

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BLUETOOTH GPS LOGGER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

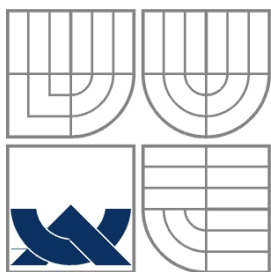
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

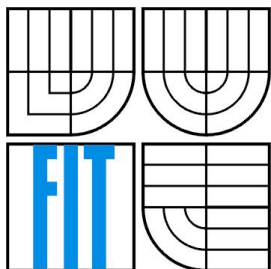
AUTHOR

JAN VYMĚTAL

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BLUETOOTH GPS LOGGER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN VYMĚTAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. ZDENĚK VAŠÍČEK

BRNO 2009

Abstrakt

Tato práce pojednává o návrhu autonomního zařízení s nízkou spotřebou, které provádí záznam dat z externí GPS prostřednictvím integrovaného Bluetooth modulu se sériovým přenosem.

Abstract

This thesis deals with design of autonomous low-consumption device which is logging dates from external GPS through Bluetooth serial transferring module.

Klíčová slova

MSP430, Bluetooth, GPS, FLASH, SD, Vestavěné systémy

Keywords

MSP430, Bluetooth, GPS, FLASH, SD, Embedded Systems

Citace

Vymětal Jan: Bluetooth GPS logger, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2009

Název bakalářské práce v jazyce práce

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Vašíčka. Další informace mi poskytl Ing. Josef Strnadel, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Jan Vymětal
27. května 2009

Poděkování

Za podporu a pomoc při vypracování práce děkuji svému vedoucímu Ing. Zdeňkovi Vašíčkovi, Ing. Václavovi Šimkovi a Ing. Josefu Strnadlovi, Ph.D.

© Jan Vymětal, 2009

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	3
2 Navigace pomocí GPS	4
2.1 SiRF	5
2.2 NMEA.....	5
3 Protokol Bluetooth.....	7
3.1 Bluetooth Stack.....	7
3.2 Bluetooth profile	8
4 Elektronické paměti	8
4.1 Flash.....	9
4.2 Secure Digital	10
5 Mikrokontrolery MSP430x2xx.....	11
5.1 Základní hodinový modul	12
5.2 Přerušení.....	13
5.3 Časovače	14
5.4 Univerzální sériové rozhraní	14
5.4.1 UART	14
5.4.2 SPI.....	15
6 Stejnosměrné měniče napětí.....	16
7 Návrh plošných spojů.....	16
7.1 SMT	17
7.2 Eagle	17
8 Dynamické zobrazování.....	18
9 Knihovna libfitkit.....	18
10 Etapy vývoje.....	19
10.1 Návrh.....	19
10.1.1 Logger	19
10.1.2 FITkit.....	20
10.2 Výběr komponent	20
10.2.1 Bluetooth modul.....	20
10.2.2 Mikrokontroler	20
10.2.3 SS měnič	21
10.2.4 GPS	21
10.3 Výroba plošného spoje.....	21

10.4	Osazování	22
10.5	Oživování	22
10.5.1	Odstraňování problémů	22
10.5.2	. Programování mikrokontroleru	23
10.6	Implementace	23
10.6.1	Vývoj firmware.....	23
10.6.2	Popis funkce programu	23
10.7	Ladění.....	24
10.8	Testování	24
11	Závěr	25
12	Literatura.....	26
13	Seznam obrázků.....	27

1 Úvod

Protokol Bluetooth je v současné době jedním z nejrozšířenějších standardů pro výměnu dat na krátké vzdálenosti.

Díky své variabilitě se vyskytuje v mnoha oblastech lidského působení.

Tato práce pojednává o návrhu autonomního zařízení s nízkou spotřebou, které provádí záznam dat z externí GPS prostřednictvím integrovaného Bluetooth modulu se sériovým přenosem.

V prvních částí Vás má seznámit s použitými technologiemi a v dalších je uvede do vzájemných souvislostí.

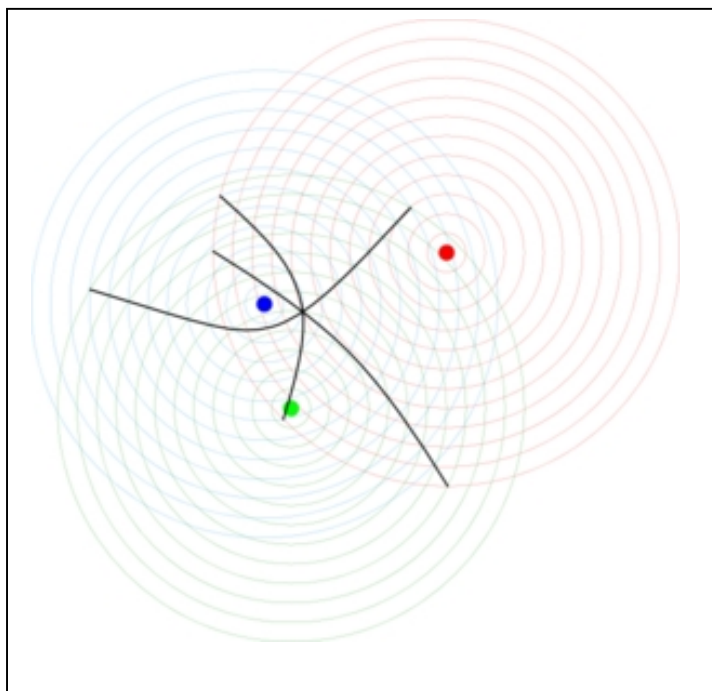
2 Navigace pomocí GPS

Než začneme rozebírání detailů, bude dobré nejprve zmínit několik základních informací týkajících se GPS neboli Global Positioning System, jak zní celý název.

Jde o „vojenský družicový systém, který provozuje Ministerstvo obrany Spojených států amerických provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických, s jehož pomocí je možno určit polohu a přesný čas kdekoli na Zemi nebo nad Zemí s přesností první desítky metrů. Přesnost GPS lze s použitím dalších metod ještě zvýšit až na jednotky centimetrů. Část služeb tohoto systému s omezenou přesností je volně k dispozici i civilním uživatelům.“ (1)

Principem určování polohy je soustava družic, obíhající kolem Země vysílajících elektromagnetické vlny. Družice jsou seřizeny tak, aby všechny vyslaly k zemskému povrchu v přesně stanovený okamžik signál. Jelikož je rychlost jeho šíření ze všech směrů směrem k přijímači na zemském povrchu téměř stejná (299 792 458 m/s pro vakuum), můžeme změřit rozdíly v časech, za které signály dorazily od jednotlivých družic a s jejich pomocí vypočítat svou polohu. (1)

Možná pozice přijímače mezi dvěma družicemi v dvojrozměrném prostoru leží na hyperbole, poněvadž všechny body, které jsou její součástí, mají takovou vlastnost, že k nim signál putoval po stejně dlouhou dobu. Pro zjištění pozice v dvojrozměrném prostoru tak potřebujeme, abychom měli alespoň tři družice. Vzniknou tak tři hyperboly, přičemž průsečíkem libovolných dvou z nich se určí výsledná pozice (viz Obrázek 2.1). (2)



Obrázek 2.1 Odvození pozice přijímače v 2D

Pro určení pozice v trojrozměrném je prostoru jsou potřeba alespoň čtyři družice, neboť je potřeba určit i výškovou souřadnici. Výpočet je zde složitější a je založen na principu vypočtení průniku alespoň tří ze šesti dostupných hyperboloidů. (2). Systém GPS je schopen, byť nepřesně, pracovat i v D2 režimu, kdy si za třetí chybějící hyperboloid dosadí Zemský povrch (2), respektive geoid (3), jenž jej co nejpřesněji aproximuje, specifikovaný v souřadnicovém systému WGS 84. (4)

Systém GPS v současné době tvoří 32 satelitů obíhajících rychlostí přibližně 3,8 km/s v průměrné výšce 20 200 km nad zemským povrchem. Více satelitů není možné přidat, jelikož by

došlo ke změně formátu odesílaných dat. Pro plnou operační schopnost systému však stačí pouze 24 satelitů. V současnosti jsou satelity rozmístěny nepravidelně na šesti oběžných drahách. V závislosti na jejich aktuálním rozmístění a terénních podmínkách je na jednom místě na Zemi možno přímo přijímat signál až z deseti satelitů. (1) V závislosti na vzájemném rozmístění družic se mění i přesnost vypočtených souřadnic.

Mezi další vlivy působící na přesnost GPS patří tyto: (2)

- zpoždění signálu v ionosféře (dráhy signálu zakřivena); 10 metrů
- zpoždění signálu v troposféře (vliv počasí); 1 metr
- vychýlení družice z udávané polohy (tzv. ephemeris error); 1 metr
- nepřesnost hodin umístěných v družici; 1 metr
- příjem falešných odražených signálů (tzv. multipath error); 0.5 metrů
- vlastní šum přijímače; 2 metry
- šum na straně vysílače (družice); 1 metr
- stíněný příjem signálu

Komunikace mezi GPS přijímačem a satelitem je jednostranná. (5)

2.1 SiRF

Mezinárodní firma SiRF Technology Holdings, Inc je jedním z největších výrobců patentovaných GPS chipsetů. Tyto chipsety jsou stavěny na základě mikrokontrolerů ARM s přijímači s nízkým šumem pro zpracování nízkourovňových signálů. Pro vylepšení signálu přijímají chipsety SiRF také dorazy signálů z družic mimo přímý dohled, jejichž prostřednictvím dodatečně vylepšují vypočtené souřadnice pozice. (6)

2.2 NMEA

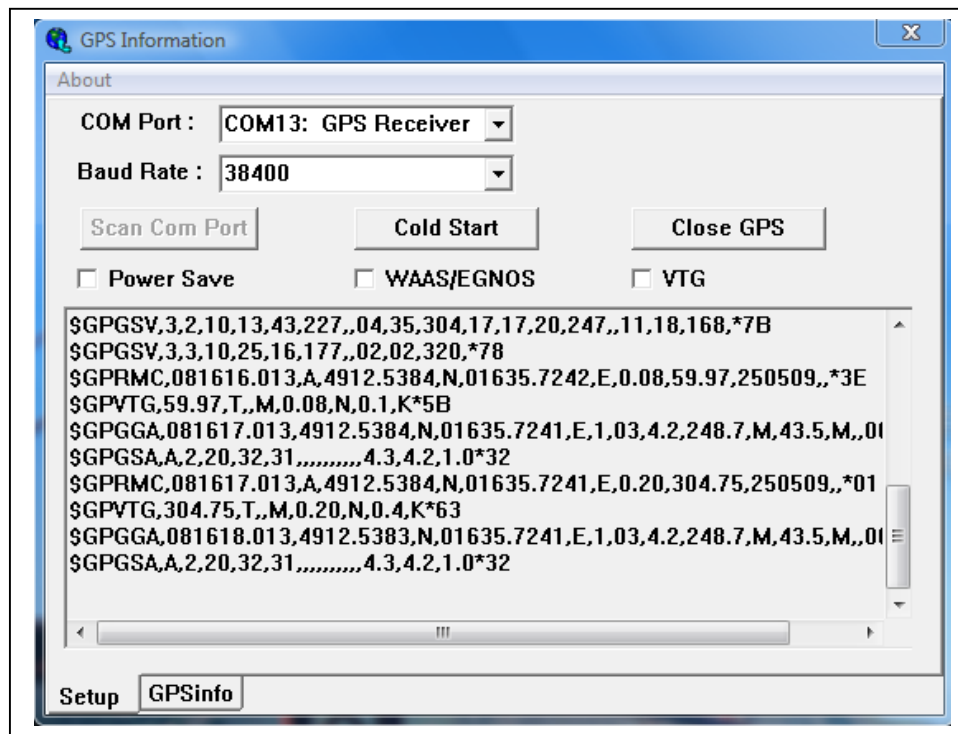
Specifikace NMEA 0183 byla vytvořena americkou firmou National Marine Electronics Association jako prostředek pro společnou komunikaci zařízení používaných při mořeplavbě (sonar, anometr, GPS a další). (7)

NMEA specifikuje tři typy vět, které lze při komunikaci využít: (2)

- věty ze strany mluvčího (talker sentences)
- proprietární věty (proprietary sentences)
- dotazovací věty (query sentences)

Věty mají předdefinovanou strukturu, kterou tvoří počáteční znak '\$', dvě písmena identifikující mluvčího, tři písmena identifikující typ věty (lze definovat i vlastní), data zprávy v ASCII formátu, přičemž každá datová položka je oddělena čárkou. Pokud její hodnota chybí, následují dvě čárky bezprostředně za sebou. Za poslední proměnnou se vkládá čárka, volitelný kontrolní součet začínající hvězdičkou a následován dvěma bajty, které vyjadřují v ASCII hodnotu výhradního součtu všech znaků mezi dolarem a hvězdičkou. Na konci každé zprávy následuje CR

(carriage return) a LF (line feed). (8) Věta může být dlouhá maximálně 83 znaků. Pokud je nutné přenést více informací, než umožňuje tento limit, musí být rozděleny do více vět. (2)



Obrázek 2.2 Data přicházející z GPS ve formátu NMEA

Z hlediska určování polohy je důležité zmínit hlavně věty *GGA* — *Global Positioning System Fixed Data*, *GSA*—*GNSS DOP and Active Satellites*, *RMC*—*Recommended Minimum Specific GNSS Data* a *VTG*—*Course Over Ground and Ground Speed*, jež všechny vysílá chipset SiRF. Obsahují informace o geografické poloze, síle signálu od jednotlivých družic, či rychlosti pohybu. (8)

Jako podrobnější příklad jsem vybral strukturu věty *RMC*—*Recommended Minimum Specific GNSS Data*, která se mi svým obsahem jeví jako nejvhodnější pro zaznamenávání.

