aktivního režimu (rozuměje zapnutí GSM i GPS části modulu) je potřeba vyššího proudu, protože kromě nabíjení akumulátoru je už nutné napájet i celé zařízení.

V klidovém režimu odpovídá sériová kombinace odporů nabíjecímu proudu kolem 100mA, při sepnutí tranzistoru je jeden rezistor přemostěn a výsledný odpor je o polovinu menší. To odpovídá nabíjecímu proudu asi 210mA. Tento poměr může být jednoduše změněn

výměnou rezistorů. Jak už bylo zmíněno, zdrojová část musí pokrýt proudové špičky až o hodnotě 2A, tyto proudové špičky pokryjí kondenzátory a samotný akumulátoru.

Příloze D naleznete schéma zapojení modulu SIM908. V příloze E schéma zapojení mikrokontroléru STM32L100 a v příloze F návrh desky plošného spoje.

3.7 Popis softwaru zařízení v hlídaném objektu

Programová část práce byla rozdělena do několika částí zejména z důvodu přehlednosti, jednodušší změně kódu a úspoře paměti.

3.7.1 Knihovna `uart_SIM908`

Tato knihovna obsahuje funkce na nastavení vstupně-výstupních vývodů mikrokontroléru, dále funkce na odeslání jednotlivých znaků a zároveň i řetězců znaků, tak i jejich příjem. GSM/GPS modul však neposílá ukončovací znak na konci řetězce (typicky „\n“ nebo „\0“). Znak „\n“ je v komunikaci běžně používán pro odřádkování a společně s dalším znakem „\r“ i pro značení další zprávy. Zpráv může být několik a není určeno kolik a jakého typu.

Bylo proto nutné zjistit konec řetězce. Tento problém byl vyřešen tak, že před začátkem čekání na příjem znaků je inicializován časovač, který má nastavitelnou periodu přerušení. Po vyvolání přerušení je automaticky ukončeno čekání na další přijaté znaky a na konec přijatého řetězce je programově zapsán nulový znak „\0“. Ten je zapsán z důvodu pozdější jednodušší práce s přijatým řetězcem.

3.7.2 Knihovna `SIM908`

Tato knihovna obsahuje různé funkce pro detekci přijaté zprávy. První z nich je kontrola komunikace s modulem. Odešle se řetězec znaků AT v podobě:

```
AT\r\n
```

Očekávaný přijatý řetězec je tento:

```
AT\r\n\r\nOK\r\n
```

Další funkcí, `AT_CPIN`, která je v této knihovně je kontrola SIM karty respektive kontrola, zda není SIM karta blokována PIN. To se provádí příkazem:

```
AT+CPIN?\r\n
```

A tento řetězec je očekáván.

```
AT+CPIN?\r\n\r\n+CPIN: READY\r\n\r\nOK\r\n
```


Funkce nazvaná AT_CSQ zjišťuje hodnotu signálu a tu vrací zpátky. Data jsou přijata ve formátu:

```
AT+CSQ\r\n\r\n+CSQ: xx,y\r\n\r\nOK\r\n
```

Kde **xx** je hodnota signálu (bylo popsáno výše) a **y** je bitová chybovost přenosu v procentech.

Další funkcí, která je prováděna vždy, je funkce AT_CREG. Tato funkce kontroluje, zda je modul již zaregistrován v síti.

```
AT+CREG?\r\n\r\n+CREG: x,y\r\n\r\nOK\r\n
```

Hodnota **x** značí, zda je modul zaregistrován v síti, domácí síti, registrace byla zamítnuta, registrace pouze pro SMS a další možnosti. Hodnota **y** značí technologie komunikace, které je možné použít (GSM, UTRAN, HSDPA a další).

Funkce AT_CBC vrací hodnotu napětí v mV a napětí akuulátoru v procentech, které si modul sám změří.

```
AT+CBC\r\n\r\n\r\n+CBC: x,yyy,zzzz\r\n\r\n\r\nOK\r\n
```

Kde **x** informuje o tom, zda se akumulátor nabíjí (0), či nabíjí (1) nebo je akumulátor již dobit (2), **yyy** je hodnota kapacity akumulátoru v procentech a **zzzz** hodnota napětí v mV.

První hodnota, tedy **x** je vázána na stav vývodu modulu VCHG, ten se ale v tomto případě nepoužívá, protože by při nabíjení akumulátoru nemohlo dojít k plnému provozu modulu. Proto bylo zvoleno nabíjení přes externí integrovaný obvod.

Funkce, která se stará o smazání SMS zpráv, se nazývá AT_CMGDA. Ta vrací řetězec:

```
AT+CMGDA="DEL ALL"\r\n\r\n\r\nOK\r\n
```

Následující funkce slouží k připojení modulu k internetu. První potřebnou funkcí je AT_CGATT, která povoluje připojení skrze GPRS. Vracená hodnota musí být v tomto formátu:

```
AT+CGATT=1\r\n\r\n\r\nOK\r\n
```

Další funkcí je nastaven přístupový bod. Ten záleží na operátorovi a pro Vodafone je to „internet“. Vracený řetězec by měl mít tuto podobu.

```
AT+CSTT="internet"\r\n\r\n\r\nOK\r\n
```

Další funkce, AT_CIPSTART, jen čeká na návratový řetězec podobného typu:

```
AT+CIPSTART="typ","doména","port"\r\n\r\n\r\n\r\nOK\r\n\r\n\r\nCONNECT OK\r\n
```

Kde „typ“ je myšleno typem připojení (TCP nebo UDP), doména je stránka se kterou se bude dále komunikovat a hodnota „port“ je použit port 80.

Funkce nazývající se parseData přijatý řetězec znaků z webového rozhraní rozdělí na jednotlivé části. S těmi poté pracuje další část programu.

Následují další funkce sloužící ke komunikaci s GPS částí modulu. První z nich je AT_CGSPWR, která porovnává přijatý řetězec s očekávaným. Po zapnutí GPS je očekáván tento řetězec.

```
AT+CGSPWR=1\r\n\r\nOK\r\n
```

Po vypnutí je změna pouze hodnota 1 na 0.

Při studeném startu GPS je nutno provést reset. K vyhodnocení přijatého řetězce po této události slouží funkce AT_CGSRST.

```
AT+CGSRST=0\r\n\r\nOK\r\n
```

Pro vyhodnocení, zda jsou GPS souřadnice platné, je použito čtení NMEA zprávy typu CGA. Tato zpráva obsahuje informaci, jestli je GPS pozice platná. Tato hodnota se jmenuje „fix“ a může nabývat hodnot „0“ a „1“.

Další funkcí je rozdělení přijatého řetězce dat z webové stránky.

```
void parseData(char *data, char *interval, char *ID1, char *ID2, char *ID3, char *T1, char *T2, char *T3)
```

Tato funkce přijme celý řetězec znaků (hlavička stránky i platná data) a postupně je rozdělí do několika úseků. Jak bylo zmíněno výše, platná data jsou označeny znaky „#“ právě pro jednodušší rozdělení a čtení dat. Nejprve se tedy vybere daný řetězec z přijatých dat a poté se postupně dekódují data. Rozdělovačem dat je čárka. Z dat jsou vyjmuta identifikační čísla klíčenek, telefonní čísla a jejich nastavení a práva.

Další funkcí pro rozdělení přijatých dat je funkce parseCellID.

```
void parseCellID(char *data, char *mcc, char *mnc, char *cellID, char *lac)
```

Po přepnutí modulu do tzv. inženýrského módu je vypsán seznam dostupných BTS stanic. Z těchto dat je vyčtena BTS stanice, ke které je modul připojen a data o ní jsou dále rozdělena na „mcc“ – kódové označení státu, „mnc“ – kódové označení operátora, „cellID“ – kódové označení aktivní BTS a nakonec „lac“ – kódové označení lokace.

Funkce parseSMS, jak název napovídá, slouží k dekódování SMS zprávy.

```
void parseSMS(char *data, char *phone, char *msg)
```

Funkce vrací telefonní číslo a zprávu.

Poslední funkcí sloužící k rozdělení přijatých dat je funkce parseGPS.

```
void parseGPS(char *data, char *Latitude, char *Longitude, char *time, char *satellite)
```

Z přijatých dat je nutné získat zeměpisnou šířku a délku, čas, počet viditelných satelitů a také informaci, zda jsou přijatá data už platná.

Funkce GPRSSendData. Tato funkce otevře spojení a odešle data na server.

Funkce GPRSgetData data pouze přímá.

Těmto funkcím ale musí předcházet funkce GPRSstart. Ta nejprve zkontroluje registraci v síti. V případě záporné odpovědi se neprovede žádný z následujících příkazů. Poté se označí AP jako „internet“ – označení je dáno poskytovatelem spojení a nakonec se vyžádá IP adresa. V případě že nastane nějaká chyba a zařízení nedostane IP adresu (signalizováno error zprávou), je vrácena porucha a pokus o připojení se přeskočí.

Funkce GPSON a GPSOFF slouží pouze k vypnutí GPS části modulu.

Poslední funkce je sendSMS sloužící k odeslání SMS. V této funkci je předáno telefonní číslo a zpráva.

```
void sendSMS(char *phone_number, char *message)
```

Při odeslání SMS je nejprve vloženo AT příkazem (AT+CMGS) telefonní číslo poté následuje posloupnost znaků „\r\n“ a poté je odeslána samotná zpráva. Pro ukončení odesílání slouží escape sekvence - znak „0x1A“ a opětovné odeslání „\r\n“.

3.7.3 Knihovna I2C1

Tato knihovna slouží pro nastavení I²C sběrnice, příjmu a vysílání dat. Jak bylo řečeno, knihovna obsahuje funkci pro inicializaci I²C sběrnice. Komunikační rychlost je nastavena na 100KHz.

Dále obsahuje funkce pro odeslání adresy, kde je dále nastaveno, zda má druhé zařízení očekávat zápis nebo čtení.

Další funkcí je samotný zápis dat popřípadě čtení s funkcí výběru, zda očekává potvrzení nebo ne od druhého zařízení.

Poslední funkcí je ukončení komunikace.

3.7.4 Knihovna pro ADXL312 a AD7415

Knihovna ADXL312 má pouze jednu funkci a to inicializaci. V této funkci ale je nastaven formát dat, rozlišení, rychlost vzorkování, nastavení přerušení a jejich mask.

Knihovna pro teplotní čidlo AD7415 má funkcí více. První je inicializace samotného čidla, následuje funkce pro jeho uspání. Další funkcí je „oneshot“, to je režim měření teploty, který probudí čidlo, to změří teplotu a po zhruba 800ms je možnost si platná data vyčíst. Čidlo se po odeslání dat opět uspí.

Poslední funkcí je odeslání teploty. Aktuální teplota je umístěna v adrese 0x00. I když je čidlo 10-bitové, je využíváno pouze pro horních 8 bitů, které znamenají rozlišení na jednotky °C. To pro účely měření tohoto zařízení stačí.

3.7.5 Knihovna spi1_nrf

Tato knihovna obsahuje funkce pro nastavení a komunikaci skrze SPI sběrnici. Obvod NRF24L01+ vyžaduje, aby první poslaný bit byl ten nejvyšší. To je nastaveno při inicializaci samotné sběrnice. Dále následují funkce pro příjem jednotlivých znaků a řetězců nebo odesílání jednotlivých znaků a řetězců. Dalšími funkcemi jsou nastavovány vývody CSN – výběr aktivního obvodu – a CE. Vývod CE slouží jako dodatečná informace pro modul zda má odvíšlat data nebo je naopak přijmout.

3.7.6 Knihovna LPM

Tato knihovna a její funkce jsou určeny pro přechod do low-power módů. Jak bylo zmíněno, STM32L100 obsahuje několik těchto módů [20]. Prvními funkcemi jsou funkce pro přechod do Sleep módu. Probuzení způsobí přerušení nebo událost.

Další funkcí je přechod do „stop“ režimu. Ten je nastaven po nastavení bitu „deepsleep“ v registru, nastavení „stop mode“ bitu a nakonec nastavení interního regulátoru do low-power režimu. Probuzení je opět způsobeno buď přerušením, nebo událostí doprovázeného nulováním bitu „deepsleep“ a nastavením interního regulátoru z low-power módu. Přerušení nebo událost musí nastat skrze externí vstupy. Některé periferie, jako je WakeUp časovač nebo RTC alarm, mají výstupy připojeny právě na zmíněné vstupy způsobující probuzení.

Přechod do „standby“ režimu je způsoben opět nastavením „deepsleep“ bitu a vynulováním bitu „stop mode“. Probuzení může nastat pouze přes WKUP vstup, od RTC alarmu, externího resetu nebo IWDG resetu.

Posledními funkcemi jsou požadavky pro vypnutí „stop“ režimu nebo „standby“.

3.7.7 Hlavní soubor main.c

V tomto souboru se sdružují všechny potřebné knihovny a funkce. Nejprve se inicializují dva časovače.

První, časovač 6, slouží jako timeout při čekání příjmu dat z GSM/GPS modulu. Jak bylo napsáno výše, modul nezasílá ukončovací znak. Proto je automaticky vložen po přetečení časovače. Tento čas musí být dostatečně dlouhý, aby modul odeslal všechna potřebná data.

Druhý časovač je použit pro automatické nastavení alarmu. Je nastaven přibližně na 30 vteřin a při přetečení vygeneruje přerušení, ve kterém je opět spuštěn kód pro příjem GPS dat, lokalizaci BTS a odeslání dat na server.

Při kontrole SMS zpráv je rozeznáváno několik instrukcí. První z nich je #S, tím je signalizováno zapnutí lokalizace. Instrukce odeslaná z daného čísla musí souhlasit s přijatými daty a právy. Další instrukcí je #E značící ukončení lokalizace.

Je také umožněna jednorázová lokalizace za pomoci #L. V tomto případě se jednorázově zapne GPS modul, počká se, dokud nejsou platná data a poté se odešle SMS s informací GPS polohy a počtu viditelných satelitů.

Diagnostika je provedena po příjmu #D. V této zprávě je zaslán údaj o síle signálu, kapacity akumulátoru a teplotě.

Příkaz	Popis
#S	Zapnutí lokalizace
#E	Ukončení lokalizace
#L	Jednorázová lokalizace
#D	Diagnostika zařízení

Tabulka 3.7.7: Seznam příkazů

V případě zaslání chybné instrukce, je zaslána číslu odpověď o chybné instrukci.

Nakonec jsou SMS zprávy smazány z důvodu omezeného místa pro ukládání SMS zpráv.

V případě nutnosti nabíjení je nejprve vyhodnocena aktuální teplota, pokud je teplota v přijatelném rozmezí, začne nabíjení. Při kapacitě menší než 50% jsou odeslány SMS, při kapacitě nižší než 25% jsou odeslány SMS zprávy s urgencí. Nabíjení je ukončeno při dosažení alespoň 90% kapacity akumulátoru.