Název	Příklad	Jednotky	Popis
ID zprávy	\$GPRMC		Hlavička protokolu RMC
Čas UTC	161229.487		hhmmss.sss
Status	A		A=validní data, V=nevalidní data
Zeměpisná šířka	3723.2475		ssmm.mmmm
S/J identifikátor	N		N=sever, S=jih
Zeměpisná délka	12158.3416		ssmm.mmmm
V/Z identifikátor	W		E=východ, W=západ
Rychlost	0.13	uzly	
Kurz	309.62	stupně	
Datum	120598		ddmmrr
Magnetická deklinace		stupně	SiRF nepodporuje
Kontrolní součet	*10		XOR dat mezi \$ a *
<CR> <LF>			Ukončení zprávy

Tabulka 2.1 Obsah RMC NMEA věty do verze NMEA 2.3

3 Protokol Bluetooth

Jde o bezdrátový protokol sloužící k přenosu dat na krátké vzdálenosti. Využívá bezlicenční pásmo 2,4Ghz. Definován je standardem IEEE 802.15.1. jako součást kategorie sítí PAN (Personal area network). Každé zařízení je identifikováno pomocí jedinečné adresy BD_ADDR (BlueTooth Device Address) podobně, jako tomu je u MAC adres v Ethernetu, a je možné jej spárovat pro dvoubodovou, či mnohabodovou komunikaci. Bluetooth byl původně chápán jako bezdrátová alternativa komunikačního rozhraní RS-232, (9), nicméně spektrum jeho využití je daleko širší, jak je možno poznat v běžném životě. Přes Bluetooth komunikují například mobilní telefony mezi sebou při přenosu souborů, mobilní telefon s handsfree, Bluetooth může sloužit k dálkovému ovládání počítače, k synchronizaci kontaktů mezi PC a mobilním telefonem, k tisku na Bluetooth tiskárnách a k dalším účelům. V současnosti se Bluetooth vyskytuje v šesti vývojových verzích: 1.0, 1.1, 1.2, 2.0, 2.1 a nově uvedené 3.0. (10)

Verze Bluetooth 2.0 EDR (Enhanced Data-Rate) podporuje díky nové modulační technice $\pi/4$ -DQPSK propustnost až 2,1Mbit/s, čímž snižuje spotřebu. (9) Oproti verzi 1.2 se jedná o trojnásobné zvýšení datové propustnosti, které umožňuje rychleji navázat spojení, čímž šetří elektrickou energii.

Verze Bluetooth 3.0, která nyní přichází na trh, je dle uváděných specifikací výrazně rychlejší. Horní teoretická hranice rychlosti přenosu dosahuje teoretické hodnoty 24Mbit/s (11) díky technologii Generic Alternate MAC/PHY (AMP), která umožňuje chvilkově využít protokol 802.11. S tímto zrychlením je spojeno další snížení spotřeby. Navíc Bluetooth 3.0 obsahuje i technologii Enhanced Power Control (EPC), která snižuje možnost přerušení spojení při komunikaci mezi zařízeními. (10)

Zařízení Bluetooth jsou rozdělena do tří kategorií podle výkonnosti: (5)

Třída	Max.výkon	Max. dosah
Class 1	100mW (20dBm)	100m
Class 2	2,5mW (4dBm)	10m
Class 3	1mW(0dBm)	1m

Tabulka 3.1 Kategorie výkonnosti Bluetooth zařízení

3.1 Bluetooth Stack

Jak bylo uvedeno v úvodu kapitoly 3, účel Bluetooth zařízení je různý a pro každý konkrétní případ užití je potřeba využít vhodnou variantu komunikačního protokolu. Bluetooth Stack se skládá z protokolů jádra (LMP – Link Management Protocol, L2CAP – Logical Link Control & Adaptation Protocol a SPD – Service Discovery Protocol), nahraditelných protokolů (téměř vždy obsahuje HCI – Host/Controller Interface a RFCOMM – Radio Frequency Communications) a adoptovaných protokolů (PPP – Point-to-Point Protocol, základní protokoly pro TCP/IP apod.). (9)

3.2 Bluetooth profile

Na Bluetooth Stack zmíněný v kapitole 3.1 se úzce váže Bluetooth profile, který specifikuje jeho rozhraní mezi Bluetooth zařízeními. Bluetooth profile tedy pracuje nad protokoly jádra a volitelně i nad doplňkovými protokoly. Způsob využití Bluetooth zařízení závisí právě na možnostech jeho rozhraní. Bluetooth profiles stanovují standardy, které výrobci Bluetooth zařízení dodržují, aby umožnili těmto zařízením správnou funkci v rámci Bluetooth.(12)

Bluetooth profiles obsahuje mnoho těchto specifikací pro jednotlivé určité účely. Uveden je pouze Bluetooth profile, který je pro tuto práci důležitý:

Serial Port Profile je rozhraním protokolu RFCOMM, který umožňuje přenos binárních dat přes Bluetooth spolu s emulací příslušných řídicích signálů RS-232 na straně příjemce. (12) Jde tedy o ono základní využití předpokládané v začátcích Bluetooth. Jeho funkčnost bude dokázána a zhodnocena v kapitole 10.7.

4 Elektronické paměti

Paměť tvoří historicky základní předpoklad ke vzniku vyspělých počítačových systémů. Vždyť již vývoj počítačů je s ní neodmyslitelně spjat. Čím byly paměti rychlejší, větší a levnější, tím složitější systémy mohly vznikat. Pokud si tuto zprávu čtete prostřednictvím počítače, důkaz máte přímo před sebou. Pokud by toto tvrzení neplatilo, tato práce by byla nejspíš uložena na dřevěných štítcích a nikdo by se nepozastavoval nad tím, že ji bylo jednodušší napsat na psacím stroji, než ji načíst z hromady dřevěných štítků.

Z prvního odstavce kapitoly 4 vyplývá, že rychlost, velikost a cena paměti určuje její dostupnost. Dalším parametrem, kterého se tato „trojkombinace“ dotýká, je účel paměti. Tím je myšlena hlavně perzistentnost dat v paměti uložených. Technologií výrobních procesů je doposud určeno, že paměti statické jsou pomalejší ve srovnání s pamětmi dynamickými, poněvadž datovou hodnotu je potřeba zapsat tak, aby zůstala nezměněna. Ve většině případů je tedy potřeba zapisovat bit nejméně takovou dobu, za jakou může spolehlivě proběhnout jeho trvalá negace. U dynamických pamětí tento problém odpadá, neboť se předpokládá jen dočasné zachování informace. Rychlost zápisu, či čtení se však snižuje vlivem obnovování informací (dále refresh) v paměti uložených. V praxi se ukazuje, že rychlost dokáže tento nedostatek překonat. Zůstane tak dostatek času pracovat s pamětí mezi dvěma refreshi. Může ale nastat situace, že zápis, nebo čtení budou z důvodu refreshu opožděny.

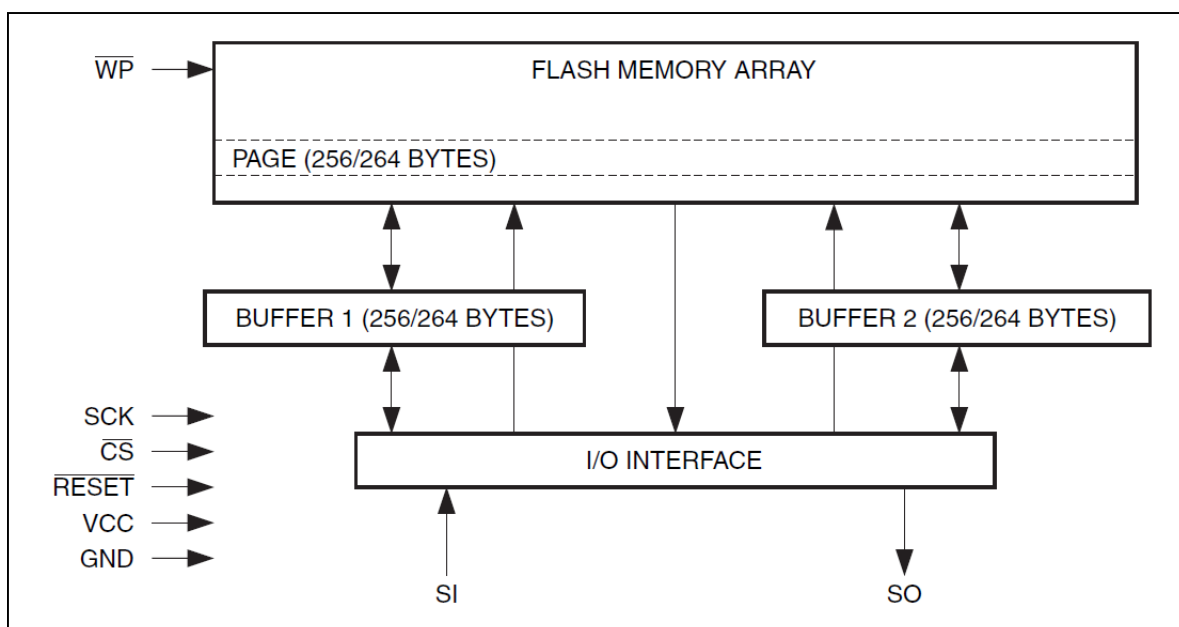
Dynamická paměť bohužel umožňuje pouze zvyšování výkonu počítačových systémů, hlavním motorem pro dlouhodobý vývoj jsou ale permanentní paměti a zvyšování jejich rychlosti. Příkladem může být paměť Flash pro uložení konfigurace BIOSu. Dokud tato paměť neexistovala, musela se při startu počítače znovu zadat veškerá nastavení, která nemohla být nastavena pomocí jumperů.

4.1 Flash

Jak bylo již zmíněno v úvodu kapitoly 4, paměti Flash patří do skupiny perzistentních, někdy jsou též hodnoceny jako semipermanentní vzhledem k tomu, že je možné je přepisovat. Díky svým malým rozměrům a nízké energetické náročnosti tyto paměti jsou vhodné k použití ve vestavěných systémech. Spotřeba průměrné Flash paměti se pohybuje v řádech jednotek miliampér při čtení, v řádech desítek mikroampér v pohotovostním režimu a v řádech jednotek mikroampér při uspání. Výhoda paměti Flash oproti pamětem EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) spočívá v jejich vnitřní blokové struktuře. Díky ní je možné vymazat pouze nezávislé zvolené bloky dat místo celé paměti jak je tomu u EEPROM.

Bity se ukládají do buněk, kde je každá buňka tvořena dvěma unipolárními tranzistory. Jeden z dvojice má plovoucí bránu a druhý ovlivňuje, zda povolí změnit stav prvního. První tranzistor bez zásahu druhého uchovává původní stav, poněvadž jeho plovoucí brána obklopuje vrstva oxidu, kterou elektrony v ní uvězněné samovolně neprojdou. (13) Pro upřesnění je třeba poznamenat, že ve skutečnosti projdou, ale nikdy v takovém měřítku, že by v době kratší než udávaná trvanlivost informace mohla tato buňka změnit svůj stav. Změna je prováděna s pomocí nábojových pump obsažených přímo na čipu. Tím odpadá potřeba vyššího programovacího napětí. Rychlost zápisu čtení je u této paměti určen maximální frekvencí, na níž je schopna pracovat.

Flash paměti obvykle komunikují přes synchronní sériové rozhraní SPI (viz kapitola 5.4.2). Jako nástroj řízení obsahují sadu instrukcí, pomocí které je můžeme přimět k přečtení požadovaného bloku, zápisu, vymazání, operacím s bufferem nebo i k uzamčení obsahu požadovaných částí paměti.