Pokud není vyhlášen alarm, mikrokontrolér vypne tracker pomocí AT příkazu a zpětně se ještě dotáže, zda je modul vypnutý. Pokud přijde odpověď, je odeslán další AT příkaz o urgentním vypnutí. Při této instrukci modul okamžitě ukončuje svou činnost a vypne se.

V případě aktivního alarmu je zapnut modul a časovač, který určuje periodu příjmu a odeslání dat. Tedy v případě, že se v určitém časovém úseku nepřihlásí platná klíčenka. Dále jsou odeslány informační SMS zprávy. V případě, že GPS část modulu nelze zapnout, jsou o tomto problému všichni informováni pomocí SMS. Poté, v pravidelných periodách, jsou stahovány nastavení ze serveru, získávány GPS souřadnice a data o aktivní BTS a tyto data jsou odeslána zpět na server.

I v tomto okamžiku je možné se dotázat na diagnostiku zařízení nebo jednorázovou lokalizaci.

V případě nedostupnosti webových stránek nebo spojení je krok odesílání dat přeskočen.

Aktuální BTS je stále porovnávána s předchozí, ale v případě vyhlášení alarmu je odesílání dalších SMS zpráv o vyhlášení alarmu přeskočeno.

3.8 Webová administrace

Celá webová administrace se skládá z několika souborů. Kód je psán ve skriptovacím programovacím jazyce PHP doplněný o JavaScript. Ten je potřebný ke komunikaci s API a je používán také k vykreslení animovaných přechodů samotné stránky. K ukládání slouží databáze MySQL. Celá stránka je zabezpečena pomocí přihlášení jménem a heslem.

3.8.1 Soubor index.php

Hlavní soubor, který slouží pouze k přihlášení uživatele. Obsahuje jednoduchý formulář a data jsou odeslána do souboru login.php.

3.8.2 Soubor config.php

Tento soubor je jediný, který se musí majitelem stránek upravovat. Obsahuje jméno serveru, jméno uživatele a jeho heslo.

3.8.3 Soubor create_table.php

Tento soubor vytvoří potřebné databáze ke komunikaci a ukládání dat.

V první fázi se provede kontrola připojení k databázi. Pokud příkaz vrátí zápornou odpověď, je o tom uživatel informován na webové stránce.

```
$link = mysql_connect($server, $uzivatel, $heslo);  
if (!$link) {  
    die('Nemohu se pripojit: ' . mysql_error());  
}
```

Funkce `mysql_error()` vrátí chybu, která nastala.

Poté proběhne zkouška připojení k databázi. Pokud je odpověď opět negativní, vrátí funkce `mysql_error()` chybu.

Po těchto kontrolách se vytvoří tři tabulky. První je určena k zaznamenání polohy, času, GPS souřadnic a dalších informací. Druhá tabulka slouží ke vzdálenému nastavení zařízení, jako jsou identifikační čísla klíčenek, telefonních čísel a nastavením za jaké události se má na které číslo co odeslat. Mezi tyto události patří poplach, nízké napětí akumulátoru, vysoká teplota, diagnostika a jednorázová lokalizace. Pokud nastane při vytváření tabulek chyba, je o tom uživatel opět informován a je mu vypsána chyba. Po úspěšném dokončení je uživatel informován zprávou na webové stránce.

Třetí tabulka slouží k uložení přihlašovacího jména a hesla (v zašifrované podobě). Prvotní jméno a heslo je „admin“. Tento soubor by měl být, z důvodu bezpečnosti, po použití smazán.

3.8.4 Soubor get.php

K tomuto souboru přistupuje modul, který skrze GET metody zadává data do databáze. Soubor se opět zkusí připojit k databázi, po úspěšném pokusu si zjistí aktuální čas ze sítě a otestuje přítomnost dat přijatých GET metodou. Při neexistenci některých z dat, nastaví danou proměnou jako NULL. Všechny data (datum a čas, GPS souřadnice, CID BTS a další informace) jsou uloženy do databáze. Hodnotu z proměnné BTS – CellID, MNC, MMC a LAC vytvoří odkaz na externí stránky s označenou polohou aktuální BTS stanice.

Hodnoty GPS odeslané modulem obsahují formát ddm.mmmmmm pro N/S a dddmm.mmmmmm pro W/E. Tento formát dat ale není platný pro google maps API a je nutné ho přeformátovat na typ dd.ddddd. Matematicky je převod velmi jednoduchý a lze jej provést takto: dd + (mm.mmmmmm/60). Tím to zápisem je docílen správný formát dat, který je podporován. Přeformátování bylo vyřešeno na straně serveru za pomoci skriptovacího jazyka PHP.

```
if (((isset($_GET["LAT"])) && ($_GET["LAT"] != "")) && ((isset($_GET["LONG"]))
&& ($_GET["LONG"] != ""))) {
    $lat = $_GET["LAT"];
    $degree = (int)($lat/100);
    $minutes = $lat-($degree*100);
    $dec = $minutes/60;
    $decimal = $degree + $dec;
    $decimal = number_format($decimal,5,'.','');
    $lat = $decimal;

    $long = $_GET["LONG"];
    $degree = (int)($long/100);
    $minutes = $long-($degree*100);
    $dec = $minutes/60;
    $decimal = $degree + $dec;
    $decimal = number_format($decimal,5,'.','');
    $long = $decimal;
```

```
$gps = $lat . ',' . $long;  
}  
else  
$gps = NULL;
```

První podmínka testuje, zda jsou GPS data přijata. Při nesplnění této podmínky je zapsána hodnota NULL.

Pro názornost mějme data typu 4913.205193. V prvním kroku vydělíme tato data hodnotou 100, aby tvar byl dd.mmmmmmmm a zároveň převedeme na celočíselný formát dat. Výsledkem bude hodnota dd, v tomto případě 49. Tato hodnota se opět vynásobí číslem 100 a je odečtena od původní hodnoty. $4913.205193 - 4900$. Po tomto kroku zbyly jednotky minut, 13.205193, které se pouze vydělí číslem 60. Obě proměnné (stupňů a minut) se sečtou a upraví se jejich formát na 5 desetinných míst. Výsledná data jsou platná pro Google Maps API i pro Seznam Mapy API.

3.8.5 Soubor set.php

Tento soubor naopak slouží k zobrazení údajů. Pro jednodušší dekodování stránky je platný řetězec znaků opatřen znaky „#“ na jeho začátku i konci. Bez tohoto pomocného znaku by totiž bylo dekodování velmi složité, protože přijatá stránka vždy obsahuje HTML hlavičku a další podružné informace, které jsou časově nestálé. Ve výpisu údajů je interval pravidelných kontrol příjmu SMS a načtení nových dat skrze server, identifikační čísla klíčenek, telefonní čísla a jejich nastavení.

Pokud zadané číslo odešle pomocí SMS instrukci, ke kterému ale nemá oprávnění, je mu zpět odeslána SMS o nedostatečném oprávnění k vykonání této instrukce pro toto telefonní číslo.

Tracker si stáhne tuto stránku a poté dekóduje jednotlivá nastavení pro jednotlivá telefonní čísla a identifikační čísla klíčenek.

3.8.6 Soubor settings.php

Soubor settings.php kombinuje skriptovací jazyk PHP a JavaScript, přesněji jQuery (javascriptová knihovna). Po opětovné kontrole připojení databáze a tabulky jsou nejprve vypsané údaje do předpřipravených formulářů. Uživatel tedy po změně jenom jednoho údaje nemusí doplňovat i ostatní, protože ty jsou nahrány už při načtení webové stránky.

3.8.7 Soubor setdevice.php

Všechna data zapsaná do formulářů na stránce settings.php jsou odeslána na tuto stránku, kde se provede kontrola připojení k databázi a tabulek, zkontroluje se, zda jsou vyplněny formuláře a platnost dat a poté se nové hodnoty zapíše do databáze.

3.8.8 Soubor position.php

Soubor position.php zahrnuje další dva soubory. A to maps.php a data.php. V tomto souboru je pouze formulář pro výběr časového období, ze kterého se mají data zobrazovat. Na výběr je 1, 5, 10, 30, 180 nebo 365 dní. Také je zde možnost zobrazení celé tabulky. Předání této možnosti je řešeno pomocí session(= relace) proměnných. Tyto proměnné jsou dostupné v rámci celé stránky a tedy i maps.php a data.php.

3.8.9 Soubor maps.php

Toto je soubor, který se stará o vykreslení mapových podkladů. Byl vytvořen na základě poskytnutých vzorových souborů firmou Google Inc. Vykreslovací body byly však napevno zapsány v kódu a bylo nutné najít způsob, jak zapsat měnící se data do komunikace mezi lokalizačním serverem a serverem Google. Skriptovací jazyk JavaScript, v kterém je API mapových podkladů napsán, neposkytuje možnost přímého přístupu do databáze, proto byla zvolena varianta PHP skriptovacího jazyka a jeho vložení do stávajícího kódu.

```
var markers = [<?php
session_start();
if (isset($_SESSION["od"]))
{
    $od = $_SESSION["od"];
}
else
{
    $od = "30 day";
}
include "config.php";
$db="tracker";
$tb="tracker";
// Connect to MySQL
$link = mysql_connect($server, $uzivatel, $heslo);
```

```

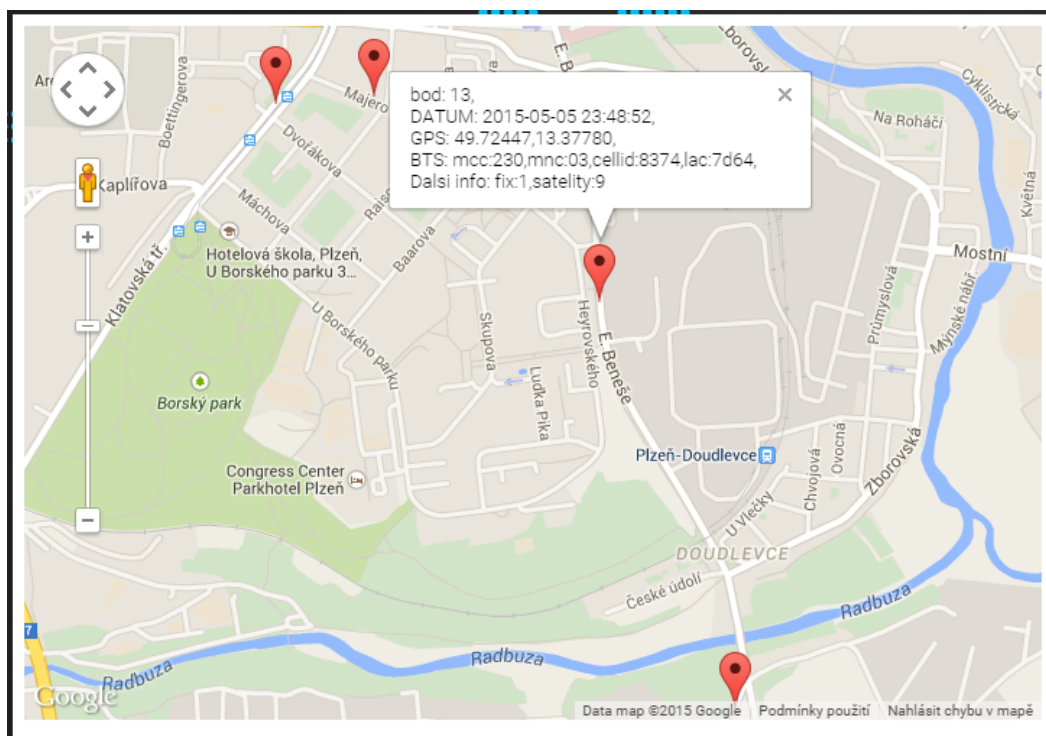
if (!$link)
{
    die('Could not connect: ' . mysql_error());
}
mysql_select_db($db, $link);
$result = mysql_query("SELECT id, DATUM, GPS, BTS, DALSIINFO FROM
`$db`.`$tb` WHERE DATE_SUB(CURDATE(), INTERVAL ".$od.") <= DATUM
ORDER by id DESC", $link);
while($vypis = mysql_fetch_array($result)){
    if(!empty($vypis['GPS']) )
        echo "["bod: ".$vypis['id'].", ".$vypis['GPS'].", 'bod: ".$vypis['id'].", <br>DATUM:
        ".$vypis['DATUM'].", <br>GPS:                ".$vypis['GPS'].", <br>BTS:
        ".$vypis['BTS'].", <br>Dalsi info: ".$vypis['DALSIINFO']."]", ";
    }?>
];

```

Tyto hodnoty jsou zapsány v proměnné „markers“. V něm je vložen PHP kód, který přečte session proměnnou „od“, podle které se nastaví datum, od kterého mají být body vypsány. Pokud není nastavena, je zapsána hodnota 30 dní.

Poté následuje připojení k databázi a ověření připojení. Po tomto kroku jsou vypsány údaje z databáze, které, jak bylo napsáno výše, splňují rozsah nastaveného data.

Data odeslaná skrze API musí být validní, platná. Pokud by byla na server mapových podkladů odeslána data, která by nebyla validní, mapa s body by se nevykreslila. Proto je v kódu podmínka, která zaručuje, že budou odeslána pouze ta data, která obsahují hodnotu GPS.



Obrázek 3.8.9: Zobrazení bodů při lokalizaci

3.8.10 Soubor data.php

Jedná se o výpis dostupných bodů. Po opětovném zkontrolování přístupu do databáze a tabulek, jsou přehledně vypsané body, které opět spadají do vybraného časového období.

Zároveň s tím, jsou vypsaná i data z BTS stanice a je z nich vytvořen odkaz na stránku opencellid.org, kde je zobrazeno umístění BTS. Hodnoty „lac“ a „cellID“ jsou hexadecimální a jejich převod je zajištěn na straně serveru. Přijata data o BTS musí být rozdělena tak, aby je mohla stránka opencellid.org zobrazit. To je zajištěno touto částí kódu.

```

$string = $vypis['BTS'];
$array = explode(',', (str_replace(':', '=', $string)));
$cellid0 = explode('=', $array[2]);
$lac0 = explode('=', $array[3]);
$cellid = hexdec($cellid0[1]);
$lac = hexdec($lac0[1]);

$adr="<a
href='http://opencellid.org/#action=locations.cell&".$array[0]."&".$array[1]."&".$c
ellid0[0]."=". $cellid."&".$lac0[0]."=". $lac."' target='_blank'>";
echo "<br>BTS: ". $adr . $vypis['BTS']."</a>";

```

Nejprve je přijat řetězec dat o BTS. Zde jsou zaměněny znaky „:“ za „=“, poté se rozdělí jednotlivá data podle znaku „=“. Funkce „explode“ rozdělí řetězec do polí. Nakonec jsou hodnoty „lac“ a „cellID“ převedena do decimálního tvaru a z těchto dat je vytvořen odkaz na uvučené stránky.

Výběr časového období je zjištěn opět session proměnnou. Ukázku výpisu dat můžete vidět na *Obrázku 3.8.10*.

Bod: 13

Datum: 2015-05-05 23:48:52

GPS: 49.72447,13.37780

BTS: mcc:230.mnc:03.cellid:8374.lac:7d64

Dalsi informace: fix:1,satelite:9

Bod: 12

Datum: 2015-05-05 23:47:28

GPS: 49.71665,13.38183

BTS: mcc:230.mnc:03.cellid:8374.lac:7d64

Dalsi informace: fix:1,satelite:9

Bod: 11

Datum: 2015-05-05 23:44:18

GPS: 49.70963,13.36389

BTS: mcc:230.mnc:03.cellid:8797.lac:7dc8

Dalsi informace: fix:1,satelite:10

Bod: 10

Datum: 2015-05-05 23:42:54

GPS: 49.69767,13.36697

BTS: mcc:230.mnc:03.cellid:8797.lac:7dc8

Dalsi informace: fix:1,satelite:10

Obrázek 3.8.10: Příklad výpisu dat

3.8.11 Soubor menu.php

Tento soubor pouze odkazuje na další soubory zobrazené v menu.

3.8.12 Soubor info.php

Tento soubor zprostředkovává změnu hesla a přihlašovacího jména. Data jsou odeslána do souboru change.php.

3.8.13 Soubor change.php

Přijatá data se rozdělí do jednotlivých proměnných. Je porovnáno současné jméno a heslo a dále zda je vyplněné nové přihlašovací jméno a zda nová hesla souhlasí. Pokud

nesouhlasí současné přihlašovací jméno nebo heslo, je uživatel, z důvodu bezpečnosti, automaticky odhlášen. Hesla jsou zakódovaná v MD5 a uložena v databázi.

3.8.14 Soubor login.php

Převzatá data, z přihlašovacího formuláře na stránce index.php, jsou porovnána s daty z databáze a při nesouhlasu hesla nebo přihlašovacího jména je do databáze vložen chybný pokus. Při třetím, chybném, zadání hesla nebo jména je uživateli zablokován přístup k formuláři a tedy i k jeho vyplnění. Tím je zajištěna ochrana před roboty, kteří zkouší získat přístup k účtu tzv. „brutal-force“ metodou popřípadě metodou slovníkového útoku.

V případě „brutal-force“ metody je vyplňováno jméno a heslo náhodně popřípadě systematicky, pomocí algoritmu. Metoda slovníkového útoku je založena na databázi používaných hesel a přístupových jmen získaných z jiných účtů a služeb.

Možností jak opět získat přístup, je přihlášením k samotné databázi a počet pokusů vynulovat. Zde uživatel uvidí i z jaké IP adresy se útok uskutečnil.

Hesla jsou ukládána v MD5 hash, což je funkce založená na stejnojmenném algoritmu. Zadanému heslu je vytvořen „otisk“, který má délku 128 bitů.

3.9 Energetická náročnost klíčenky

V době dokončování této diplomové práce nebyly vyrobeny plošné spoje, a proto byla změřena spotřeba na vývojových deskách. I při omezení parazitního odběru programátoru, bylo měření zatíženo určitou chybou.

3.9.1 Teoretické spotřeba

Klíčenka neobsahuje velké množství součástek, a proto se spotřeba redukovala zejména použitím nízkooběrových módů mikrokontroléru a snížením vysílacího výkonu. K dalšímu snížení spotřeby bylo i snížení času bliknutí LED a prodloužené periodě (1x za 10s).

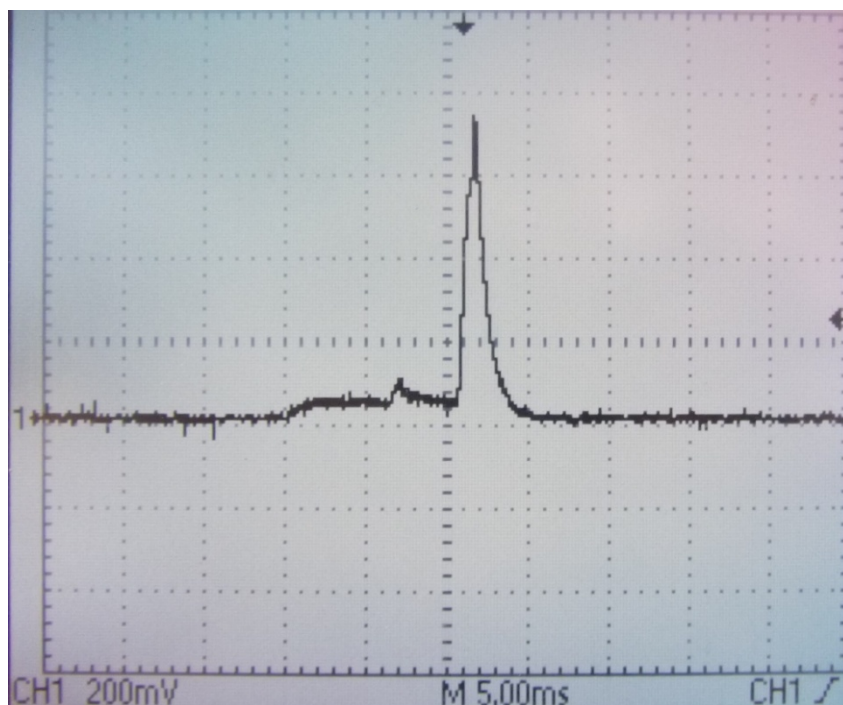
Odběr mikrokontroléru v LPM3 režimu by měl být 0.9uA při napájení 3.0V. V aktivním režimu je odběr 230uA/MHz přičemž mikrokontrolér je nastaven tak, aby po probuzení byl taktován z DCO o frekvenci právě 1MHz.

Odběr bezdrátového modulu je ovlivněn vysílacím výkonem. Vzhledem k požadavku na malý dosah, byl zvolen nejnižší možný vysílací výkon a to -18dBm. Při tomto výkonu je odběr 7mA. Při zvýšení výkonu na 0dBm je odběr přes 11mA. Odběr NRF24L01+ ve vypnutém stavu je pouhých 900nA.

3.9.2 Praktické měření spotřeba

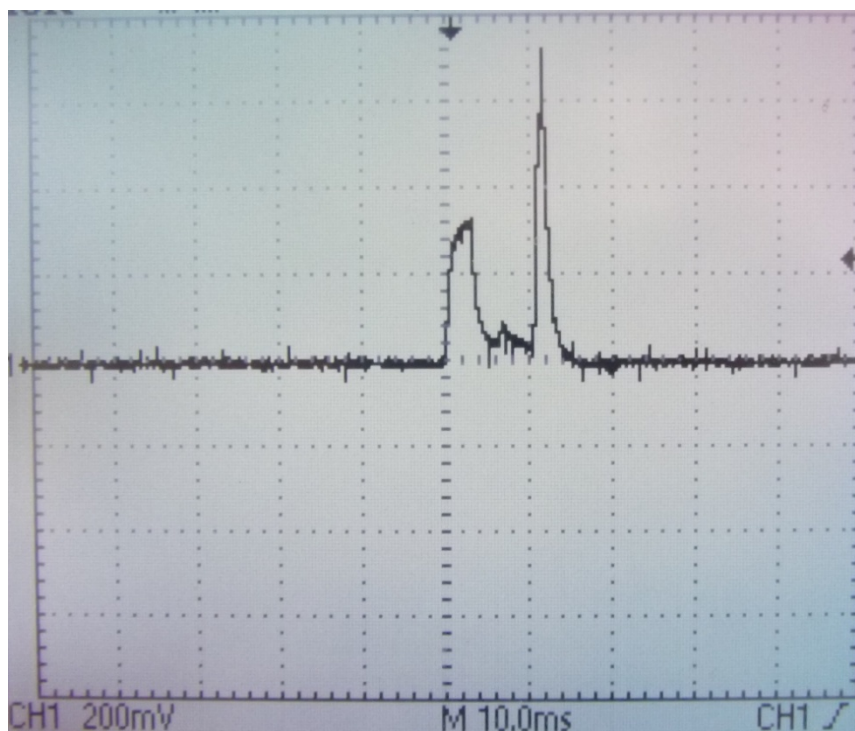
Měření spotřeby v aktivním režimu bylo provedeno na odporu $100\ \Omega$ (změřená hodnota $108\ \Omega$). Měření v uspaném režimu na odporu $10\text{k}\ \Omega$ (změřená hodnota $10\ 112\ \Omega$).

Obrázek 3.9.2a zobrazuje vysílací výkon -18dBm a rychlost přenosu 250kbps . Při této nízké rychlosti se prodlužuje potřebný vysílací dosah, ale zároveň je snížen vysílací výkon. Zobrazená špička dosahuje napětí 0.75V což v přepočtu znamená přibližný odběr 6.94mA . Před samotným vysíláním jsou ještě zapsána data do NRF24L01+, která se mají odeslat.



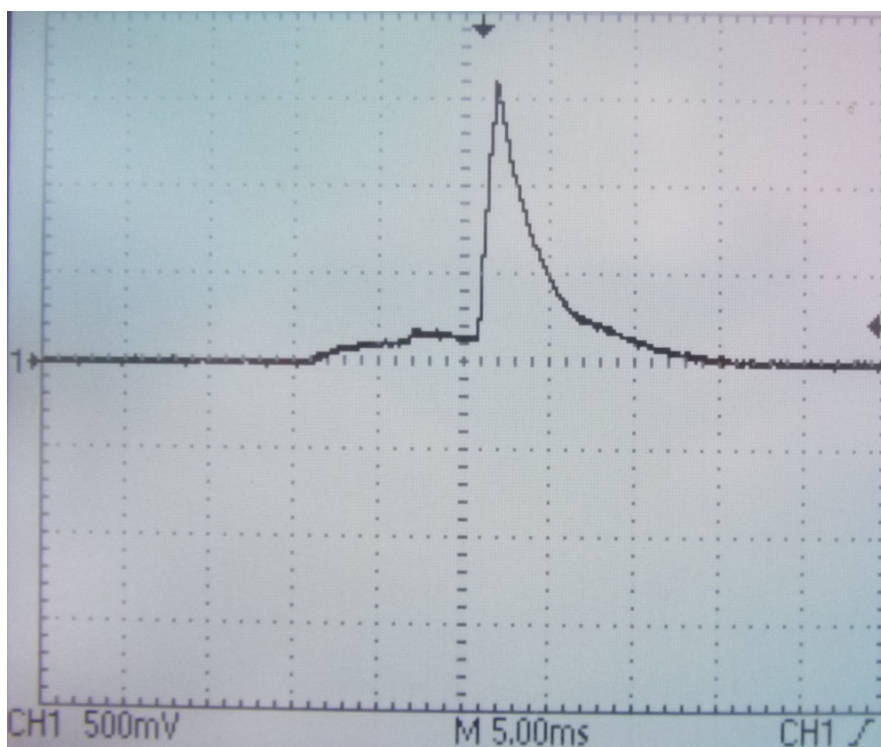
Obrázek 3.9.2a: Vysílání při výkonu -18dBm a rychlosti 250kbps

Obrázek 3.9.2b zobrazuje odběr při bliknutí LED. Na obrázku je zřetelně vidět krátkodobý odběr po dobu 3ms . Napěťová špička (první) znázorňující odběr LED je 0.3V . To představuje odběr 2.77mA po dobu 3ms .



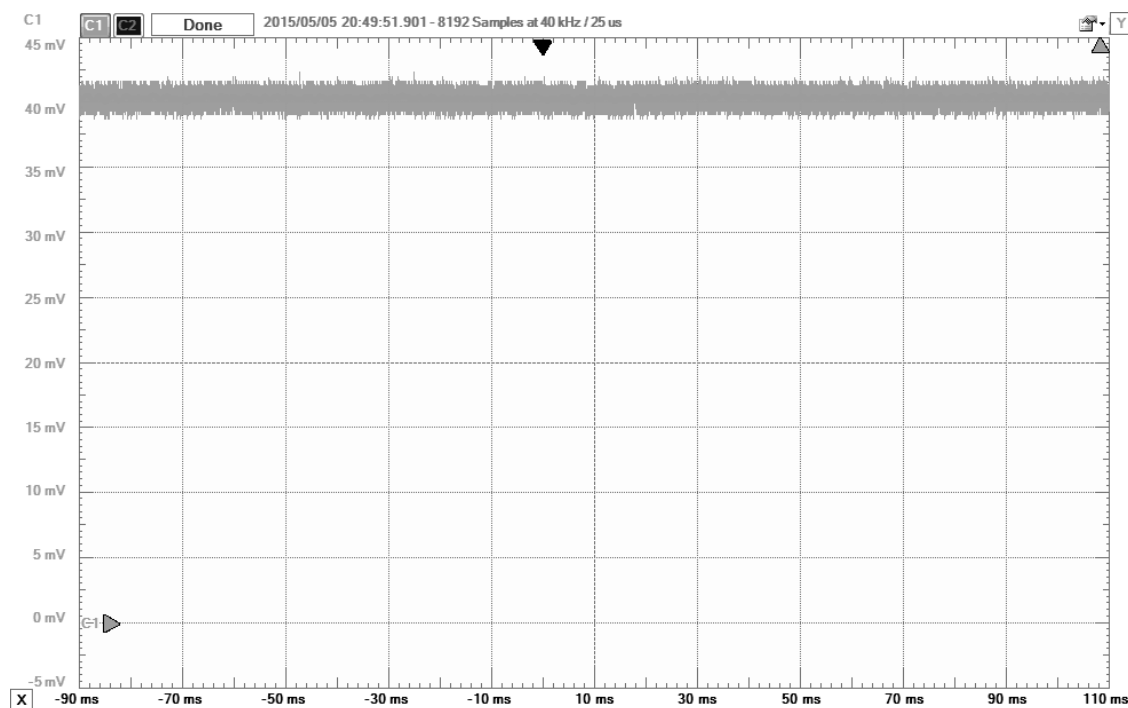
Obrázek 3.9.2b: Vysílání společně s bliknutím LED

Pro názornost je na *Obrázku 3.9.2c* zobrazen i odběr při plném vysílacím výkonu a rychlosti přenosu 2Mbps. Napěťová špička odpovídá napětí 1.68V, což odpovídá hodnotě proudu 15.5mA.