Obrázek 4.1 Blokový diagram Flash paměti

4.2 Secure Digital

Paměťová karta je založena na principu paměti Flash. Historicky vychází také z paměťových karte MMX (MultiMediaCard). Oproti MMX obsahuje SD DRM (Digital Rights Management), jež měl původně soužit pro ochranu autorských práv. Jejím účelem bylo zabránit nelegálnímu šíření dat. Skutečnost však byla taková, že toto opatření spíše omezuje poctivé uživatele a proto od něj např. největší obchod s digitální hudbou (iTunes společnosti Apple) upustil. (14)

SD se prosazuje k ukládání dat v širokém spektru převážně přenosné elektroniky, jako jsou mobilní telefony, fotoaparáty, kamery a další. Jeho výhodou oproti Flash paměti je možnost přenášení mezi jednotlivými zařízeními a také vyšší datová kapacita. V první generaci tvořil rozsah kapacit 4MB až 2GB, v současné druhé generaci označené SDHC (Secure Digital High Capacity) je rozsah kapacit od 4GB do 32GB a na letošní rok 2009 je ohlášeno vydání SDXC (Secure Digital eXtended Capacity), které má pokrýt kapacity od 32GB do 2TB. Novější formáty SD však nejsou zpětně kompatibilní a to ve smyslu, že SDHC nejde přečíst čtečkou určenou pro SD. SD čtečkou určenou pro paměťové karty SDHC přečíst lze. (15) Důvodem je zjevně nový způsob adresování, který starší čtečky SD karet neznají.

Rychlost záznamu a čtení je u SD karet různá a závisí na výrobci. Karty se obvykle řadí do tříd. Každá třída má stanovenou minimální přenosové rychlosti, které musí karta splňovat, aby pod ni mohla spadat. Možnost rychlého záznamu je ceněná především u paměťově náročnějších režimů focení.

Třída	2	4	6
Min. rychlost[MB/s]	2	4	6
Násobek 150Kb/s	13x	26x	40x

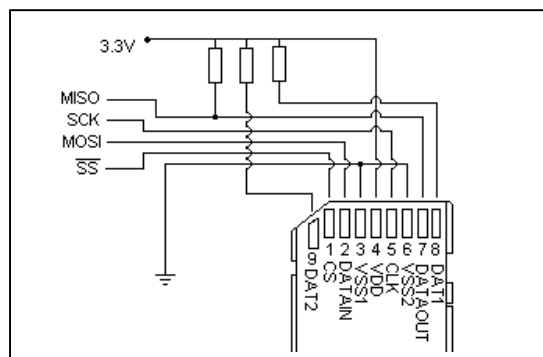
Tabulka 4.1 Třídy rychlosti SD karet

Secure Digital Card Association, která ratifikovala nejen paměťovou kartu SD, ale také miniSD a microSD, které se od sebe liší především ve velikosti. (15)

Druhy známých přenosových režimů:

- Jednobitový SD režim: oddělené kanály příkazů a dat a podpora DRM
- Čtyřbitový SD režim: používá extra piny a mění účel některých pinů
- SPI režim: zjednodušená část SD protokolu pro použití s mikrokontrolery

Všechny paměťové karty musí podporovat všechny tři přenosové režimy (s výjimkou SPI pro microSD, kde je toto volitelné). Karty musí být schopny pracovat s frekvencí hodin až 25MHz, případně 50MHz pro vysokorychlostní karty. (15)

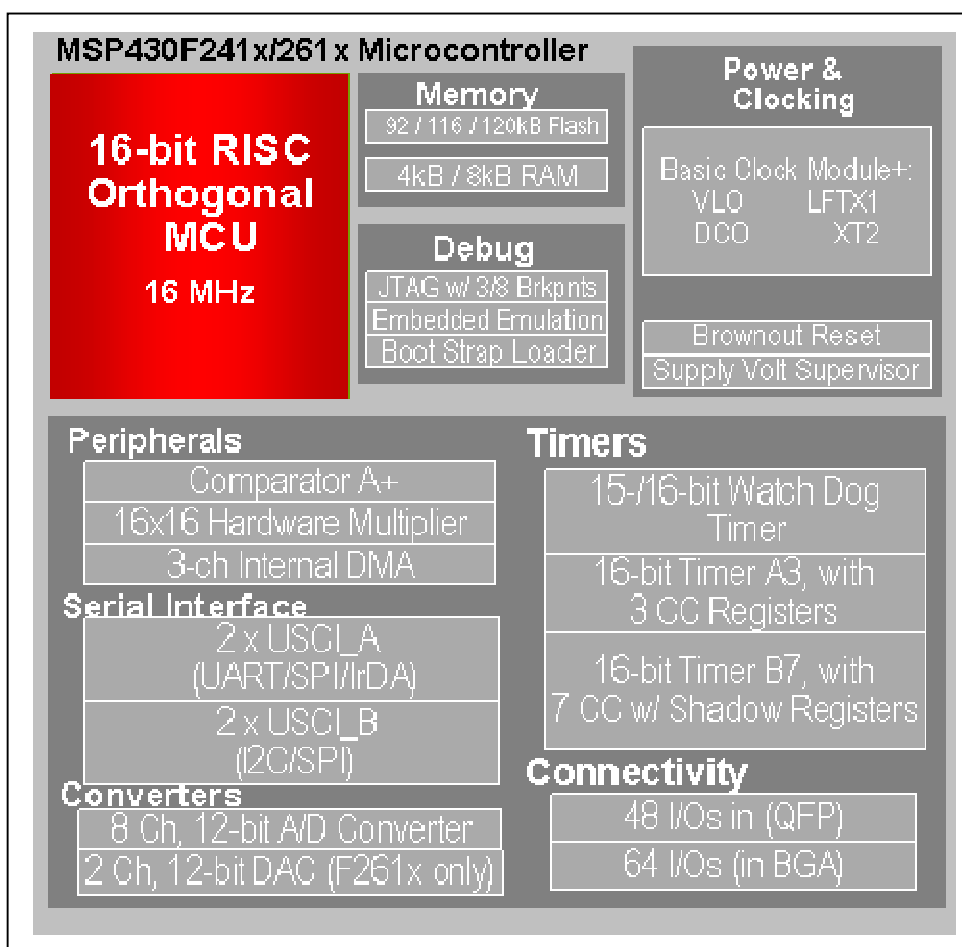


Obrázek 4.2 Propojení SD karty na rozhraní SPI

5 Mikrokontrolery MSP430x2xx

Mikrokontrolery (MCU), neboli jednočipové počítače jsou monolitické integrované obvody obsahující veškeré potřebné komponenty jako je mikroprocesor, paměť a periferní obvody. Jsou velmi stabilní a kompaktní, proto jsou nasazovány do jednoúčelových aplikací a vestavěných systémů. (16) V dalším výkladu se vymežíme na mikrokontrolery rodiny MSP430 firmy Texas Instruments. Jelikož tato firma vyrábí širokou paletu těchto mikrokontrolerů lišící se především určením pro specifické aplikace, bude vhodné, abychom se zaměřili na několik podobných řad, které sdružuje blízké určení. Jde o MSP430x2xx, které jsou určeny pro nasazení v radiových zařízeních s ultranízkou spotřebou a přizpůsobeny k vysokoúrovňovému programování.

Mikroprocesory řad MSP430x2xx jsou postaveny na 16 bitovém RISC CPU (procesor s redukovanou instrukční sadou). Tento typ CPU vykonává místo jinak složitějších specializovaných instrukcí posloupnosti jednodušších instrukcí, které mají tentýž výsledek, který by měl CISC CPU (procesor s kompletní instrukční sadou). U RISC je navíc zaručeno zpracování operací s registry trvá jeden hodinový cyklus. Díky tomu lze zaručit, že každý takt bude dokončena jedna instrukce. Oproti CISC CPU však potřebuje více registrů k ukládání mezivýsledků jednotlivých složených instrukcí. Toto má na druhou stranu pozitivní vliv, v podobě nedestruktivního zpracování operandů. Instrukční sada těchto MCU obsahují jen 51 instrukcí 3 typů a 7 adresových módů. (17)



Obrázek 5.1 Funkcionální blokový diagram pro MSP430F241x/261x

5.1 Základní hodinový modul

Jde o blok mikroprocesoru, který řídí činnost jeho hodin. Typicky obsahuje u rodiny MSP430 tři hodinové signály, přičemž lze vybírat až ze čtyř zdrojů pro jejich generování. Základním požadavkem na něj je, aby měl co nejmenší spotřebu.

Mezi zdroje signálu patří LFX1CLK – piny pro připojení nízko/vysokofrekvenčního krystalu (obvykle 32,768kHz), rezonátoru, či vstupu externího signálu.

Druhým vstupem je volitelný XT2CLK – vstup pro vysokofrekvenční oscilátor, kde může být osazen krystalový oscilátor, rezonátor, či přiveden externí hodinový signál, vše v rozsahu od 400kHz až do 16MHz.

Třetí zdroj signálu není závislý na externích vstupech. Jde o interní digitálně kontrolovaný oscilátor (DCO) pro DCOCLK. Pomocí registrů jej lze nastavit v rozmezí 1MHz až 16MHz. Mikroprocesor se tak zbavuje potřeby externích krystalů. Navíc je tento zdroj schopný naběhnout po probuzení z režimu spánku, ve kterém byl vypnutý, již za jednu mikrosekundu.

Posledním zdrojem signálu hodin VLOCLK – interní nízkofrekvenční oscilátor pracující na frekvenci 12kHz.

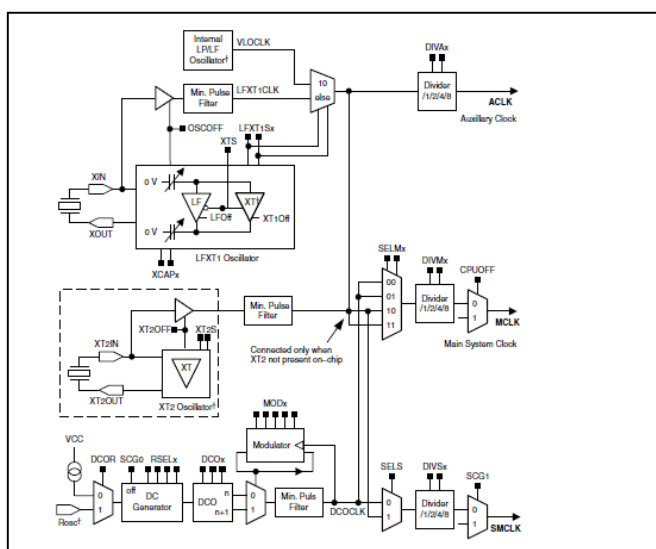
Každý z těchto oscilátorů nemusí být dostupný u řad MSP430x2xx, avšak u MSP430F2618, který je použit v této práci jsou přítomny všechny tyto možné zdroje signálů.

Zmíněné signály slouží k taktování tří hodinových signálů, používaných CPU i periferními zařízeními obsaženými na čipu.

Prvním hodinovým signálem je MCLK neboli Master clock. Z něj se berou hodiny pro řízení činnosti CPU. Jako zdroj mu může sloužit kterýkoliv ze čtyř zmíněných zdrojů hodinových signálů. Pro větší variabilnost frekvencí prochází signál přes předděličku (1, 2, 4, 8).

Druhým hodinovým signálem je SMCLK – Sub-mainclock, který má stejné možnosti výběru a předděličky jako MCLK, ale je podle volby programátora používán pro taktování periferních zařízení.