Obrázek 3.9.2c: odběr vysílacího modulu při výkonu 0dBm a rychlosti 2Mbps

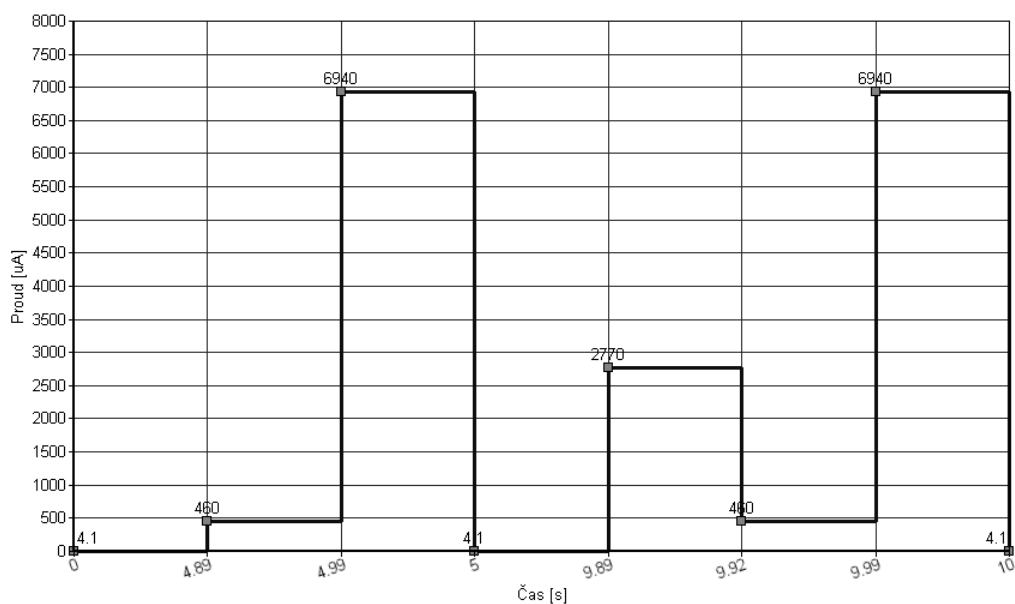
Poslední *Obrázek 3.9.2d* zobrazuje odběr při uspaném mikrokontroléru i vysílacího modulu. Zde je rozpor s teoretickým rozbořem, protože zde negativní vahou zasahovala spotřeba programátoru. I přes tuto chybu byl odběr v režimu spánku 4.1uA.



Obrázek 3.9.2d: odběr uspané klíčenky

Perioda byla stanovena na 10s. Na *Obrázku 3.9.2e* naleznete průběh odebíraného proudu klíčenkou.

Průběh odebíraného proudu klíčenky



Obrázek 3.9.2e: Průběh odebíraného proudu klíčenkou

	Perioda [us]:	10000000	
	Proud [uA]	Taktivni [us]	Celkem
	460,00	10 000,00	4 600 000,00
	6 940,00	1 000,00	6 940 000,00
	2 770,00	3 000,00	8 310 000,00
	460,00	7 000,00	3 220 000,00
	6 940,00	1 000,00	6 940 000,00
Klidovy rezim:	4,10	9 978 000,00	40 909 800,00
Celkem:			70 919 800,00
Spotřeba [uAh]:			7,09198
Kapacita Baterie [mAh]:	220		
Hodin:	31020,9560658659		
Dnu:	1292,5398360778		
Roku:	3,5412050304		

Obrázek 3.9.2f: Výpočet spotřeby klíčenky

Z naměřených údajů byla vypočtena spotřeba. Při použití baterie 220mAh vychází doba provozu na téměř 1292 dnů tedy tři a půl roku.

3.10 Energetická náročnost trackeru

Jak bylo zmíněno výše, měření bylo zatíženo chybou například připojeného programátoru. To se velkou vahou projevilo v měření spotřeby zejména mikrokontroléru. Proto bylo měření rozděleno na jednotlivé části pro minimalizaci chyb.

3.10.1 Teoretické spotřeba

Spotřeba akcelerometru by, podle katalogového listu, měla při nastavení low-power režimu a vzorkování 12.5Hz být 43uA.

Spotřeba bezdrátového modulu NRF24L01+ závisí na vysílacím výkonu (vysílač) nebo na přenosové rychlosti (přijímač). Při nastavení modulu jako přijímač a nastavené rychlosti 2Mbps je odběr, podle katalogového listu, 13.5mA. S ohledem na spotřebu byla zvolena přenosová rychlost 250kbps a odběr při příjmu by měl být 12.6mA. Modul ve vypnutém režimu by měl odebírat pouhých 900nA.

Odebíraný proud mikrokontroléru by měl být ve stop režimu se zapnutým WakeUp časovačem pouze 1.4uA. V aktivním režimu se spotřeba pohybuje okolo 185uA/MHz přičemž základní kmitočet je 4MHz z MSI, který je pro APB1 a 2 dělen na polovinu.

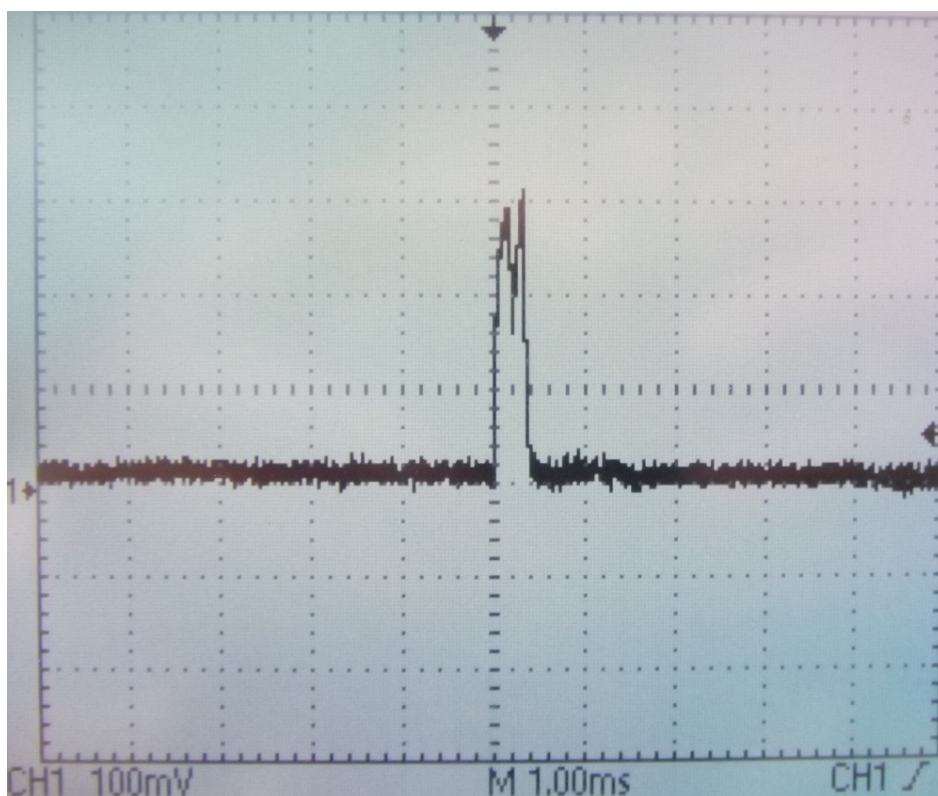
Odebíraný proud teplotního čidla je, podle katalogového listu, v uspaném režimu 800nA. Po aktivaci čidla a požadavku na změření teploty probíhá 29us konverze, při které by měl dosahovat odběr 1.1mA.

Odběr GSM/GPS modulu v zapnutém, ale klidovém stavu je 21mA. Při hovoru se odebíraný proud blíží 240mA. Tato hodnota platí pro GSM 850MHz pásmo. Tato hodnota není maximální, ale průměrná. Jak je psáno v katalogovém listu, změřené hodnoty jsou v laboratorních podmínkách. Hodnoty závisí na mnoha parametrech, zejména na vzdálenosti zařízení od aktivní BTS [17].

Při odesílání nebo příjmu dat je odběr 240mA v pásmu GSM 850MHz.

3.10.2 Praktické měření spotřeby

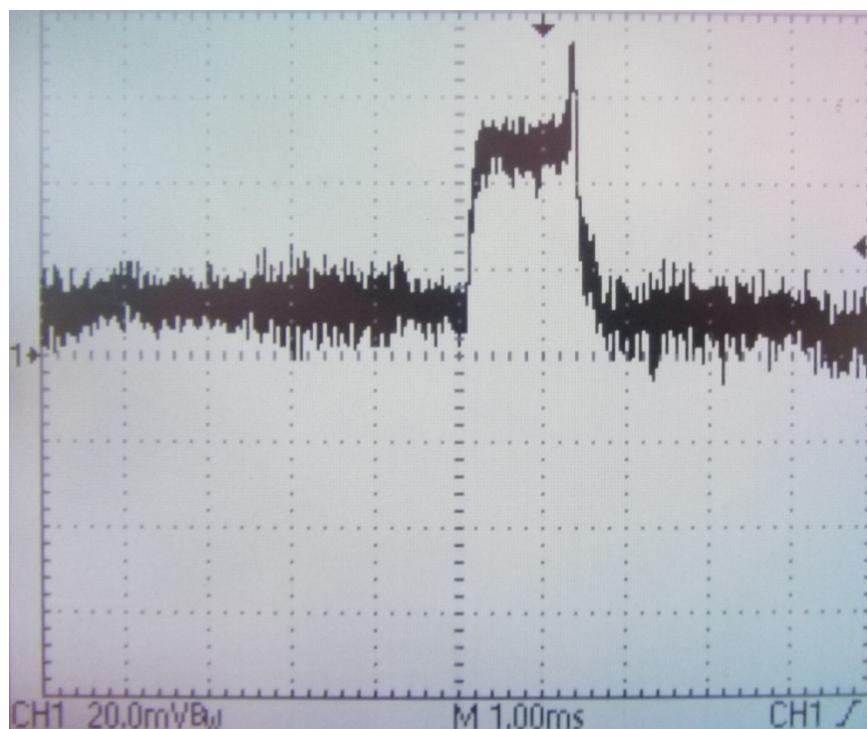
Jak bylo napsáno výše, měření bylo rozděleno na několik částí. V první části bylo změřeno čidlo teploty AD7415. Na *obrázku 3.10.2a* můžete vidět odběr při komunikaci s mikrokontrolérem a odeslání údajů o jednorázovém změření odběru.



Obrázek 3.10.2a: požadavek na změření teploty a následný one-shot převod

Tento průběh lze rozdělit na dvě části. Na levé straně lze vidět komunikaci s mikrokontrolérem, na pravé straně naopak velmi úzká napěťová špička dosahující napětí 305mV. V tomto momentu je změřeno napětí a dalších 800ms je prováděn převod teploty. Hodnota napětí 305mV odpovídá odběru 0.929mA při odporu 330 Ω (změřeno 328 Ω).

Další změřenou součástkou je akcelerometr ADXL312. Na *obrázku 3.10.2b* naleznete průběh měření. Jak bylo zmíněno, akcelerometr má nastavené velmi nízké vzorkování z důvodu snížení vlastní spotřeby. Zároveň je vzorkování dostatečné, aby akcelerometr identifikoval případný pohyb.



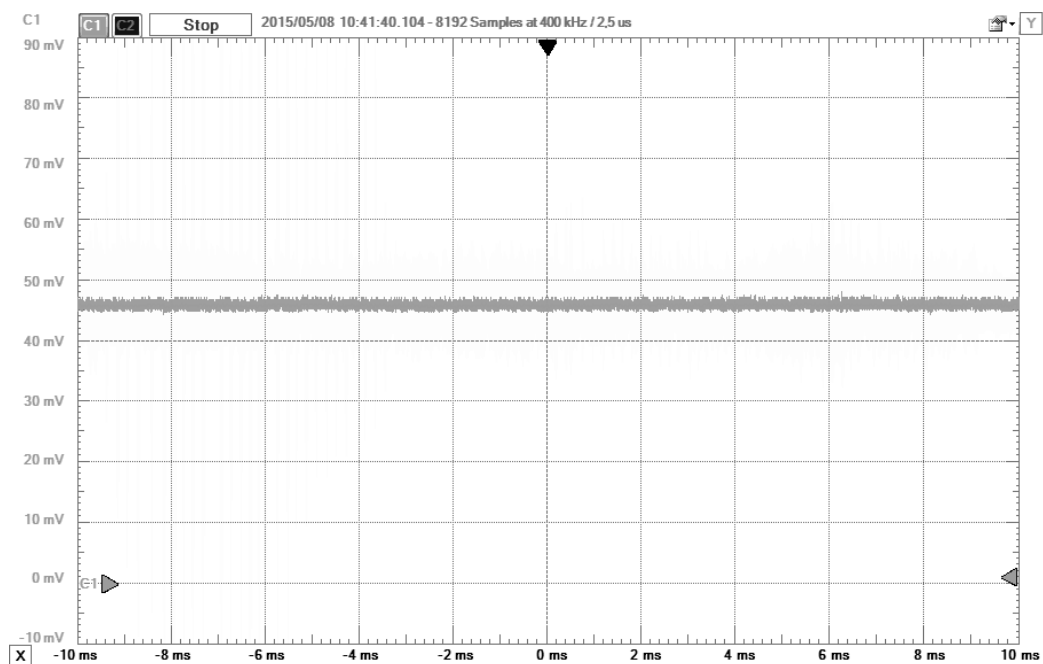
Obrázek 3.10.2b: zobrazení průběhu při měření akcelerace

Maximální napěťová špička dosahuje 75mV. To při odporu 328 Ω znamená špičkový odběr 228 μ A. Mimo toto měření je úbytek napětí na měřícím odporu zhruba 10mV respektive odběr zařízení 30.48 μ A. Při vzorkování 12.5Hz to odpovídá průměrné hodnotě proudu 34.18 μ A.

Měření vlastní spotřeby DC/DC měniče ADP2108 bylo velmi složité z důvodu významné změny v odběru při aktivaci zařízení. Při zapnutí obvodu dojde k velké proudové špičce a následkem toho dojde k tak velkému úbytku napětí, že se obvod dostane do stavu resetu. Při zmenšení odporu bylo měření významně ovlivněno okolním rušením. Po změření odběru ampérmetrem byla změřena vlastní spotřeba 18.5 μ A.

Podobný problém probíhal i u měření GSM/GPS modulu. Stejnou metodou jako DC/DC měnič byl tedy změřen i tento modul. Vlastní spotřeba ve vypnutém režimu byla 55 μ A.