Třetím a posledním hodinovým signálem je ACLK – Auxiliary clock. Jak již název napovídá slouží jako pomocné hodiny. Zdrojem pro něj může být pouze LFX1CLK nebo VCLOCK. Možnost předděličky zůstává. (17)



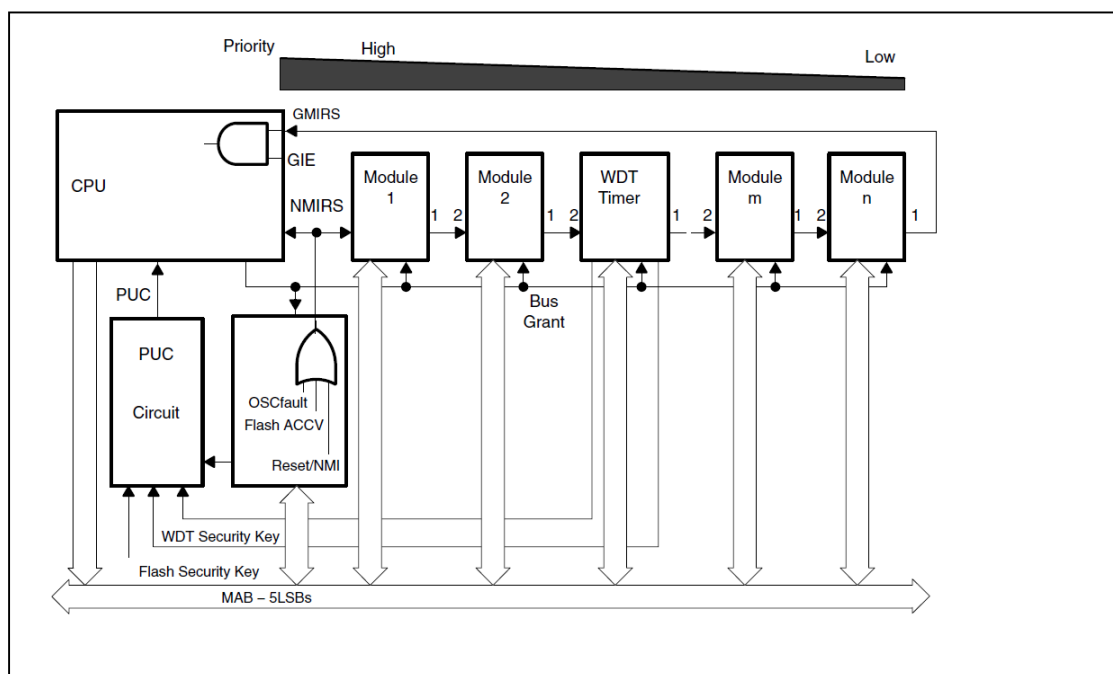
Obrázek 5.2 Blok základního hodinového modulu

5.2 Přerušení

Přerušení tvoří způsob, jak reagovat na události, které nastávají jednou za čas. Příkladem může být reset mikroprocesoru, nebo příjem zprávy na sériové lince. V obou případech je nutné nějak zareagovat, může se však lišit způsob zjišťování oné události. Bez systému přerušení by bylo nutné v případě sériové linky neustále sledovat zda už zpráva nedorazila. To by bylo dosti neúčelné a ostatní úkony, které by mikroprocesor prováděl by tomu musely být přizpůsobeny. Oproti tomu při využití přerušení, stačí povolit v registru kontrolujícím přerušení bit odpovídající danému zdroji přerušení a povolit globální přerušení (Interrupt Enable). Mikroprocesor pak sám interně hlídá vznik události vedoucí k přerušení. V případě, že nastane zjistí si vektor obslužné rutiny a nezávisle na aktuálně prováděné činnosti ji provede. Může nastat situace, že přijde více přerušení současně. Z toho důvodu je zaveden systém priorit, jenž logicky přiřazuje přednost ve vykonání obslužné rutiny podle hlediska důležitosti přerušení.

Mikroprocesor podporuje tři druhy přerušení:

- Reset systému
- Nemaskovatelné přerušení (NMI)
- Maskovatelné



Obrázek 5.3 Pořadí priorit přerušení

5.3 Časovače

Jak již název napovídá, tento modul mikropočítače má co dělat s měřením času. Možnosti nastavení jsou široké, plně v rukou uživatele. Nastavení se provádí přes konfigurační registr časovače. Jeho základ tvoří 16-bitový čítač. Ke změně jeho hodnoty lze přivést přes předděličku hodinové signály z SMCLK, či ACLK. Podle nastaveného módu je možné číst od minima do maxima, nebo do určité hodnoty, případně opět nazpět od ní do nuly.

Zajištění akce ve zvolený časový okamžik je možné s využitím komparačních registrů. Při shodnosti jejich obsahu s obsahem čítače se nastaví ve stavovém registru čítače příznak, případně je-li využito a nastaveno přerušení, může být přímo provedena obslužná rutina. Řada MSP430x2xx obsahuje dva nezávislé časovače. Časovač A obsahuje tři a časovač B sedm komparačních registrů.

Čas lze však měřit i bez využití těchto registrů a to prostou reakcí na přetečení časovače. Kombinace s komparačními registry je vhodná spíše pro generování pulsně šířkové modulace signálu (PWM).

Chceme-li využít přerušení časovače, je nutné jej nejen povolit a nastavit, ale i v obslužné rutině ověřovat pomocí stavového registru časovače, která z jeho částí přerušení vyvolala. Pro účely každého ze dvou časovačů je totiž k dispozici pouze jeden vektor přerušení.

Oproti časovači A má časovač B některé odlišnosti. Mezi ně patří možnost zvolit délku čítače 8, 10, 12 nebo 16 bitů.

5.4 Univerzální sériové rozhraní

Zkráceně USI je v rámci mikroprocesorů MSP430 pojmem, který obsahuje hned několik komunikačních rozhraní, která pracují sériově. Pro jejich potřeby má vyhrazené 8, nebo 16-bitové posuvné registry, které slouží pro převod sériových dat na data v paralelní podobě.

USI modul má zabudované hardwarové funkcionality pro zjednodušení implementace SPI a I²C komunikace. Podporuje také přerušení za účelem snížení nutné zátěže obslužného softwaru obsluhujícího sériovou komunikaci a pro řízení funkcionalit použitých ve spojitosti s režimy ultranízké spotřeby energie (tzv LPM – Low Power Modes). (18).

USCI rozhraní podporuje u MSP430x2x00 čtyři rozhraní (A0, A1, B0, B1), která mohou poskytovat dvakrát komunikaci pomocí UART (viz kapitola 5.4.1), dvakrát komunikaci pomocí SPI (viz kapitola 5.4.2) a jedenkrát I²C. Na kanálu A je navíc k dispozici IrDA kondér a enkodér, který lze zapojit do zpracování UART signálu.

5.4.1 UART

Jde o asynchronní přenosový mód sběrnice USI. Jeho plný název je Universal Asynchronous Receiver Transmitter. Historicky je tento přenos založen na standardu RS-232, který jej definuje. Pro obousměrný přenos dat využívá pouze dva vodiče – jeden na vysílání (TX) a druhý na příjem (RX). Jelikož jde o asynchronní přenos, který může být zahájen kdykoliv, není mezi komunikujícími zařízeními speciální vodič přenášející časovou synchronizaci. Pro správné přijetí informace je nutné tuto synchronizaci zajistit na přijímací i vysílací straně nezávisle. Z toho důvodu je důležité, aby byl UART na obou zařízeních nakonfigurován stejně.

Principem přenosu je odesílání speciálně formátovaných dat z kterého přijímací strana dokáže určit začátek i konec. V klidové fázi je vysílací linka v logické „1“. Když začíná vysílání první je odeslán start bit, který je logická „0“. Přijímací strana zaregistruje změnu hodnoty a začne přijímat

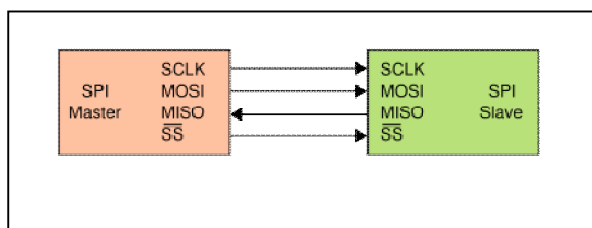
data o očekávané přenosové rychlosti. Délka přenášených dat je zásadně 7, nebo 8 bitů, následovaných volitelnou paritou a jedním, či dvěma stop bity. Stop bity jsou zásadně logická „1“. Obvykle je používán jen jeden stop bit. Možnost využití dvou má své historické důvody při využití v dálkopisu. Můžeme také zvolit, zda se má jako první přenášet nejvýznamější bit (MSB), či nejméně významný bit (LSB). Pro samotný přenos je důležité jen, aby obě strany předpokládaly data stejného formátu.

MSP430x2xx poskytuje pro příjem a vysílání dat vektor přerušení, je-li splněna podmínka vysílání/příjmu, je nastaven příslušný stavový registr, a pokud je povoleno, vygenerováno i přerušení. Pro jeho obsluhu je pro nás důležité poznamenat, že kanály A0, B0 a A1, B1 sdílejí stejné vektory přerušení. V obslužné rutině je proto nutné ještě podle nastavených příznaků rozeznat co přerušení způsobilo a obsluhovat jej pouze v případě, že jde o zdroj, který nás zajímá.

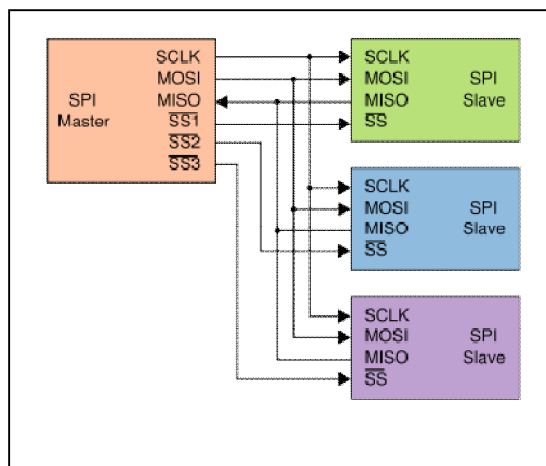
5.4.2 SPI

Seriál Peripheral Interface neboli SPI je synchronní variantou sériového přenosu na MSP430. Přenos probíhá pomocí tří (v některých případech čtyř) vodičů. U tohoto způsobu přenosu jsou důležité role jednotlivých stran kvůli synchronizaci. Rozlišení je na master a slave (v překladu pán a otrok) přičemž master poskytuje na vyhrazeném vodiči hodinový signál, se kterým se slave synchronizuje. Datové vodiče jsou MISO (Master In Slave Out) a MOSI (Master Out Slave In), které přesně vystihují své určení na straně mastera i slave. Jako poslední signál může být využit vodič pro přenos Slave Select (Chip Select). Tato varianta umožňuje připojit na rohraní SPI více zařízení, přičemž pouze jedno může mít roli mastera a to pomocí SS vybírá slave pro komunikaci. Pro každého dalšího slave připojeného k SPI je potřeba vyhradit na masteru další pin pro SS.

Přenos funguje tak, že master zvolí slave se kterým chce komunikovat pomocí logické „0“, kterou zašle na SS (CS je obvykle aktivní v logické „0“). Posléze začne master dodávat hodinový signál příslušnému vodiči a obě aktivní zařízení si začnou synchronně posílat data ze svých posuvných registrů. Stejně jako u UART, i u SPI je nutné stejné nastavení vysílací i přijímací strany. Je možné nastavit sedmi, nebo osmi bitovou délku dat a jako první znak může být odvíšlán MSB, nebo LSB. Jakmile je do posuvných registrů přenesena celá délka dat, je v MSP430 nastaven příslušný příznak, případně vygenerováno přerušení. Přečtením obdržených dat se příznak automaticky vynuluje a pokud jsou očekávána další data, přenos může pokračovat. Pakliže byla načtena všechna data, master zastaví generování hodinové signálu a obvykle i pošle logickou „1“ na SS slave, čímž jej odpojí od SPI.



Obrázek 5.4 SPI s jedním slave



Obrázek 5.5 SPI s více slave

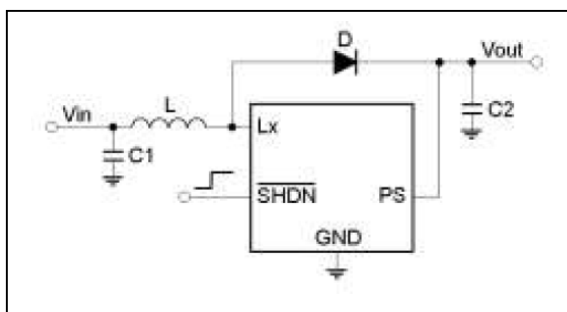
6 Stejnosměrné měniče napětí

Pro potřeby kapitoly 10.1 se bude nyní vhodné se zmínit o stejnosměrných měničích napětí. Jsou to elektrické zařízení, které mění „vstupní stejnosměrné napětí na výstupní stejnosměrné napětí jiné velikosti“. (19)

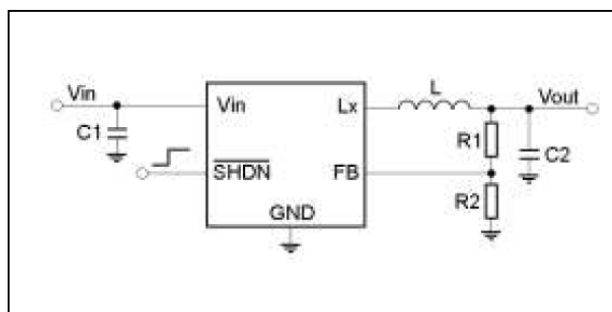
Z hlediska miniaturizace a použití v integrovaných obvodech jsou klasické transformatory apod. nevhodné. Na tomto místě nastupují **spínané zdroje**, které již dnes existují už i v specializovaných integrovaných obvodech, zahrnující veškeré řízení spínaného zdroje uvnitř. Je je tak možno integrovat na desku plošného spoje. (20)

Rozlišujeme tyto druhy spínaných zdrojů:

- Step-up (Boost) – mají výstupní napětí vyšší než vstupní
- Step-down (Buck) – výstupní napětí nižší než vstupní
- PFM (Pulse Frequency Modulation) stabilizují výstupní napětí změnou kmitočtu měniče při konstantní šířce impulsu
- PWM (Pulse Width Modulation) – stabilizují výstupní napětí změnou šířky impulsů při konstantním kmitočtu měniče
- Násobiče napětí (Charger Pumps) – pracují jako kapacitní násobiče náboje (21)



Obrázek 6.2 DC/DC měnič



Obrázek 6.1 DC/DC nastavitelný měnič

7 Návrh plošných spojů

Plošný spoj, přesněji deska plošného spoje (DPS, v angličtině PCB) je většinou Pertinaxová deska (skelná tkanina tvrzená formaldehydovou pryskyřicí) sloužící k izolaci a vodivému propojení součástek na ní připevněných. Před zpracováním je na desce požadované tloušťky nanášena rovnoměrná vrstva mědi. Její tloušťka se volí podle zamýšlenému účelu desky. Do mědi se leptá požadovaný motiv.