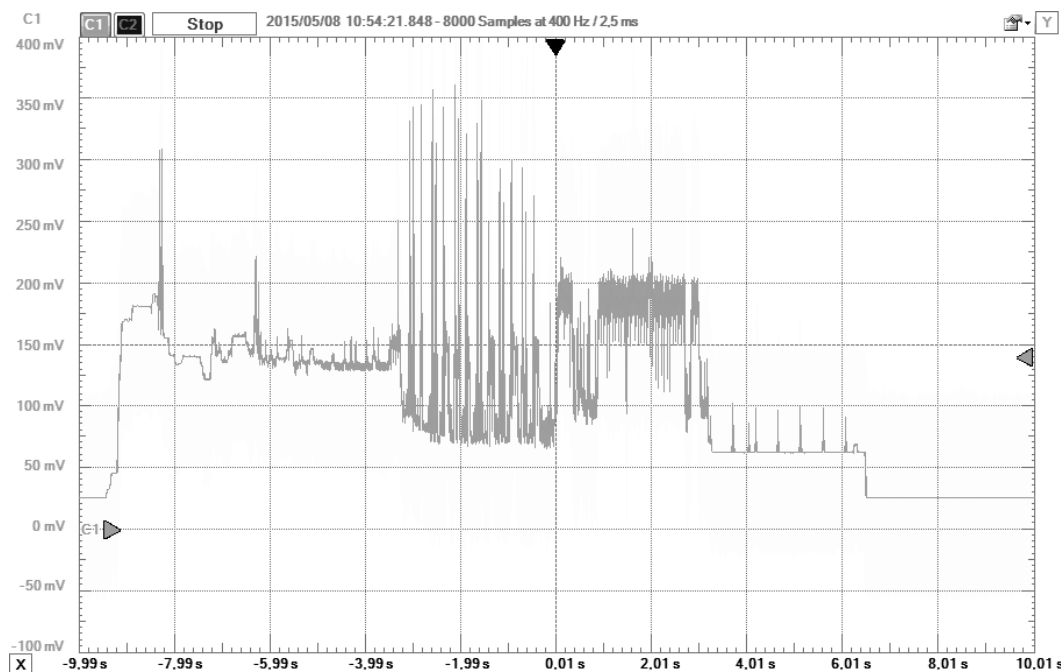
Na Obrázku 3.10.2c je vidět graf průběhu proudu ve vypnutém režimu. Měřící odpor byl 2.5 Ω .



Obrázek 3.10.2c: odběr ve vypnutém režimu se zapojenou anténou.

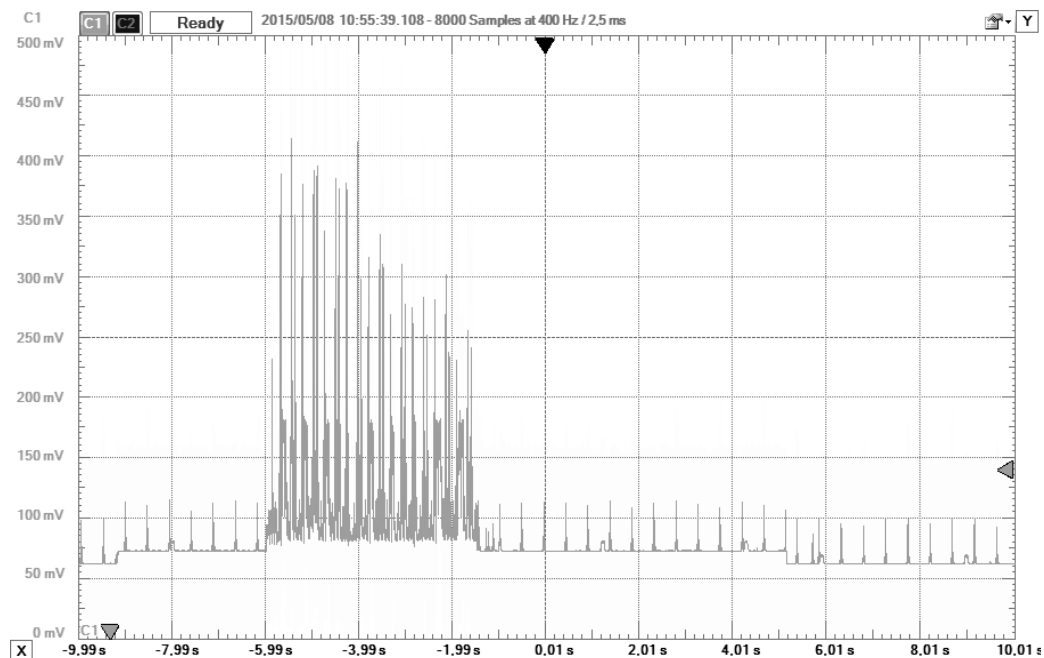
Po přepočítání odpovídá úbytek napětí proudu 18mA. To je způsobeno zapojením aktivní antény, která je na vývojové desce přímo připojena ke zdroji. Na navržené desce zařízení je spínání antény prováděno pomocí mikrokontroléru.

Na dalším průběhu, *Obrázek 3.10.2d*, lze vidět odběr při připojování do sítě. Jak bylo zmíněno v rozboru, modul odebírá velmi vysoké proudové špičky, které by měl pokrývat akumulátor a kondenzátory připojené blízko modulu.



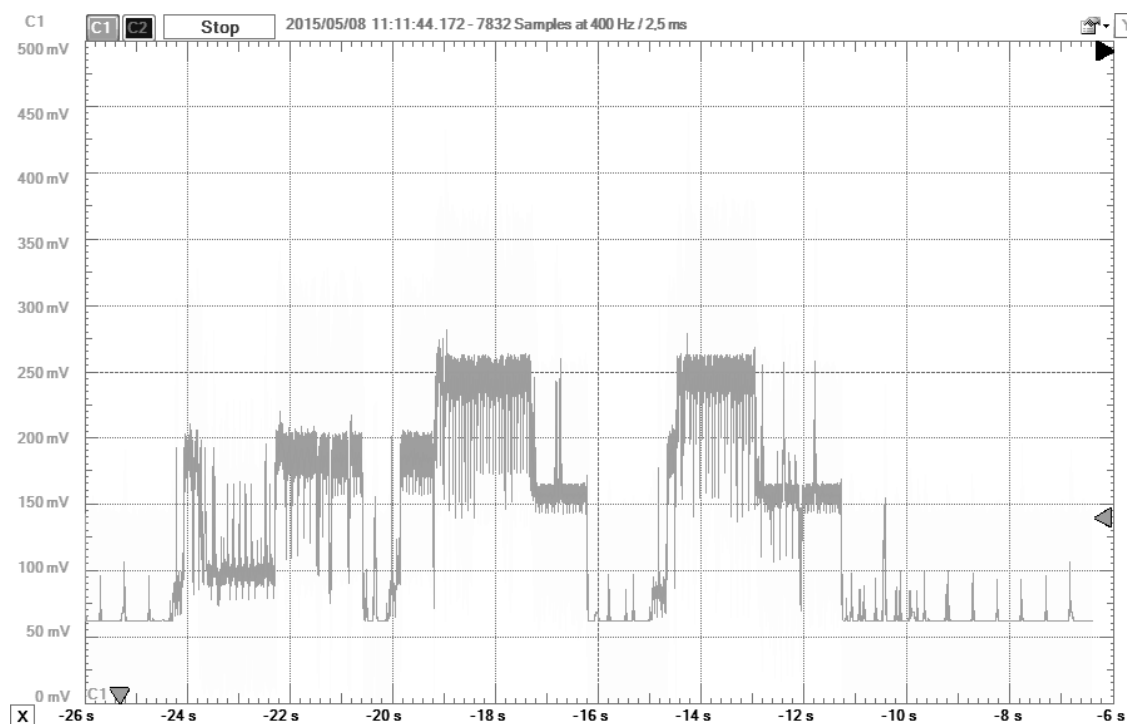
Obrázek 3.10.2d: Připojování modulu k mobilní síti

Odpor byl 1.3Ω , což při napěťové špičce 360mV odpovídá odběru 276mA. Po přihlášení je odběr přibližně 42mA. Odběr po přihlášení je lépe zobrazen na *Obrázku 3.10.2g*. Další průběh zobrazuje odběr při odesílání SMS. Měřicí odpor byl opět 1.3Ω . Odběr se pohyboval až k 350mA. Ten je vidět na *Obrázku 3.10.2e*.



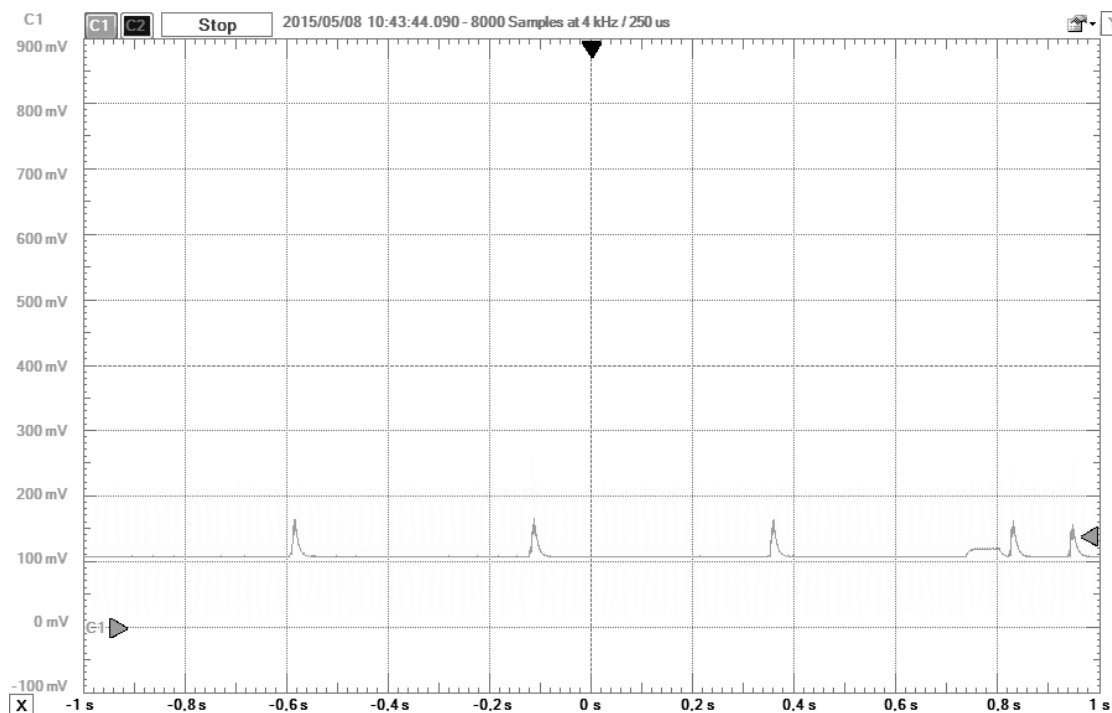
Obrázek 3.10.2e: Průběh při odesílání SMS

Dalším průběhem je přijetí dat z webové stránky pomocí TCP/IP spojení. Maximální odběr byl 210mA.



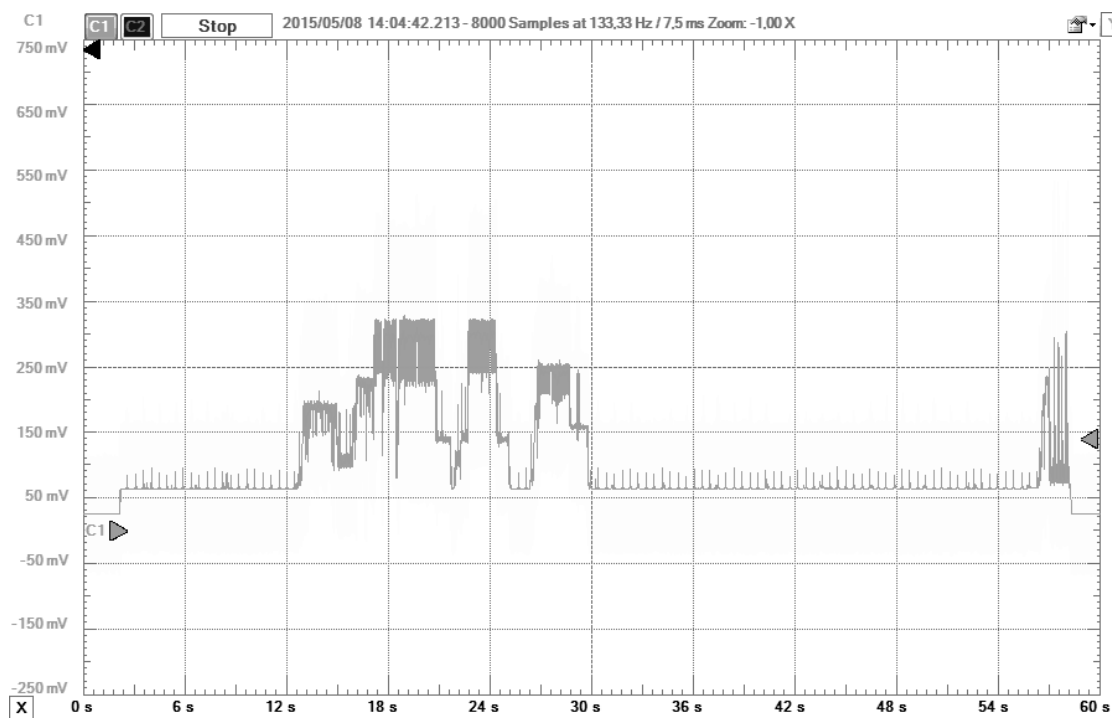
Obrázek 3.10.2f: Průběh při příjmu dat

Průběh při zapnutém klidovém režimu modulu. Odběr odpovídá 42mA při odporu 2.5 Ω . Ten je zobrazen na *Obrázku 3.10.2g*. Hodnota proudu zahrnuje i odběr aktivní antény – 18mA.



Obrázek 3.10.2g: Průběh odběru proudu v klidovém režimu po zapnutí.

Následující graf znázorňuje kompletní průběh proudu při pravidelné kontrole. Ten je zobrazen na *Obrázku 3.10.2h*.