Jedním z možných postupů výroby je vyvrtání otvorů, očištění povrchu mědi, vytvoření masky na fólii podle navrženého zapojení, která zakrývá části, kde nebude měď. Na desku se nanese světlocitlivý lak, který se osvítl speciální lampou, čímž osvětlený lak ztvdne. Deska je následně ponořena do leptacího roztoku, který rozleptá měď s nevytvrzeným lakem. Po té se deska opláchne a odstraní se lak. V případě, že chceme ochránit vytvořené cesty a přispět tak k delší životnosti, nanáší se na desku maska, která zakryje vodivé cesty a místa, kde nebudou osazovány součástky. Další volitelnou částí je potisk desky, který slouží k zaznamenání informací (např. o součástkách, verzi desky atd.).

DPS tedy slouží k upevnění a propojení elektronických součástek do funkčních zapojení. Součástky jsou připájeny za své vývody na určená místa. Metody připájení se liší podle typu použité technologie.

7.1 SMT

V dřívějších dobách bylo obvyklé osazování drátovými součástkami. Takovéto desky byly osazovány hrotovými páječkami, či transformátorovými páječkami. Poněvaž však pokrok žádal stále menší součástky, byla vynalezena v roce 1960 technologie SMT (Surface Mount Technology) pro dosažení vyššího stupně hustoty. Na trhu se však více rozšířila až v 80. letech. (22) Naproti drátovému přichycení jsou součástky SMD (Surface Mount Devices) připájeny rovnou na desku plošného spoje. Dnes je tato technologie už velmi rozšířená a používá se prakticky ve všech zařízeních, kde je kladen důraz na co nejmenší velikost a hromadnou výrobu. Tato technologie umožňuje osazování spojů výrobními automaty, což s dřívějším drátovým přichycením nebylo možné. Dalšími výhodami je, že při výrobě není třeba vyvrtat tolik děr a osazování je také možné z obou stran desky. Dříve byla jedna strana vyhrazena právě oněm trčícím součástkám na drátových vývodech, zatímco byly připájeny z druhé strany DSP.

Pro jednodušší osazování SMD součástek je možno s výhodou použít následující metody:

Pájení přetavením – na kontakty tištěného spoje je nanесena speciální pasta, která obsahuje cín. Do pasty se na místo pájecí plošky umístí součástka a pomocí speciální pistole vyfukující horký vzduch se pasta přetaví.

Pájení vlnou – spočívá na principu přelití taveniny přes nahřátou desku, kde připájí přilepené součástky.

7.2 Eagle

Jelikož je k návrhu desek plošného spoje potřeba přistupovat komplexně, je vhodné seznámit se s vývojovým programem Eagle. Jeho demoverze je k dispozici volně na Internetu. Omezena je jen maximální velikost desky plošného spoje a počet vrstev. Základ Eaglu tvoří editor schématu, editor desky a editor knihoven. Tyto celky jsou spolu funkčně provázané.

Ve vestavěných knihovnách Eaglu je možno nalézt široký sortiment nejrůznějších součástek, které se běžně využívají pro tvorbu plošných spojů. Pakliže zde požadovaná součástka přece jen není, je možné si ji podle jejich datasheetů navrhnout. Editor knihoven se sestává ze tří částí, které tvoří **Device** (zařízení), **Package** (pouzdro) a **Symbol** (schematická značka). Základem je vytvořit si podle datasheetu v části **Package** odpovídající rozmístění pájecích plošek, na které bude součástka osazena a vhodně označit také její obrysy kvůli možnému konfliktu při rozmisťování na desce. Dalším krokem je vytvoření schematické značky v části **Symbol**, která musí mít stejný počet pinů, jako je plošek, jenž jsme v předchozím kroku vytvořili. Nyní už nám bude stačit jednotlivé části spojit dohromady v části **Device**, kde vytvoříme nové zařízení, přiřadíme konkrétní variantě s odpovídající schematickou značkou správné pouzdro a nalinkujeme jednotlivé piny schematické značky na konkrétní plošky.

Pro tvorbu schématu a desky je Eagle vybaven taktéž dobře. Popisovat použití jednotlivých nástrojů by zbytečně odbíhalo od tématu, uveďme proto jen, že součástky v schématu umístěné se po přepnutí do editoru desky zobrazí tak jak jsme je mohli vidět v části **Package** a navíc si pamatují

své propojení, které je zobrazeno symbolickou spojnici mezi ploškami, které mají být spojeny vodivou cestou.

Zda k propojení využijeme automatický roturer (rozmisťovač), či si je uděláme ručně je na nás. Ruční propojování se jeví jako lepší z hlediska větší ovlivnitelnosti uživatelem v průběhu tvorby. K ověření správného rozvržení součástek na desce následně můžeme použít DRC (Design Rules Check).

8 Dynamické zobrazování

Tato funkce využívá nedokonalosti lidského oka. Jde o obecně známý fakt, který využívá i televizní technika, že lidské oko je schopno vnímat průměrně jen dvanáct snímků za vteřinu a obraz, který se mění rychleji vnímá jako plynulý.

Tento jev můžou využívat pro zobrazování i daleko jednodušší zařízení, jakými jsou jednočipové počítače s připojeným dynamickým displejem, či polem LED diod. Tyto případy se většinou liší od normálních zapojení tím, že je potřeba ovládat velký počet bodů, kterých ale je tolik, že by jsme s nimi obsadili příliš velký počet vstupně/výstupních pinů (pokud by vůbec stačily). Právě pro tyto případy je vhodné využít dynamické zobrazování. Stačí vhodně změnit zapojení zobrazovacích prvků tak, abychom mohli využít všechny kombinace co nejmenšího počtu pinů mikrokontroleru pro adresování jednotlivých buněk. Výsledkem bude, že nám bude při každé kombinaci svítit pouze jeden bod z celého pole. To je přesně náš cíl. Nyní už stačí pouze dostatečně rychle rozsvěcet jednotlivé buňky a obraz se bude jevit jako statický, i když bude ve skutečnosti velice rychle blikat. Jedinou nevýhodu tohoto provedení lze spatřit v tom že jas výsledného obrazu bude nižší, než kdyby všechny body svítily neustále. Problém ale poměrně jednoduše vyřešit zvýšením jasu jednotlivých prvků.

$$t_{\text{zobrazeni}} = \frac{\text{citlivost_oka}}{\text{pocet_prvku_pole}} = \frac{1}{12 \cdot \text{pocet_prvku_pole}} \quad \text{Rovnice 8.1}$$

Výše uvedená Rovnice 8.1 udává maximální dobu, po kterou může být jeden bod na displeji nerozsvícen, aniž by toto člověk s průměrným zrakem zaregistroval jako blikání obrazu.

9 Knihovna libfitkit

Tato knihovna vytvořená Ing. Karlem Slaným pro potřeby platformy FITkit (23) zastřešuje množinu základních funkcí pro programování, a komunikaci MCU a FPGA (Field Programmable Gate Array). Nad těmito funkcemi je vytvořen jednoduchý interpret, jehož prostřednictvím lze zadávat příkazy pro nahrávání programu z PC přes Flash paměť FITkitu do FPGA a jiné.

V open-source knihovně libfitkit můžeme vidět z hlediska této práce velmi snadno adaptovatelné funkce, poněvadž mikrokontroler FITkitu verze 2.0 je blízce příbuzný mikrokontroleru obsaženém v této práci. Za povšimnutí tak stojí Flash paměť, která taktéž blízce příbuzná té v BT GPS loggeru.

10 Etapy vývoje

V následujících kapitolách bych Vám rád ukázal, jak vznikala tato práce, tedy Bluetooth GPS dogger. Uvedu zde hlavní důvody pro různá rozhodnutí, která ovlivnila směr, kterým se tento projekt vydal a úskalí, která při tom bylo potřeba řešit.

Fáze vývoje hardware se liší od vývoje software. Tam kde je u vývoje softwaru možno uplatnit kaskádový model zde platí jen částečně. Napadlo Vás asi správně, že směřuji k hardware a jeho omezené možnosti úpravy. Pokud se návrhář softwaru rozhodne, že základní modul jistého programu, na kterém pracoval a vytvořil na něj mnoho nástaveb je zcela scestný, má stále možnost napsat modul nový a pokusit se jej s nastavbami skloubit. Tento způsob je bohužel zcela nemyslitelný pro návrháře hardware z hlediska k již vytvořenému výrobku. Vývoj hardware je tedy promyšlet více dopředu.

Nejvíce práce by měl tvůrce strávit při návrhu a promýšlení důsledků jednotlivých rozhodnutí. Pro další fáze je důležité držet na zřeteli cíle, kterých chceme dosáhnout. Mezi ně by mělo patřit splnění účelu práce, vyváženost kvality a ceny a nejlépe znovupoužitelnost z hlediska dalšího vývoje stejného či jiných projektů.

10.1 Návrh

Cíl této práce byl znám ze zadání. Účelem bylo vytvořit zařízení, které umí pomocí protokolu Bluetooth definovaném v kapitole 3 komunikovat s GPS modulem a umožnit mu tak přístup k informacím zasílaným navigačním systémem GPS popsaným v kapitole 2. Dále bylo záměrem zjištěné informace zaznamenávat na Flash paměť, případně na SD kartu. Výhodou SD karty by bylo, že by se v případě zavedení souborového systému dala uložená data dále zpracovávat. Základem ke správnému návrhu bylo tedy zjistit, jak fungují jednotlivé technologie v něm obsažené a jak je nejlépe skloubit dohromady. Pro posouzení těchto hledisek jsem prostudoval dostupné materiály a ověřil si potřebné informace. Stěžejním byl právě protokol Bluetooth, poněvadž právě on vytváří spojení mezi GPS a Bluetooth GPS loggerem a jeho funkčnost bylo tedy nejdůležitější zajistit.

10.1.1 Logger

Z ohledu určení tohoto výrobku jako GPS logger je u něj požadována nízká spotřeba, aby byla zajištěna dlouhá doba provozu a tím i funkčnost. Z toho vyplývá, že by mělo jít evidentně o zařízení přenosné, a proto bylo důležité toto zohlednit a přizpůsobit jej napájení z baterií. Baterie však mají na rozdíl od elektrických adaptérů nestálé napětí, což je nevhodné pro číslicové obvody, protože kvalita jejich funkce závisí na dodržení právě napájecího napětí v přesně definovaném rozmezí, které se je možné dočíst z datasheetu jednotlivých integrovaných obvodů. Při jiných hodnotách není správné chování zaručeno. Díky radě svého vedoucího byl tento problém vyřešen tím, že do navrhovaného systému měl navíc přibýt stejnosměrný měnič napětí. Jejich princip byl zmíněn v kapitole 6. Tímto krokem bylo tomuto zařízení zajištěno stále stejné napájecí napětí zajišťující jeho další stabilitu. Vítanou vlastností přenosných zařízení jsou taktéž malé rozměry, z toho vyplynulo použití technologie SMT (viz kapitola 7.1).

10.1.2 FITkit

Dalším z hledisek, které bylo při návrhu nutné zohlednit (ale který už není součástí zadání) byl požadavek, aby bylo vytvořenou desku plošného spoje s osazeným Bluetooth modulem možno využít s minimem další součástek jako rozšiřující Bluetooth modul pro FITkit. Připojení bylo naplánováno pomocí 50-52 pinového headeru na spodní části FITkitu, na který měly být přivedeny signály z UART a SPI rozhraní BT modulu (konkrétní zapojení viz Příloha 5.), přičemž pro Bluetooth GPS logger nebude připojovací konektor osazen. Tato specifikace byla později rozšířena o umístění pole dynamicky rozsvěcovaných LED diod, které by měly být také zpřístupněny FITkitu.

Při použití desky loggeru jako rozšiřujícího BT modulu není potřeba napájet osazený BT modul z baterií, ale je možno využít napájecího napětí 3,3V na pinech headeru FITkitu. Pro jistotu by však mělo být možné přidat do cesty doporučený napěťový regulátor firmy Texas Instruments k zajištění ochrany a optimální funkce BT modulu.