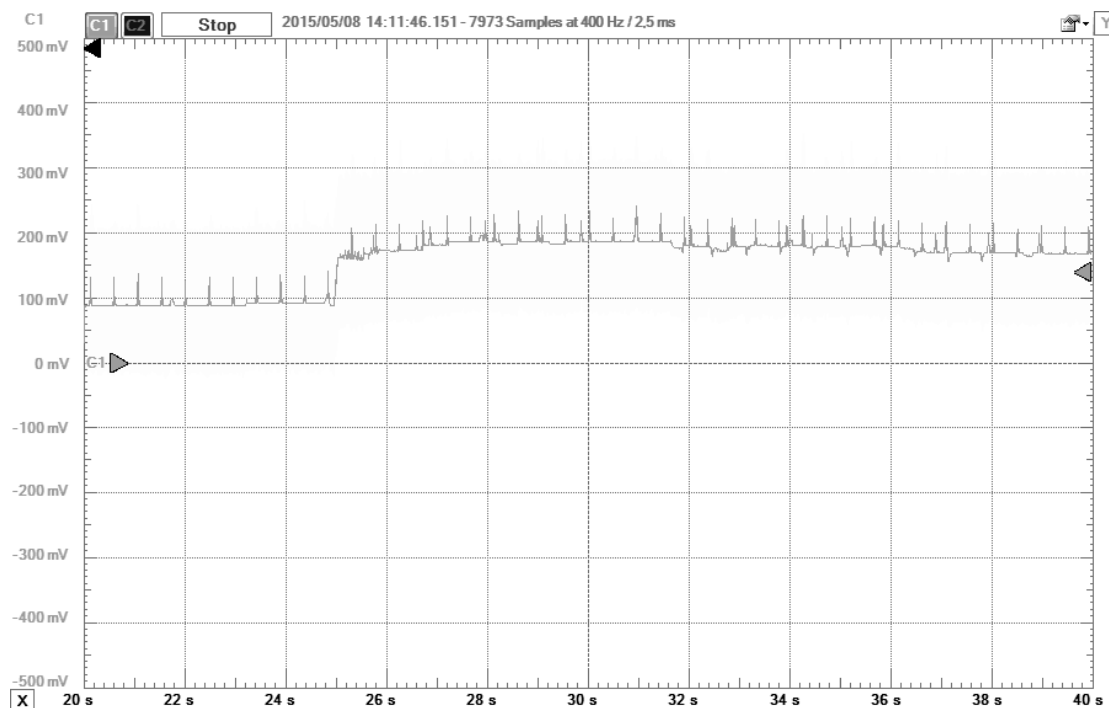


Obrázek 3.10.2h: Odběr při pravidelné kontrole

V první části se provádí kontrola spojení s modulem, kontrola spojení s mobilní sítí a registrace do sítě. V další části je vyžádáno internetové spojení a poté následuje stažení dat.

Po stažení jsou přijata data o aktuální BTS a síle signálu, přečtou se případně přijaté zprávy a popřípadě se provede požadovaná instrukce. Velká prodleva mezi čtením dat ze stránky a přečtením dat je způsobena nutností čekat na uzavření spojení. Z toho grafu byla vypočtena spotřeba (viz níže). Poslední významná událost je uzavření spojení se sítí – vypnutí modulu.

Další průběh zobrazuje odběr při zapnutí GPS.



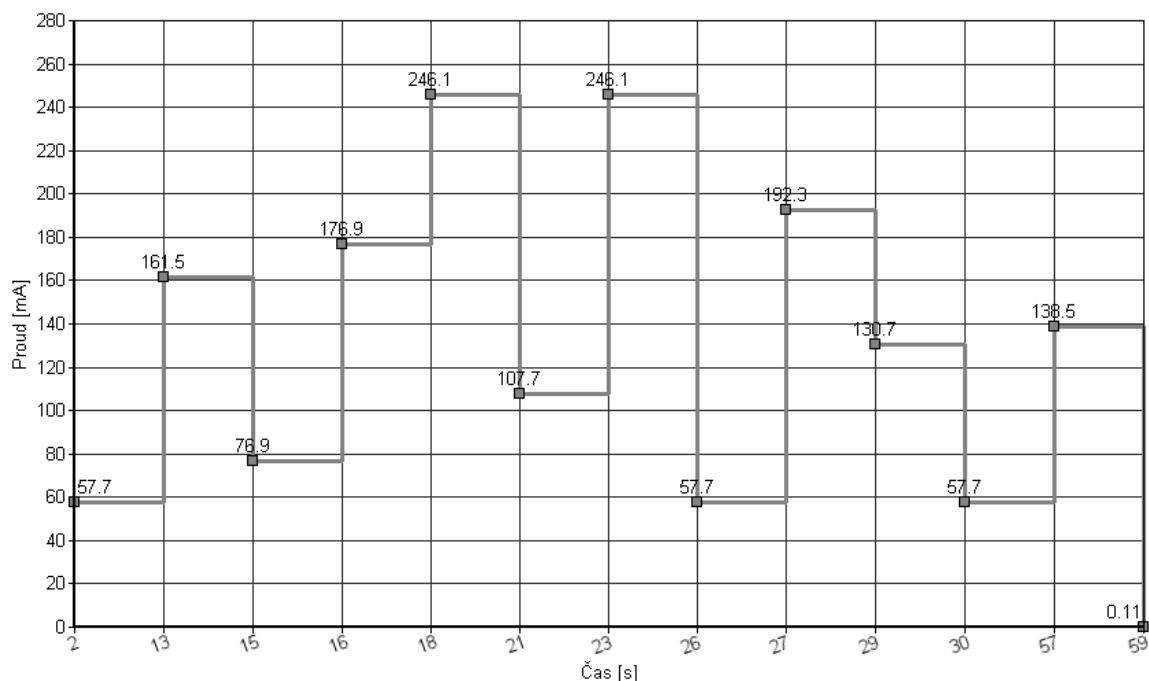
Obrázek 3.10.2i: Průběh odběru při zapnutí GPS.

Průměrný úbytek napětí v aktivním stavu činil 190mV, což představuje odběr 146mA při měřicím rezistoru 1.3 Ω .

Pokud bude zařízení vybaveno 1Ah akumulátorem (v zařízení je instalována 1,2Ah akumulátor) a pravidelná kontrola bude nastavena na 1x za hodinu, pak spotřeba bude následující.

Spotřeba v režimu spánku je složena ze spotřeby samotného mikrokontroléru – 1.4uA, spotřeby akcelerometru 34uA, teplotního čidla 0.8uA, spotřeby GSM/GPS modulu ve vypnutém stavu 55uA, vlastní spotřeby měniče ze 4.2V na 3.3V 18.5uA a nakonec spotřeby bezdrátového modulu ve vypnutém stavu 0.9uA.

Odběr zařízení při pravidelné kontrole



Obrázek 3.10.2i: Odběr zařízení při pravidelné kontrole

Následuje přibližný výpočet odběru z naměřených údajů.

Perioda [s]:	3600		
Ubytek [V]	Proud [mA]	Taktivni [s]	Celkem
0,07500	57,69231	39,00000	2250,00000
0,21000	161,53846	2,00000	323,07692
0,10000	76,92308	1,00000	76,92308
0,23000	176,92308	1,00000	176,92308
0,32000	246,15385	5,00000	1230,76923
0,14000	107,69231	2,00000	215,38462
0,25000	192,30769	2,00000	384,61538
0,17000	130,76923	1,00000	130,76923
0,18000	138,46154	2,00000	276,92308
Klidovy rezim:	0,11010	3545,00000	390,30450
Celkem:			5455,68912
Spotreba [mAh]:			1515,46920
Kapacita Baterie [mAh]:	1000		
Hodin:	659,8616460473		
Dnu:	27,494235252		
Roku:	0,0753266719		

Obrázek 3.10.2j: Tabulka vypočtených hodnot odběru

Z těchto údajů vychází doba provozu při kontrole pozice 1x za hodinu na 27 dní.

4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navržení hardwaru a softwaru zařízení pro online lokalizaci mobilních objektů. Dále vytvoření jednoduché webové administrace.

Byl navržen kencept celého zařízení.

Hlavním prvkem je zařízení v automobilu, tracker, který je ovládán přes SMS a nastavení přijímá skrze webové rozhraní. Zařízení přijímá povel k diagnostice, startu a ukončení lokalizace nebo jednorázové lokalizaci. Zařízení přijímá GPS souřadnice a další informace a odesílá je na server. Dalšími informacemi jsou data o aktuální BTS, čas příjmu dat, teplota zařízení a počet viditelných satelitů GPS. Při poruše komunikace s modulem jsou příkazy ukončeny timeoutem. Při vyvolání poplachu je hledána klíčenka a při jejím nenalezení je vyhlášen poplach. Při tomto poplachu jsou odesílána data na server.

Dalším zařízením je již zmíněná klíčenka, která v pravidelném intervalu 1x za 5 vteřin odesílá svůj kód. Klíčenka i tracker musí mít stejnou adresu při vysílání i příjmu. Jinak moduly příchozí zprávy ignorují.

Poslední částí práce je webové rozhraní. To slouží k nastavení zařízení a zobrazení polohy a dat o poloze objektu. Celá webová stránka je chráněna heslem. Nabízí možnost změny přístupového jména i hesla, změnu intervalu pravidelné kontroly trackeru, nastavení kódů klíčenek nebo nastavení až tří telefonních čísel a jejich pravomocí. Webová stránka zobrazuje polohu zařízení a přijímaných dat s možností vyčtení pouze části těchto dat podle času. Seznam přijatých bodů obsahuje odkaz, který přesměruje uživatele na stránku opencellid.org se souřadnicemi BTS, ke které bylo dané zařízení připojeno.

V práci je podrobně rozepsána spotřeba jednotlivých zařízení v různých situacích. Z naměřených hodnot byla vypočítána spotřeba a doba provozu jednotlivých zařízení.

S ohledem na nevyrobené plošné spoje v době dokončení této diplomové práce a tedy nemožnost změřit přesněji spotřebu zařízení jako celku, je měření zatíženo určitou chybou.

Nejvýznamnější chyba byla při měření samotného mikrokontroléru trackeru. Hodnota 1.4uA tedy vychází z katalogového listu. Při splnění podmínek přechodu do stop režimu.

Tato diplomová práce nabízí velký prostor pro další možný vylepšení a rozšíření funkcí. V prvotním plánu byla i možnost lokalizace pomocí viditelných BTS stanic. Tuto možnost modul podporuje a vypíše dostupné BTS a data o nich. Bohužel, možnost lokalizace pomocí dostupných BTS je patentován společností Google Inc. Uživatel by si tedy musel zajistit klíč, aby tuto zpoplatněnou službu mohl využívat. Proto byla zvolena bezplatná varianta zobrazení pouze pozice BTS, ke které je modul připojen.

Dalším vylepšením by bylo celkové zabezpečení serveru i komunikace. I když komunikace s webovou stránkou probíhá skrze mobilní připojení, je zde stále nebezpečí odposlechnutí komunikace. I komunikace mezi klíčenkou a zařízením by mohlo být lépe zabezpečená a bylo by vhodné do něj vložit nějaký prvek náhodnosti.

Samozřejmým zlepšením by bylo rozšíření možností nastavení a instrukcí jak z webové stránky, tak i přes SMS příkazy.

Literatura

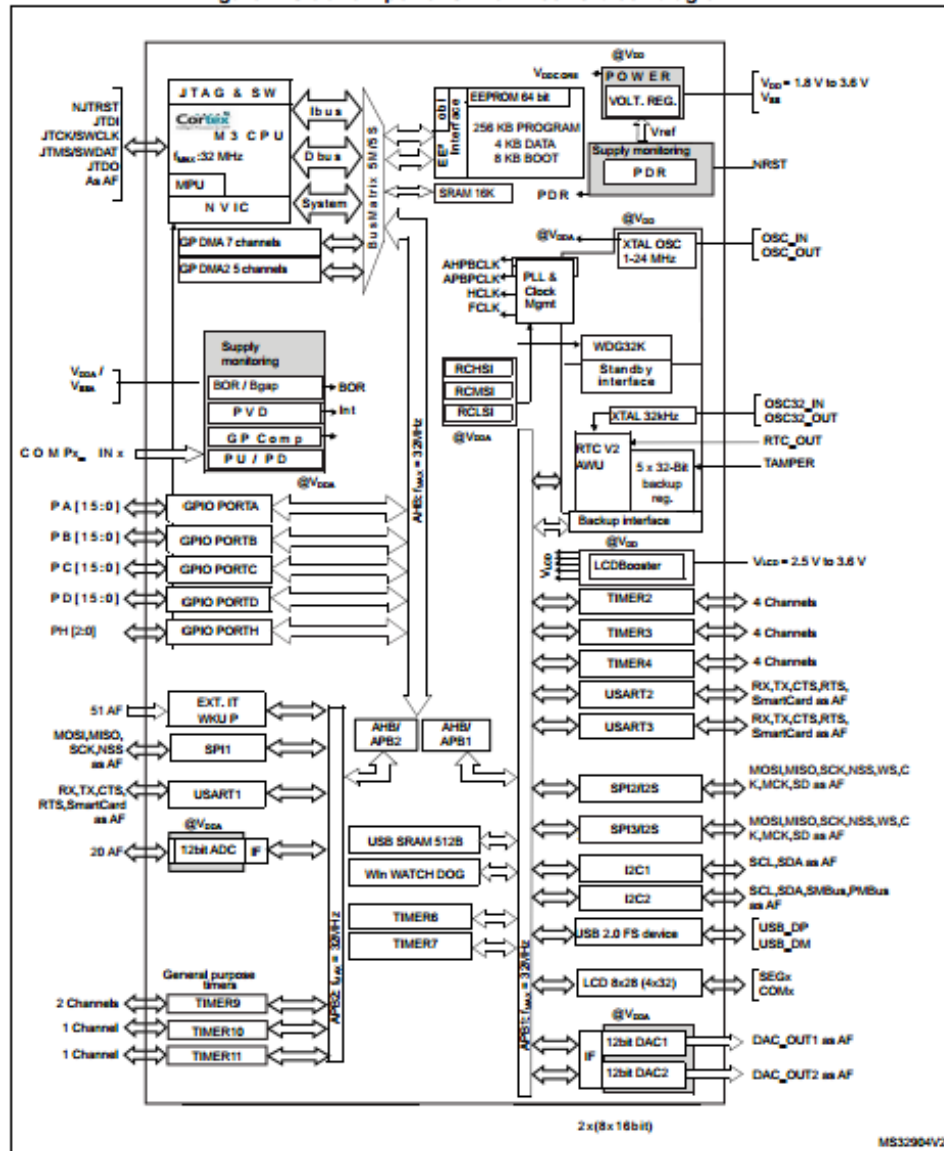
- [1] Seznam a.s. Podmínky použití API mapových podkladů [online]. Poslední změna 2015 [Cit. 21.2.2015]. Dostupné z: <https://api.mapy.cz/#pact>
- [2] Google Inc. Podmínky použití API mapových podkladů [online]. Poslední změna 17.2.2015 [Cit. 21.2.2015]. Dostupné z: <https://developers.google.com/maps/faq#usagelimits>
- [3] Cellevia batteries. Product specification [online]. Poslední změna 12.8.2013 [Cit. 12.3.2015]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/Document/da393c6aaa1aa0ae582591b44eaeafac/ACCU-LP573450_CL.pdf
- [4] Pureenergy. Datasheet [online]. Poslední změna březen 2004 [Cit. 12.3.2015]. Dostupné z: http://aphnetworks.com/review/pure_energy_xl/xlaaa_tds.pdf
- [5] Energizer. Application manual [online]. Poslední změna 2010 [Cit. 12.3.2015]. Dostupné z: http://data.energizer.com/PDFs/nickelmetalhydride_appman.pdf
- [6] Texas Instruments. Datasheet LM2576 [online]. Poslední změna červen 2014 [Cit. 11.3.2015]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>
- [7] Microchip. Datasheet MCP73832T [online]. Poslední změna 2008 [Cit. 11.3.2015]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001984g.pdf>
- [8] Analog Devices. Datasheet ADP2018 [online]. Poslední změna červen 2014 [Cit. 11.3.2015]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP2108.pdf>
- [9] Nordic semiconductor. Datasheet NRF24L01+ [online]. Poslední změna září 2008 [Cit. 21.2.2015]. Dostupné z: <https://www.nordicsemi.com/kor/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>
- [10] Hoperf electronic. Datasheet RFM73 v2.0 [online]. Poslední změna 2006 [Cit. 21.2.2015]. Dostupné z: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM73-Datasheet-V2.0.pdf>
- [11] Analog Devices. Datasheet ADXL377. [online]. Poslední změna leden 2012. [Cit. 22.2.2015]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL377.pdf>
- [12] InvenSense Inc. Datasheet MPU6050. [online]. Poslední změna leden 19.8.2013. [Cit. 22.2.2015]. Dostupné z: <http://www.invensense.com/mems/gyro/documents/PS-MPU-6000A-00v3.4.pdf>
- [13] Analog Devices. Datasheet ADXL312. [online]. Poslední změna leden 2010.