10.2 Výběr komponent

Po zvážení těchto hledisek jsem přistoupil k výběru komponent a návrhu schématu. Většinou šlo o doporučená zapojení převzatá z datasheetů jednotlivých integrovaných obvodů či upravená zapojení FITkitu. Součástky jsem vybíral prostřednictvím internetového portálu společnosti Farnell. Mezi hlavní kritéria patřily vhodné parametry, nízká cena a nízké množství minimálně odebraných kusů.

10.2.1 Bluetooth modul

K přenosu byl už dopředu (jako jediný) vybrán Bluetooth modul Free2move s označením F2M03GLA. Jde o specifikaci verze 2 s podporou EDR (viz kapitola 3). Tento modul je zvláštní nižší spotřebou. Volitelně je však možné jej přepnout do kterékoliv z tříd 1 až 3, poněvadž jeho maximální vysílací výkon +8dBm už leží v nejsilnější třídě. Jeho dosah je v tomto případě uváděn až do 250 metrů. (24)

Mezi největší výhody nezbytné pro provoz patří to, že tento model je dodáván s bezdrátovým UART firmwarem implementujícím Bluetooth Serial Port Profile (viz kapitola 3.2), jenž je základním předpokladem funkčnosti spojení mezi GPS a MCU. Ke komunikaci poskytuje Bluetooth modul právě UART rozhraní. Ve fázi, kdy není modul spárován se žádným zařízením je prostřednictvím rozhraní UART možno tento firmware přepnout do režimu „Host controlled mode“ a dále jej nakonfigurovat.

Standardní a neměnitelnou rychlostí přenosu dat pro tyto úpravy je 38400baudů s přenosem osmi datových bit, vypnutou paritou a jedním stop bitem.

Nutností, pro řádnou funkci BT GPS loggeru, je přepnutí do connecting mode, zadání připojovacího pravidla stejného jako je adresa GPS modulu, nastavení upozorňování na připojení a odpojení zařízení a potvrzení změn. Tato nastavení jsou nutným minimem pro uskutečnění správného přenosu dat z GPS.

10.2.2 Mikrokontroler

Řešení otázky, který mikrokontroler bude výsledné zařízení řídit, bylo poměrně jednoduché, protože mnou vybrané zařízení bylo z rodiny MSP430 od firmy Texas Instrumentals, v níž byl vytvořen i FITkit a byla k němu tudíž dostupná schémata zapojení. Původně byl vybrán

MSP430F2617, stejně jako je tomu i v případě FITkitu verze 2, ale nakonec byl vybrán MSP430F2618, který disponuje větší pamětí flash a je pinově kompatibilní.

10.2.3 SS měnič

Za stejnosměrný měnič napětí byl vybrán Maxim 1705. Tento integrovaný obvod obsahuje spínaný zdroj, který může pracovat v několika režimech. Vzhledem k požadavkům na zdroj byl zvolen PWM režim, který je vhodný pro vyšší proudový odběr při nízkém šumu.

Max 1705 poskytuje i komparátor kontrolující úroveň vstupního napětí. Pomocí napěťového děliče jsem zvolil tuto mez na 1,4625V, tedy zhruba na poloviční kapacitu při předpokládaném napájení ze dvou tužkových baterií. Měnič je schopen naběhnout minimálně při napětí 1,1V a pracovat typicky až do napětí 0,7V. (25)

Vzhledem k možnosti volit i výstupní napětí měniče, bylo zvoleno napětí 3,3V, tedy stejné jaké poskytuje i FITkit. Nastavení je taktéž provedeno pomocí napěťového děliče.

10.2.4 GPS

Výběr Bluetooth modulu GPS pro spárování s Bluetooth GPS loggerem nepotřeboval provádět a rovnou jsem se rozhodl pro svůj Navilock BT-359, který disponuje osvědčeným chipsetem SiRF verze III (viz kapitola 2.1).

10.3 Výroba plošného spoje

Tuto část jsem prováděl jen do fáze návrhu desky plošného spoje prostřednictvím návrhového programu Eagle (viz kapitola 7.2), samotnou výrobu jsem raději přenechal firmě Gatema, jenž má jméno profesionálního a velmi přesného výrobce.

Část návrhu plošného spoje jsem započal v okamžiku, kdy bylo dostatečně prověřeno schéma zapojení. Pokud by bylo nutné provádět opravy až ve stádiu, kdy jsou součástky na desce rozmístěny a vodivé cesty propojeny, byly by veškeré opravy mnohonásobně obtížnější, nehledě na ztrátu času stráveného chybným rozmisťováním.

V této fázi bylo důležité dbát na požadavky pro rozmístění jednotlivých součástek. Znamenalo to u stejnosměrného měniče MAX1705 umístit co nejbližší čipu cívku a Schottkyho diodu a maximálně do 5 milimetrů od pouzdra napěťové děliče řídicí výstupní napětí. U Bluetooth modulu dodržet požadavek zóny bez zemnicích vodičů v okolí antény a naopak mimo tento prostor modul obklopit zemnicími vodiči s prokovkami mezi horní a dolní vrstvou, aby mezi nimi nemohly vznikat nežádoucí rozdíly nábojů. Požadavkem pro umístění vysokofrekvenčního krystalu, z něž se bere hodinový signál pro CPU mikrokontroleru bylo, aby v jeho bezprostředním okolí nebyly žádné prokovky.

Rozmístění součástek, kde nebylo požadováno speciální zacházení, jsem na desce volil tak, aby byly dobře přístupné ovládací prvky, headery pro programování a napájecí vstupy. Pole dynamických LED diod jsem umístil záměrně až za otvory pro plánovaný konektor, protože takto nejméně překážely jejich cestičky spojující konektor, LED a MCU. Zároveň šlo o vítanou možnost snížit budoucí namáhání konektoru FITkitu na páku.

10.4 Osazování

Tuto část by jsem byl schopen zastat celou sám díky zkušenostem s osazováním pomocí SMT ze střední školy. Bluetooth modul má však natolik atypické vývody, že by jsem si nemohl být jist dostatečnou funkčností spoje. Proto byl spolu s mikrokontrolerem osazen firmou AJ Technology, která disponuje pro tento účel vhodnějším vybavením a zkušenostmi. MCU na sesterské testovací desce už jsem úspěšně osadit sám.

Během procesu osazování SMD je důležité dbát na správné pracovní pomůcky a podmínky. Nezbytná pro mě byla špičatá pinzeta, kterou bylo možno spolehlivě zachytit a k pájení připravit i malé SMD kondenzátory 0603. K dávkování pájecí SMT pasty pomocí krátké duté tupé jehly nastrčená na vyústění pístového zásobníku bylo lehce neobratné. Vhodnější variantou by byla vakuová dávkovačka. Pokud se zaměřím na vhodnost prostředí k osazování metodou SMT ve školní laboratoři, mám výhrady vůči vzduchotechnice u pracovního stolu, které znatelně ochlazovaly prostředí, a absenci vyhřívání, či alespoň tepelně izolační podložky. Vlivem těchto faktorů se prodlužuje čas osazování metodou pájení přetavením.

Pořadí osazovaných součástek jsem volil tak, aby největší z nich přišly na řadu poslední. Tento postup přispěl k větší stabilitě DSP během pájení.

Nejobtížnější součástkou pro prichycení byl jednoznačně SD slot, který tvoří velká plocha kovu. Proto nebylo možné ho bez dotyku pistole natolik nahřát, aby se jeho pasta u jeho nožiček přetavila. Klasické SMD součástky se pájely dobře. Pokud se zvolila právná strategie nahřívání, pak se pasta na všech ploškách součástky přetavila ve stejnou chvíli a součástka samotná se vzhledem k pájecím ploškám vycentrovala.

10.5 Oživování

Fáze oživování patří ke zcela specifickým hardwarovým činnostem. Nejspíše jistě se také výrobek od výrobku liší v obtížnosti. V mém případě bych ji označil jako druhou neobtížnější po návrhu desky plošného spoje.

10.5.1 Odstraňování problémů

Základním problémem bylo, že desku nešlo testovat postupně, protože nejdůležitější části již byly osazeny. Když se tedy po připojení k napájení objevilo na výstupu měniče nesprávné napětí (4,6V místo 3,3V), nebylo vyloučeno, že Bluetooth modul i mikrokontroler budou poškozeny. Testování která následovala, tomu bohužel nasvědčovala. MCU nebylo možné naprogramovat. Až po celém dni neúspěšných pokusů byly zásluhou mého vedoucího odhaleny dvě chyby. První spočívala v přebytečných NPN tranzistorech, jenž byly při programování s využitím FITkitu přebytečné. Druhá tkvěla v chybném připojení nevyužitého vstupu střídavého napájení mikroprocesoru. Místo uzemnění jej bylo třeba připojit na logickou „1“. Později jsem narazil ještě na problém, který znemožňoval naprogramovat mikrokontroler, pokud byl funkční Bluetooth modul. Její původ spočíval v tom, že jeden z programovacích pinů mikrokontroleru současně sloužil i jako komunikační pro BT modul. Když byl modul funkční, deformoval programovací signál. Teprve uvedení BT modulu do resetu během programování tento problém vyřešilo.

10.5.2 Programování mikrokontroleru

Pro nahrání přeloženého programu do interní Flash paměti disponuje MSP430 funkcí BSL (BootStrap Loader), která umožní s pomocí sériového rozhraní UART zapsat do interní Flash paměti nový program.

Nahrávání přeloženého programu je z PC nutné provádět pomocí sériového rozhraní. Jelikož jím v dnešní době disponují spíše starší počítače, rozhodl jsem se pro programování využít FITkit, jehož USB převodník FT2232 poskytuje potřebné signály. Díky Ing. Vašíčkovi jsem se dozvěděl, že signály BSLR a BSLT je potřeba připojit k levým polovinám jumperů J12 a J11, reset a hodiny pak na pravou stranu jumperů J8 a J9.

10.6 Implementace

V této kapitole se zmíním o průběhu programování a o principu fungování Bluetooth GPS loggeru. Přesnější popisy jednotlivých funkcí je možno nalézt v programové dokumentaci.

10.6.1 Vývoj firmware

Jakmile bylo zprovozněno nahrávání, začal jsem postupně zprovozňovat jednotlivé funkce mikrokontroleru. v pořadí, jak byly nezbytné pro fungování loggeru v následujícím pořadí: nastavení hodinového modulu, zprovoznění UART, SPI, časovač s obsluhu přerušení a Flash memory. Byl uskutečněn i pokus se zobrazováním na dynamických LED diodách, ale vůli nízkému jas diod nebylo toto zobrazování vnímáno jako souvislý svit.

10.6.2 Popis funkce programu

Základní roli hraje v celém programu mikrokontroler. Ten je po startu potřeba inicializovat. Tento úkon představuje nastavení portů, změnu nastavení základního hodinového bloku, inicializaci časovačů, UART a SPI rozhraní, paměti Flash, povolení přerušení a další. Pak proběhne vyresetování Bluetooth modulu, které slouží k ukončení všech navázaných spojení. Následně se přejde k nastavení Bluetooth modulu (viz kapitola 10.2.1). Po této fázi už je možné přijímat data od BT. Je zahájena hlavní programová smyčka, ve které se načítají zprávy přijaté na UART rozhraní (jsou-li nějaké). Pokud data dorazila, jsou poslána do prvního konečného automatu, který sleduje připojení/odpojení vzdáleného Bluetooth zařízení. Dále jsou poslána do druhého konečného automatu, jenž je uzpůsoben pro kontrolu a načítání RMC vět. Když je jím detekována validní věta a zrovna uběhla nastavená doba od posledního akceptování zprávy, je celá načtená věta zkopírována do struktury určené k odesílání. V hlavní programové smyčce je pak umožněn vstup do vysílací části, kde se s každým jejím opakováním odesílá do Flash paměti jeden znak zaznamenávané informace naformátované třetím stavovým automatem z uložené věty.

Nezávisle na této činnosti probíhá signalizace stavů loggeru pomocí přerušení časovače A, která je vyhodnocována každé půl sekundy podle proměnných nastavovaných v hlavní smyčce.

10.7 Ladění

Do této kapitoly spadá jedna z posledních částí vývoje. Již bylo zřejmé, že všechny potřebné funkce jsou hotové a podle očekávání by měly pracovat. Logger se však ihned po spuštění zasekával a nereagoval. Chvilí nebylo zřejmé, kde je chyba, až pak vyšla najevo varovná věta uvedená v manuálu Wireless UART firmwaru Bluetooth modulu. Je zde výslovně uvedeno, že když je aktivována kontrola toku dat a zároveň upozornění na připojení či odpojení Bluetooth zařízení, může se s tím, že dojde k deathlocku, pokud nejsou data načtena. Toto upozornění se ukázalo jako platné i v tomto případě. Zbývalo zjistit, proč se data přestávají načítat. Jednou z možností byla neobsloužené přerušování, které mohlo nastat v případě, že přila přes UART zpráva, ale nebyla přečtena kvůli zaplněnému zásobníku. V tomto případě pak nebylo možno provádět žádné další operace, protože řízení se pořád vracelo obsluze tohoto přerušování. Vhodným postupem k zjištění možného řešení problému se zdálo být sledování přetékajícího bufferu a jeho vyprazdňování. Tento postup nebyl korektní, ale umožňoval začít pátrat po příčinách přetékání a opatřeních, která jim zabrání. Experimentálně bylo zjištěno, že se program zasekává po volání funkce `delay_ms` při záznamu na Flash. Toto jistě mě postupně přivedlo k myšlence, že obsluha program musí probíhat v hlavní smyčce co nejrychleji, aby bylo zajištěno pravidelné čtení bufferu a nedocházelo k jeho přepĺňování. V konečném důsledku celá oprava spočívala ve snížení doby čekání při odesílání na Flash. Původní byla příliš dlouhá. Také došlo ke zvýšení taktu hodin SPI na hodnotu stejnou s MCLK, tedy 14,7456MHz. Posledním z opatření bylo zvětšení přijímacího bufferu, aby během vysílání, které zpomalí příjem zpráv z UART, nedocházelo k jeho přetečení.

10.8 Testování

Přijímáním dat z GPS s pomocí Wireless UART firmwaru jsem si ověřil, že tento způsob spojení funguje. Kromě nutné režie při inicializaci a řízení Bluetooth modulu je přes emulovaný sériový port možno zřídít spojení mezi koncovými zařízeními stejně, jako by šlo o přímé propojení.

Po odladění bylo úspěšně otestováno ukládání informací s omezením na nejvíce každou vteřinu. Jako stabilnější se však doporučuje používat minimálně dvousekundová prodleva mezi dvěma ukládanými zprávami. Předchází se tím případnému nebezpečí přetečení zásobníků.

Při záznamu každé dvě sekundy bylo učiněno měření délky výdrže paměti a baterie. Výsledkem paměťového testu je doba okolo šesti hodin, přičemž předpokládané zaplnění paměti bylo očekáváno už za pět hodin při délce jedné zaznamenávané zprávy 58 bajtů a kapacitě Flash paměti 512kB. Předpokládám, že delší doba možného záznamu je způsobena tím nedostupností signálu GPS a záznamem, který neprobíhal pravidelně přesně po dvou vteřinách. Výsledkem testu výdrže na baterii je hodnota pohybující se kolem třiceti hodin.

11 Závěr

Díky této bakalářské práci jsem se podrobněji seznámil s technologií Bluetooth, zdokonalil se v zásadách návrhu plošných spojů a seznámil se s mikrokontrolery rodiny MSP430.

Bluetooth GPS logger jsem navrhnul jako autonomní zařízení s důrazem na nízkou spotřebu a za účelem logování souřadnic z něj získaných na FLASH paměť a volitelně na SD kartu.

Bluetooth GPS logger jsem vytvořil také jako rozšiřující Bluetooth modul pro platformu FITkit s možností využití pole dynamicky rozsvěcených LED diod.

Tento modul jsem osadil, oživil a vytvořil pro něj sadu knihovních funkcí, pomocí nichž komunikuje s externí GPS.

Ověřil jsem činnost Bluetooth GPS loggeru a zjistil jeho parametry.

Hodnocení z hlediska dalšího vývoje projektu:

Další vývoj tohoto projektu se může vydat dvěma směry. Prvním je zprovoznění záznamu dat na SD kartu, čímž by bylo možné zaznamenaná data dále zpracovávat. Pro toto řešení je nutné vytvořit podporu systému souborů FAT.

Druhým možným směrem vývoje je transformace na jednoduchý navigační přístroj s grafickým displejem.

Návaznost na dokončené projekty:

Bluetooth GPS logger umožňuje svým navržením připojení Bluetooth modulu k výukové platformě FITkit, čímž rozšiřuje její funkčnost.

12 Literatura

1. Global Positioning System. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 24. 5 2009.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/GPS>.
2. **Martínek, Jan**. GPS a komunikační protokol NMEA. *AbcLinuxu*. [Online] 2006. [Citace: 24. 05 2009.] <http://www.abclinuxu.cz/serialy/gps-a-komunikacni-protokol-nmea>.
3. Geoid. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 24. 05 2009.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Geoid>.
4. Word Geodetic System. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 24. 05 2009.] http://cs.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System.
5. Bluetooth. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 25. 05 2009.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>.
6. SiRF. *Wikipedia*. [Online] [Citace: 24. 05 2009.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Sirf>.
7. NMEA. *Wikipedia*. [Online] 2009. [Citace: 24. 05 2009.] <http://en.wikipedia.org/wiki/NMEA>.
8. **SiRF**. BT-359 - Bluetooth Empfänger. *Navilock*. [Online] 01 2005. [Citace: 25. 05 2009.] http://www.navilock.de/view/PDFs/Sirf3_Chipsatz_Schnittstellenbeschreibung/328.
9. Bluetooth. *Wikipedia*. [Online] 2009. [Citace: 25. 05 2009.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>.
10. **Pešek, Jiří**. Přichází Bluetooth 3.0, technologie výrazně zrychluje. *Týden.cz*. [Online] 20. 04 2009. [Citace: 25. 05 2009.] http://www.tyden.cz/rubriky/veda-a-technika/technologie/prichazi-bluetooth-3-0-technologie-vyrazne-zrychluje_115320.html.
11. **Shah, Agam**. New Bluetooth 3.0 standard boosts wireless data transferrs. *Macworld*. [Online] 22. 04 2009. [Citace: 25. 05 2009.] <http://www.macworld.co.uk/digital/lifestyle/news/index.cfm?newsid=25791>.
12. Bluetooth profile. *Wikipedia*. [Online] 2009. [Citace: 25. 05 2009.] http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Port_Profile#Serial_Port_Profile_.28SPP.29.
13. Flash memory. *Wikipedia*. [Online] 2009. [Citace: 25. 05 2009.] http://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory.
14. Digital rights management. *Wikipedia*. [Online] 2009. [Citace: 25. 05 2009.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Digital_rights_management.
15. Secure Digital card. *Wikipedia*. [Online] 2009. [Citace: 25. 05 2009.] http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital_card.
16. Jednočipový počítač. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 25. 05 2009.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Jednočipový_počítač.
17. **Texas Instruments**. MSP430F2618. *Texas instruments*. [Online] 22. 01 2009. [Citace: 25. 05 2009.] <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f2618.pdf>.
18. —. MSP430x2xx Family User's Guide. *Texas Instruments*. [Online] 2008. [Citace: 05. 04 2009.] <http://focus.ti.com/lit/ug/slau144e/slau144e.pdf>.

19. Měnič napětí. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 26. 05 2009.]
http://cs.wikipedia.org/wiki/Měnič_napětí.
20. Spínaný zdroj. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 26. 05 2009.]
http://cs.wikipedia.org/wiki/Spínaný_zdroj.
21. **Microchip**. DC / DC Spínané zdroje. *Ecom.cz*. [Online] [Citace: 26. 05 2009.]
http://www.ecom.cz/katalog_pdf/microchip/spinane_zdroje_mcp.pdf.
22. Surface-mount technology. *Wikipedie*. [Online] 2009. [Citace: 26. 05 2009.]
http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount_technology.
23. **Vašíček, Ing. Zdeněk**. Firmware / Knihovna libfitkit. *FITkit*. [Online] 2006-2009. [Citace: 26. 05 2009.] http://merlin.fit.vutbr.cz/FITkit/docs/firmware/mcu_libfitkit.html.
24. Free2move Bluetooth Module - F2M03GLA. *Free2move*. [Online] 2009. [Citace: 11. 11 2008.]
http://www.free2move.se/index.php?type=view&pk=24&pk_language=1.
25. **Maxim**. Step-Up DC-DC Converters with Linerar Regulator. *Farnell*. [Online] [Citace: 1. 11 2008.] <http://www.farnell.com/datasheets/46416.pdf>.

13 Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Odvození pozice přijímače v 2D	4
http://www.abclinuxu.cz/images/clanky/martinek/gps-1-3hyberbolas.png	
Obrázek 2.2 Data přicházející z GPS ve formátu NMEA	6
Obrázek 4.1 Blokový diagram Flash paměti.....	9
Obrázek 4.2 Propojení SD karty na rozhraní SPI.....	10
http://www.mcu.fluxfocus.com/documents/SDSPI/SDConnect.bmp	
Obrázek 5.1 Funkcionální blokový diagram pro MSP430F241x/261x.....	11
http://focus.ti.com/ds_dgm/images/fbd_slas541e.gif	
Obrázek 5.2 Blok základního hodinového modulu	12
Obrázek 5.3 Pořadí priorit přerušení	13
Obrázek 5.5 SPI s jedním slave	15
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/SPI_single_slave.svg	
Obrázek 5.4 SPI s více slave.....	15
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/SPI_three_slaves.svg	
Obrázek 6.1 DC/DC nastavitelný měnič	16
Obrázek 6.2 DC/DC měnič	16

Seznam příloh

Příloha 1. Schéma zapojení MCU

Příloha 2. Schéma zapojení MCU s připojenou Flash, Bluetooth a SD

Příloha 3. Schéma zapojení regulátoru a stabilizátoru napětí

Příloha 4. Schéma zapojení pole LED

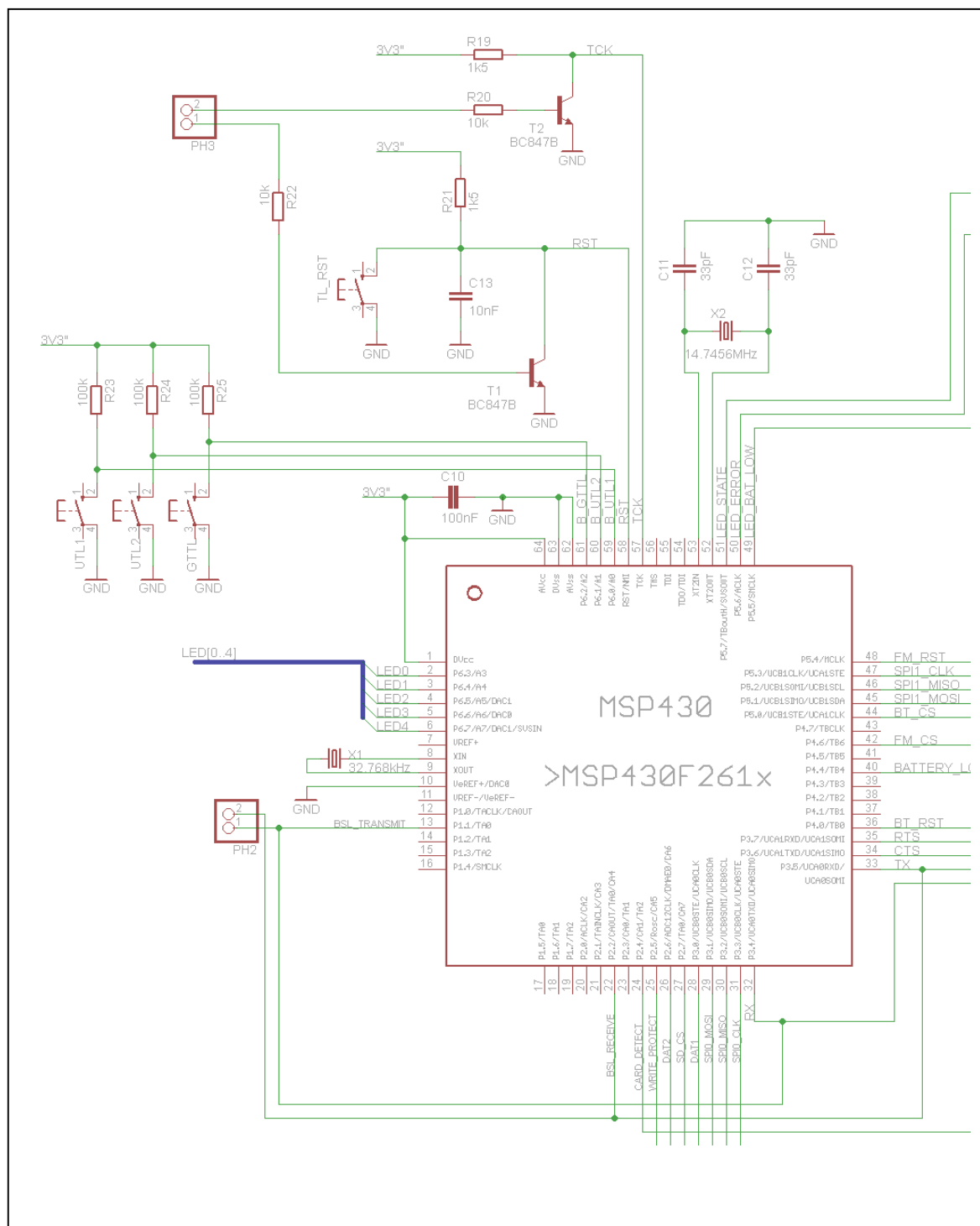
Příloha 5. Schéma zapojení konektoru pro připojení k FITkitu

Příloha 6. Horní strana desky plošného spoje

Příloha 7. Spodní strana desky plošného spoje

Příloha 8. CD se zdrojovými texty, programovou dokumentací a elektronickou verzí technické zprávy

Schéma zapojení MCU



Příloha 2.