- [Cit. 22.2.2015]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL312.pdf>
- [14] Analog Devices. Datasheet AD7414/AD7415. [online]. Poslední změna leden 2010. [Cit. 22.2.2015]. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7414_7415.pdf
- [15] Microchip. Datasheet MCP9802. [online]. Poslední změna duben 2010. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21909d.pdf>
- [16] Maxim. Datasheet LM75. [online]. Poslední změna březen 2009. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/LM75.pdf>
- [17] SIM com. Datasheet SIM908. [online]. Poslední změna květen 2012. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://wm.sim.com/producten.aspx?id=1024>
- [18] 2j antenna concepor. Datasheet 2J620P. [online]. Poslední změna - [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: http://www.soselectronic.cz/a_info/resource/c/2J/2J620P.pdf
- [19] Texas Instruments. Datasheet MSP430F5529. [online]. Poslední změna květen 2013. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/msp430f5529>
- [20] ST Microelectronics. Datasheet STM32L100RC. [online]. Poslední změna září 2014. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00090183.pdf>
- [21] ST Microelectronics. Datasheet STM32L152RC. [online]. Poslední změna leden 2015. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00277537.pdf>
- [22] FEL ČVUT. Popis rozhraní JTAG [online]. [Cit. 4.5.2015]. Dostupné z: <http://noel.feld.cvut.cz/vyu/ap2/JTAGmoje.htm>
- [23] Texas Instruments. Datasheet MSP430G2553 [online]. Poslední změna leden 2012. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/msp430fg2553>
- [24] Atmel. Datasheet ATTinny13V [online]. Poslední změna srpen 2010. [Cit. 4.3.2015]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2535.pdf>
- [25] Atmel. ATmega8A [online]. Poslední změna únor 2013. [Cit. 4.4.2015]. Dostupné z http://www.atmel.com/Images/Atmel-8159-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8A_datasheet.pdf

- [26] Texas Instruments. JTAG (MSP430) [online]. Poslední změna září 2014.
[Cit. 4.4.2015]. Dostupné z: [http://processors.wiki.ti.com/index.php/JTAG_\(MSP430\)](http://processors.wiki.ti.com/index.php/JTAG_(MSP430))
- [27] Infineon. TLE6365 PCB Layout and EMC Filtering . Poslední změna duben 2015.
[Cit. 6.5.2015]. Dostupné z: http://www.infineon.com/dgdl/Infineon-TLE6365-AN-v01_01-EN.pdf?fileId=db3a30431ddc9372011e4a2bea0b70ff&ack=t

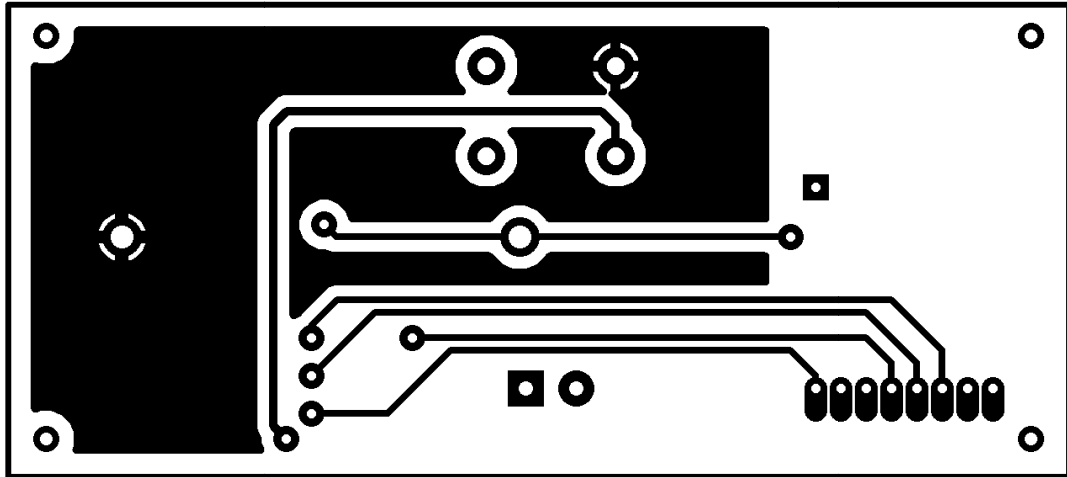
PŘÍLOHY

A Blokové schéma STM32L100

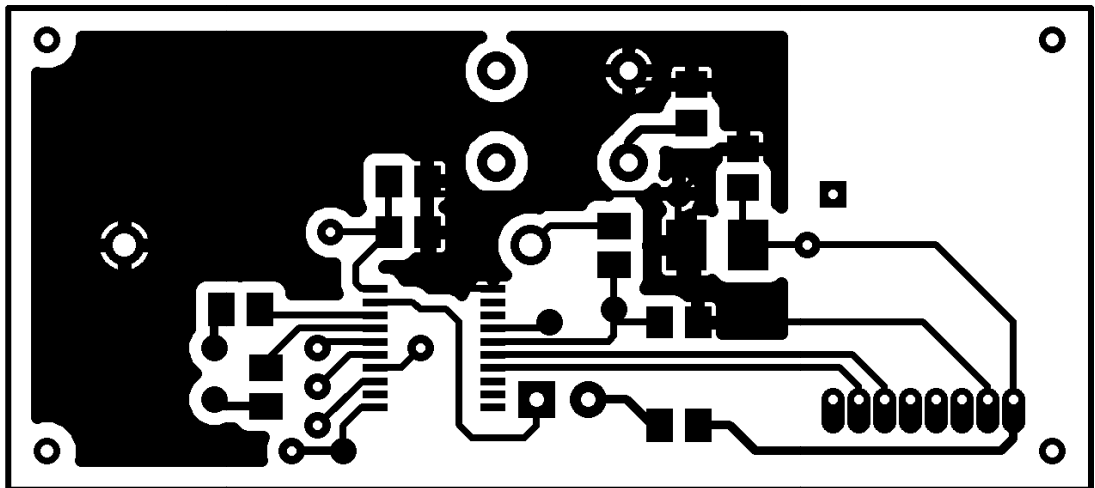


Blokové schéma STM32L100 [11]