Schéma zapojení MCU s připojenou Flash, Bluetooth a SD

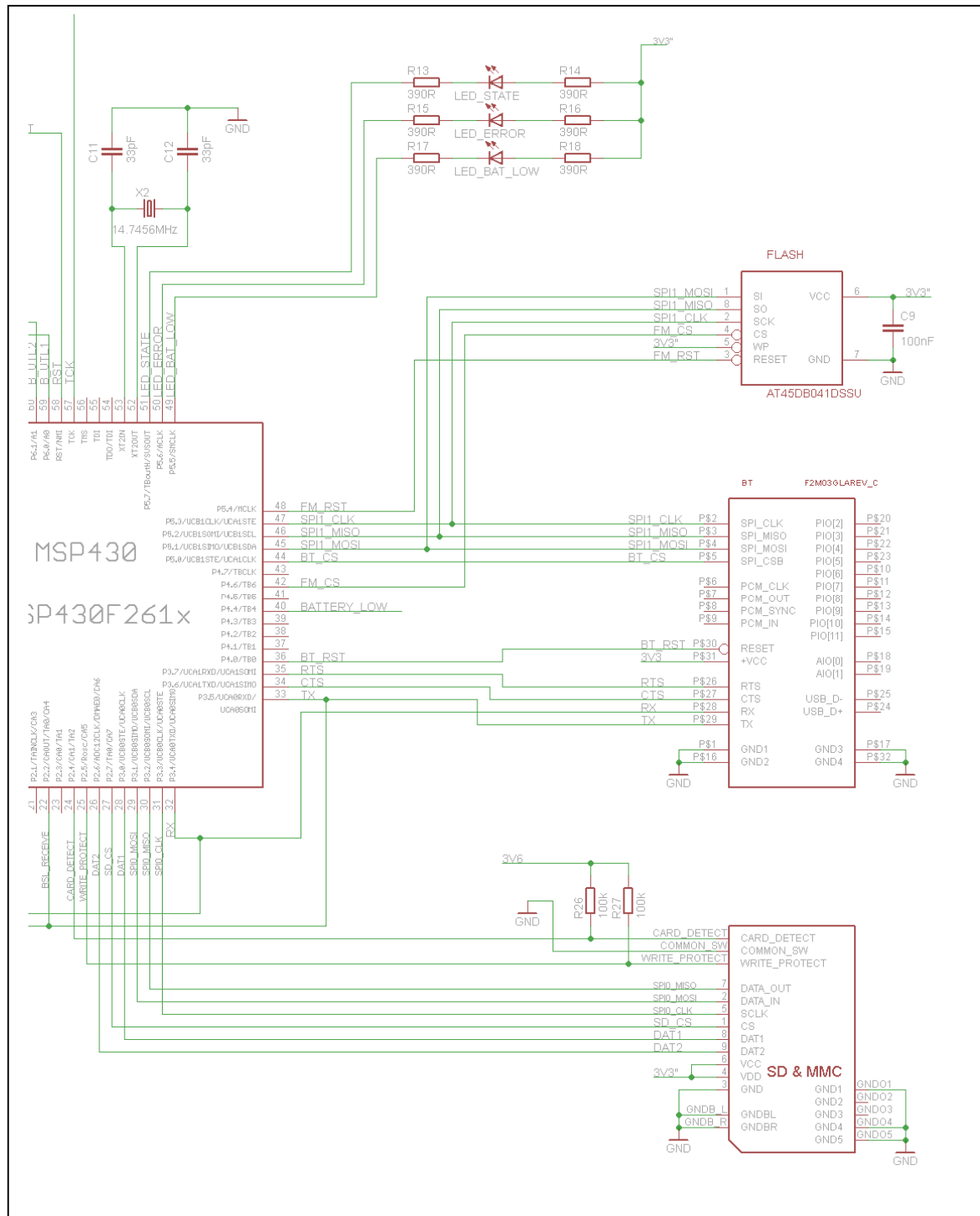
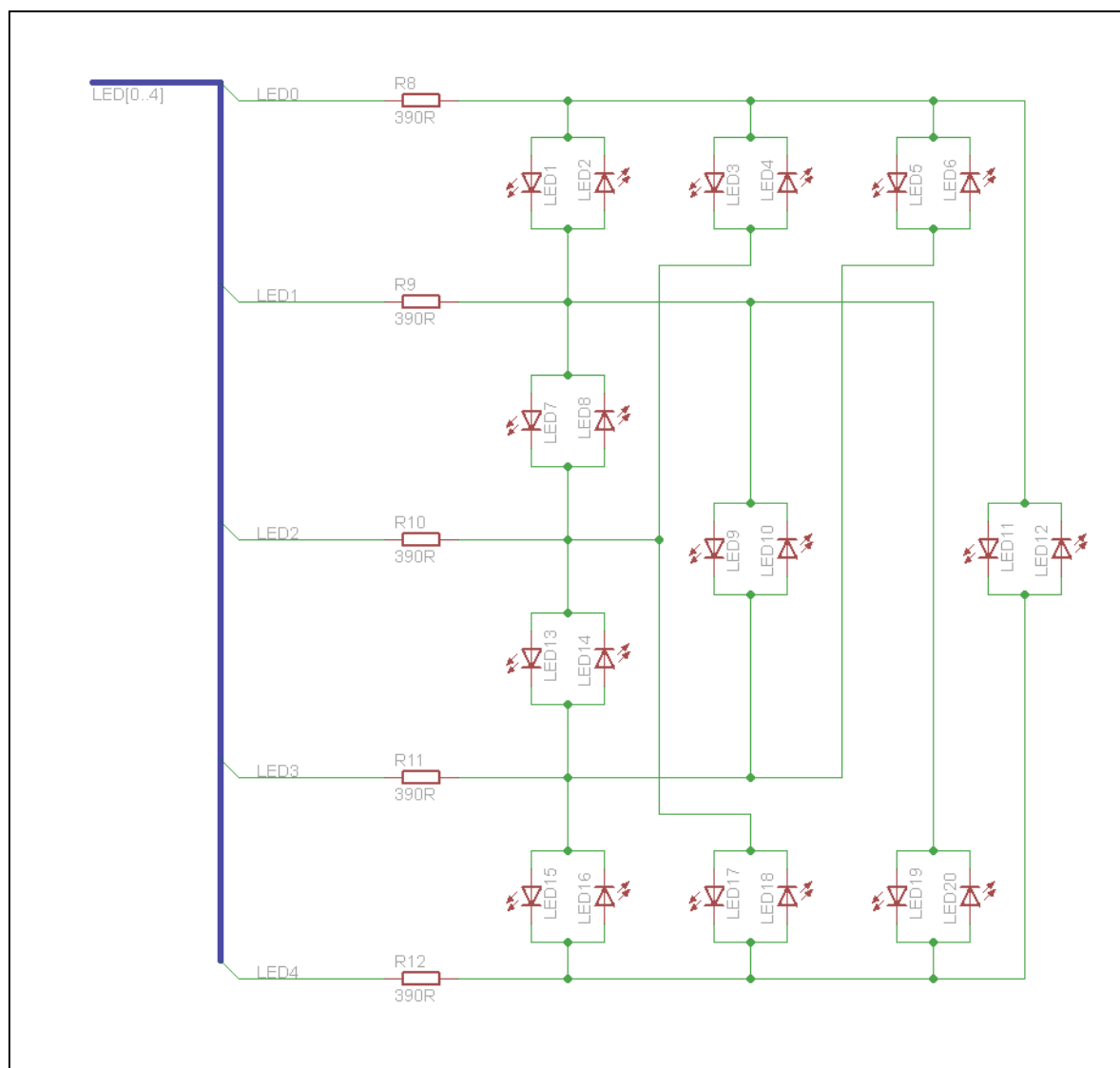


Schéma zapojení regulátoru a stabilizátoru napětí



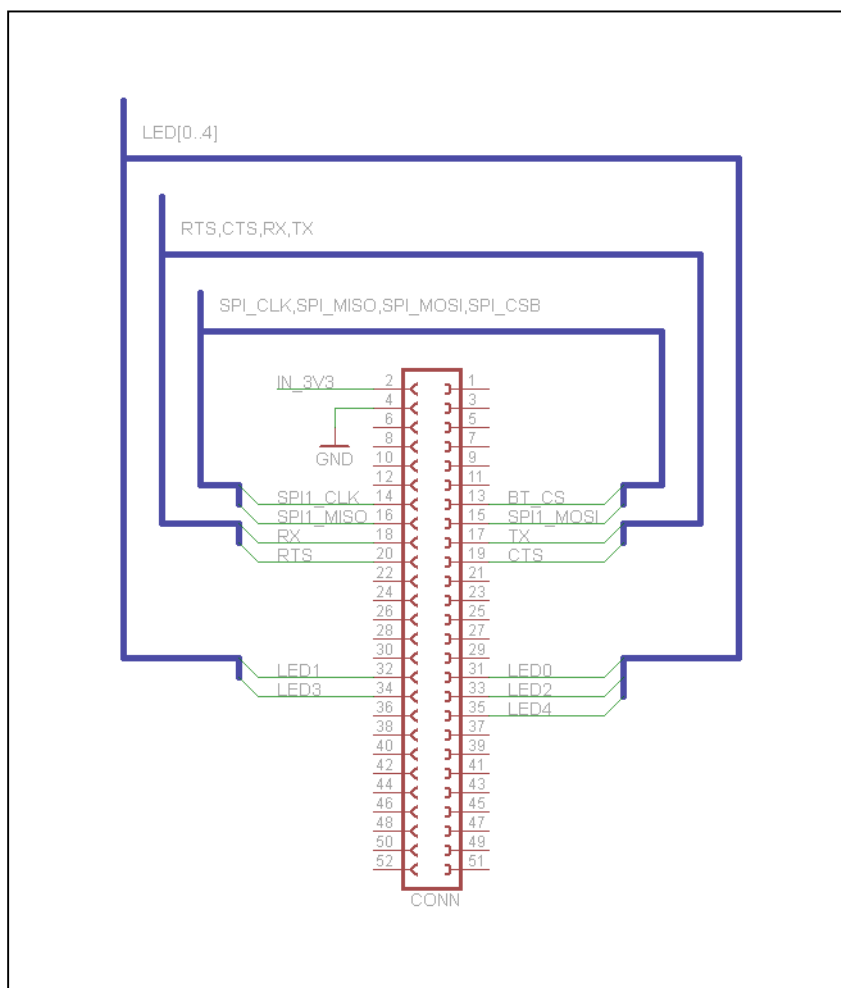
Příloha 4.

Schéma zapojení pole LED



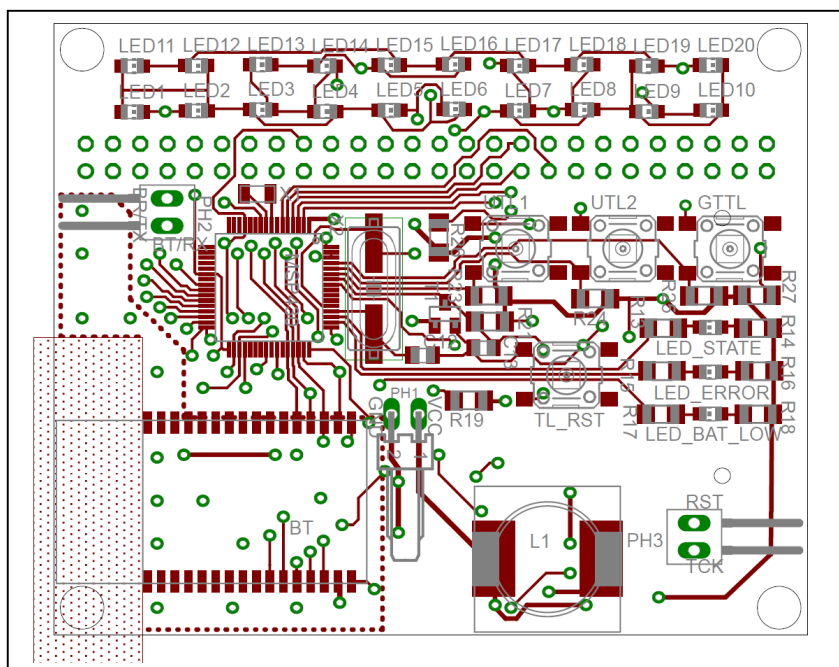
Příloha 5.

Schéma zapojení konektoru pro připojení k FITkitu



Příloha 6.

. Horní strana desky plošného spoje



Příloha 7.

. Spodní strana desky plošného spoje