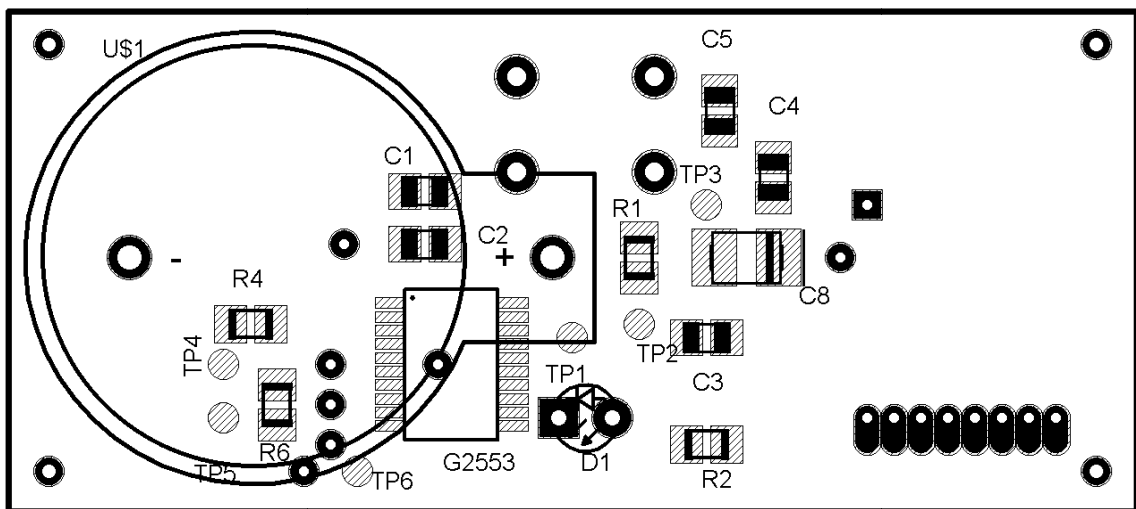
C Deska plošného spoje klíčenky



BOTTOM strana DPS klíčenky



TOP strana DPS klíčenky



Rozmístění součástek klíčenky

D Schéma zapojení mikrokontroléru STM32L100

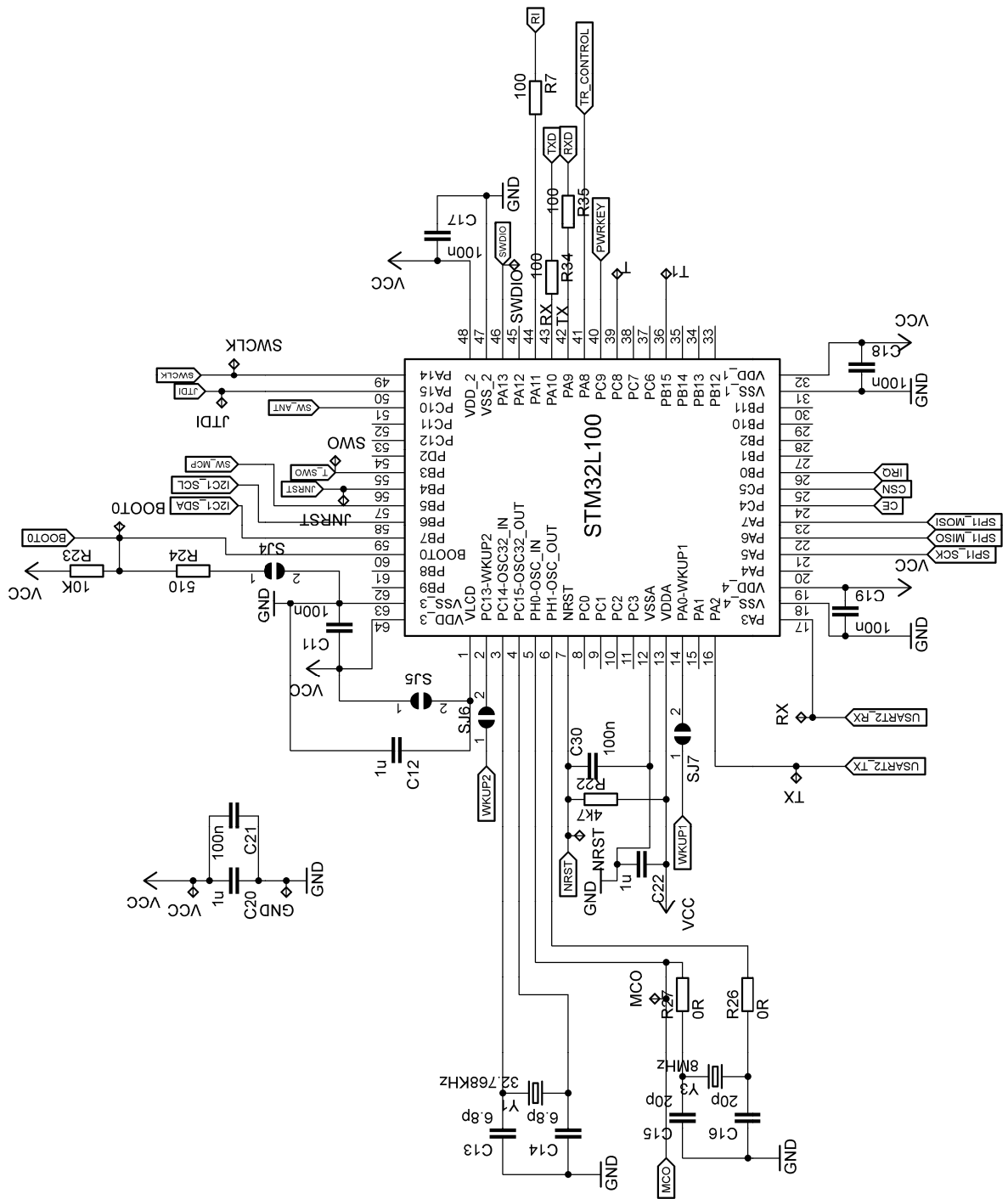


Schéma zapojení mikrokontroléru STM32L100

F Schéma zapojení zbylých součástí zařízení

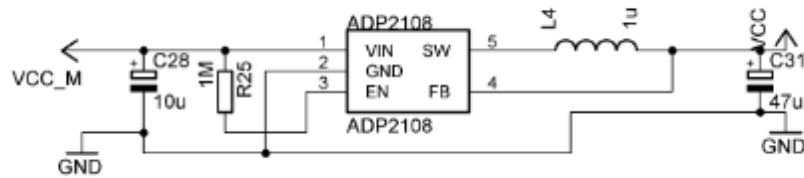


Schéma zapojení měniče napětí ADP2108

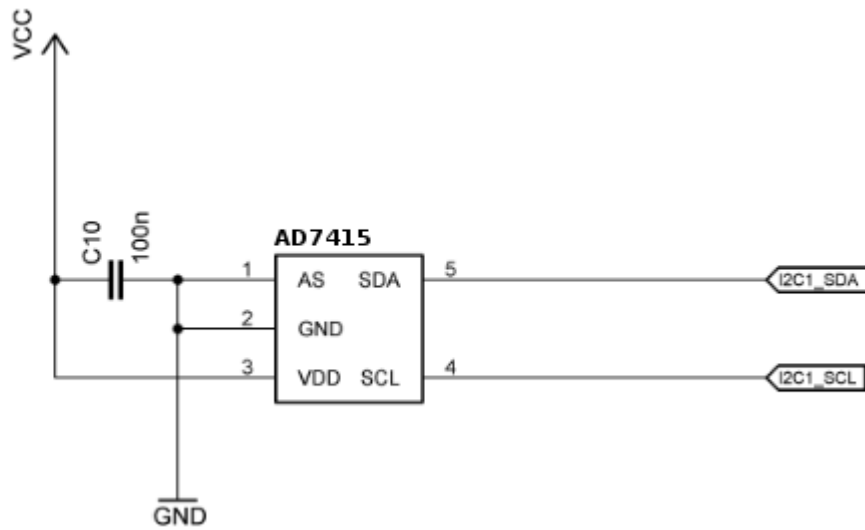


Schéma zapojení teplotního čidla AD7415

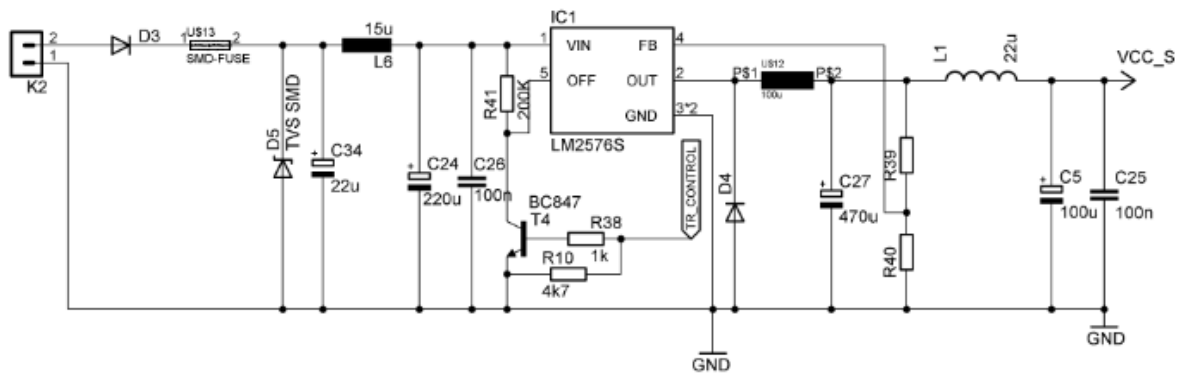


Schéma zapojení měniče napětí LM2576S

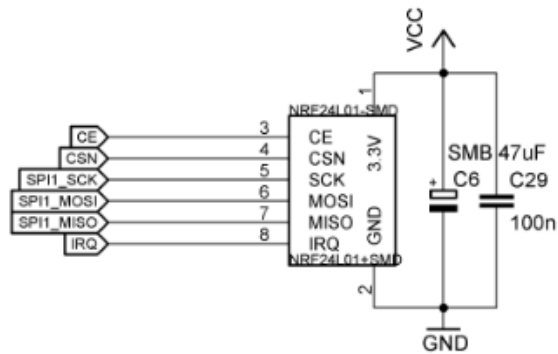


Schéma zapojení bezdrátového modulu NRF24L01+

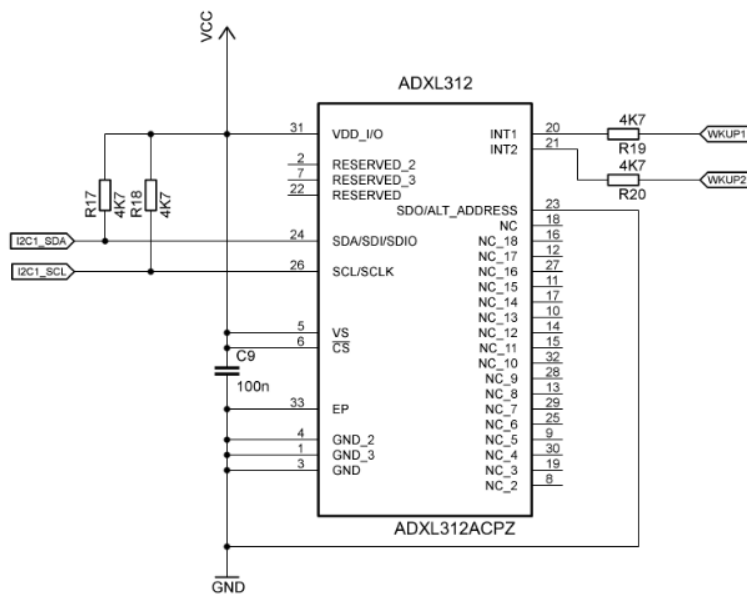


Schéma zapojení akcelerometru ADXL312

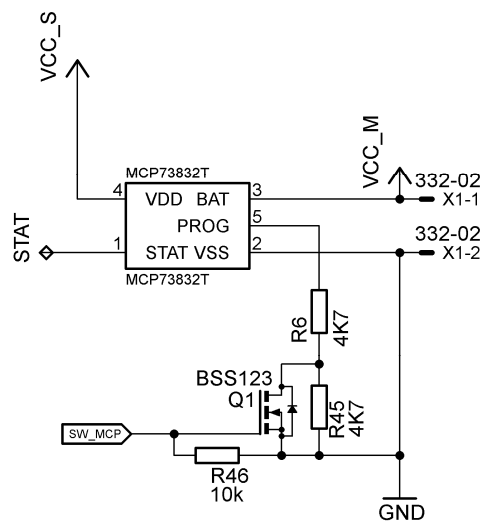
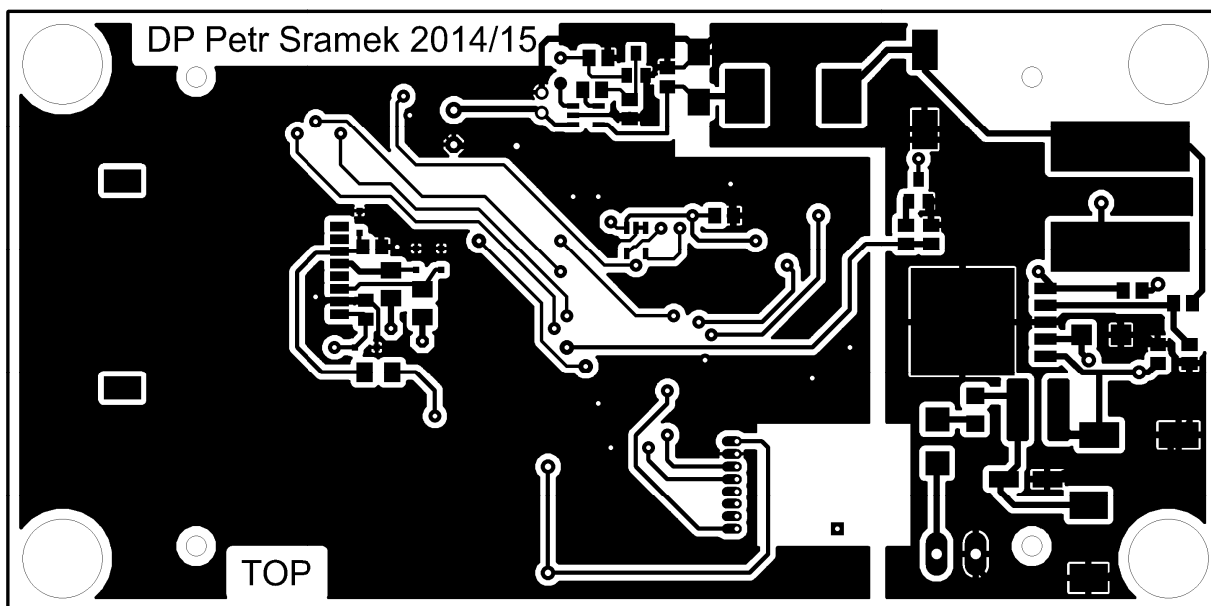
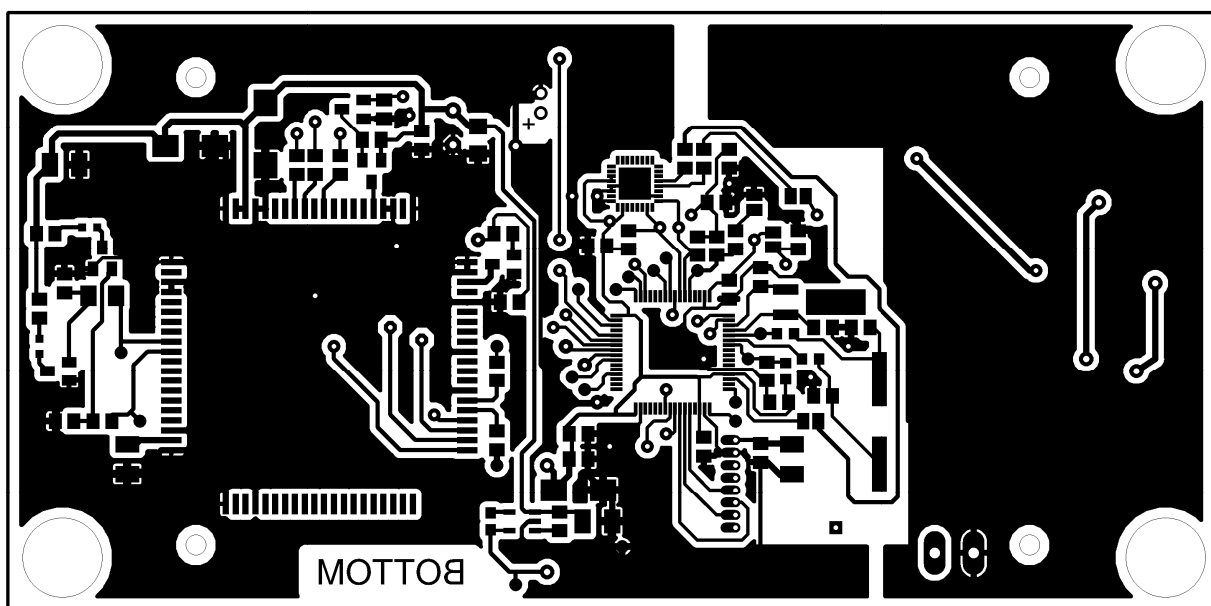


Schéma zapojení nabíjecího obvodu MCP73832T

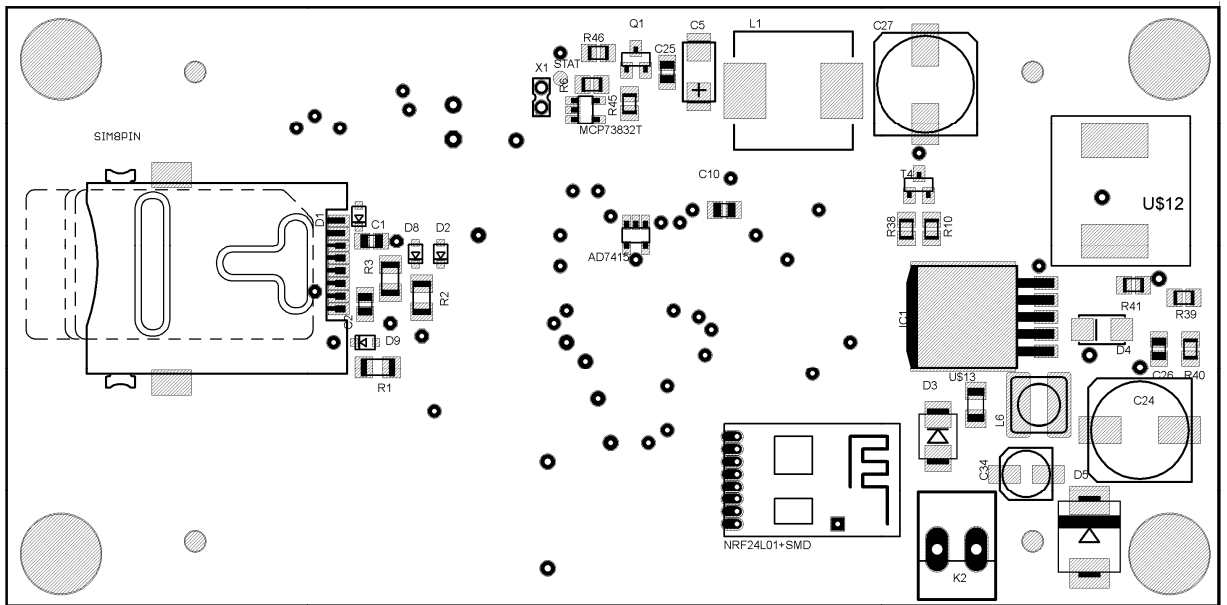
G Deska plošného spoje trackeru



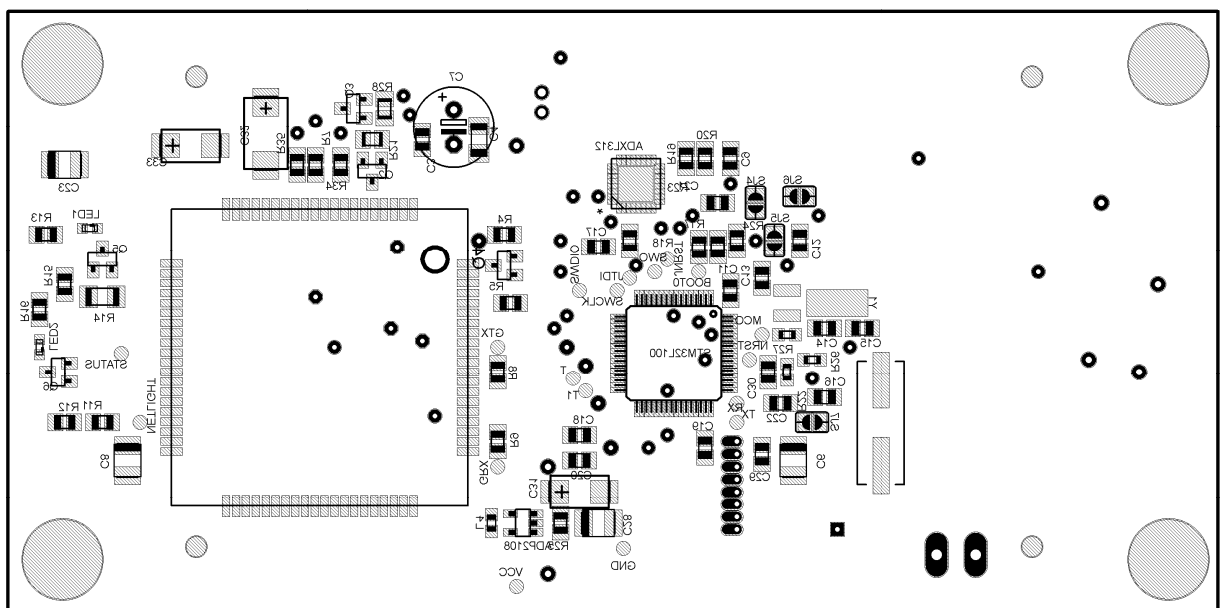
TOP strana plošného spoje



BOTTOM strana plošného spoje



Rozmístění součástek z TOP strany



Rozmístění součástek z BOTTOM strany