

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MONITOR PRO WIRELESS M-BUS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ BAŠTÁN

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MONITOR PRO WIRELESS M-BUS

MONITOR FOR WIRELESS M-BUS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ONDŘEJ BAŠTÁN

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŠŤASTNÝ

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Ondřej Baštán

ID: 156224

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Monitor pro Wireless M-Bus

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout bateriově napájené zařízení pro monitorování Wireless M-BUS komunikace. Toto zařízení má umožňovat ukládání na SD kartu a komunikaci pomocí Bluetooth, případně USB. USB port slouží současně k nabíjení zařízení. Zadáání lze shrnout do následujících bodů:

1. Seznamte se s problematikou Wireless M-Bus komunikace a návrhem pro bateriově napájená zařízení.
2. Definujte požadavky na zařízení a navrhnete jeho obvodové zapojení.
3. Realizujte prototypovou DPS pro ověření konceptu.
4. Navrhnete strukturu FW a vytvořte samotný FW s ohledem na bateriové napájení a požadavky na zařízení.
5. Navrhnete jednoduchou aplikaci na ověření funkčnosti zařízení a toto otestujte.

Zadavatelem je společnost ModemTec, s.r.o.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] DAVIES, J. MSP430 microcontroller basics. Amsterdam: Elsevier, c2008, 668 s. ISBN 978-0-7506-8276-3.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 25.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Šťastný

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem bateriově napájeného zařízení pro monitorování a záznam komunikace Wireless M-BUS. Práce popisuje jak komunikační protokol M-BUS, a na něj navazující bezdrátový komunikační protokol Wireless M-BUS, tak výběr vhodného hardware pro návrh zmiňovaného zařízení. Práce se taktéž zabývá návrhem a vytvořením firmware, který odpovídá zvolenému hardware a účelu řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

datalogger, MSP430, SD karta, SPI, USB rozhraní, Bluetooth, Wireless M-BUS, UART, Li-pol akumulátor

ABSTRACT

The thesis proposes a battery-powered devices to monitor and record communications Wireless M-BUS. Work describes how the communication protocol M-BUS, and the related wireless communication protocol Wireless M-BUS and selection of appropriate hardware for the design of the equipment in question. Work also deals with the design and creation of firmware that matches the selected hardware and purpose solutions.

KEYWORDS

datalogger, MSP430, SD card, SPI, USB interface, Bluetooth, Wireless M-BUS, UART, Li-poly battery

BAŠTÁN, Ondřej *Monitor/Logger pro Wireless M-Bus*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2014. 69 s. Vedoucí práce byl Ing. Ladislav Šťastný,

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Monitor/Logger pro Wireless M-Bus“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ladislavu Šťastnému za přemíru trpělivosti, odborné vedení, konzultace, vstřícný přístup a podnětné návrhy, které pomohly výrazně zvýšit kvalitu předložené práce, dále také panu Bc. Jakubu Kováčovi za rady a odbornou pomoc.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	12
1 Cíl práce	13
2 Monitor/Datalogger	14
2.1 Analogové dataloggery	14
2.2 Číslicové dataloggery	14
3 Wireless M-BUS	16
3.1 M-Bus	16
3.1.1 Struktura M-Bus	16
3.2 Protokol Wireless M-BUS	17
3.2.1 Režimy radiového přenosu	18
3.2.2 Radiová komunikace	19
3.2.3 Princip komunikace	19
3.2.4 Formát datového paketu	20
4 M-Dongle	21
4.1 Komunikační protokol s nadřazeným zařízením	21
5 Bluetooth	23
5.1 Bluetooth Low-Energy (BTLE)	23
5.1.1 Přesouvání dat	24
6 Volba MCU	25
7 Návrh struktury hardware zařízení s nízkou spotřebou	27
7.1 Prostředky pro snížení spotřeby	27
7.2 Struktura HW	27
8 Softwarové vybavení systému s nízkou spotřebou	29
8.1 Prostředky pro snížení spotřeby	29
8.1.1 Režimy nízké spotřeby MSP 430	29
8.1.2 Systém přerušení MSP 430	31
8.1.3 Modul managementu spotřeby PMM	31
8.1.4 Koncept firmware	32

9	Návrh hardware	33
9.1	Návrh schematu zapojení	33
9.1.1	MCU	33
9.1.2	Wireless M-BUS - mDongle	34
9.1.3	Bluetooth	35
9.1.4	USB	36
9.1.5	SD karta	37
9.1.6	Napájení	39
9.1.7	Nabíjení	40
9.1.8	Watch-Dog	41
9.2	Návrh desky plošného spoje	42
10	Firmware	43
10.1	Vývojový software	43
10.2	Popis funkce firmware	43
10.3	Struktura firmware	44
10.3.1	Inicializace	45
10.3.2	Nekonečný cyklus	47
10.4	Softwarová obsluha periférií	48
10.4.1	Tlačítka	48
10.4.2	Hodiny reálného času	48
10.4.3	USB rozhraní	49
10.4.4	Rozhraní M-Dongle	49
10.4.5	Komunikace s pamětovou kartou	50
10.5	Rozhraní bluetooth	50
10.5.1	Komunikace s modulem	50
10.5.2	Inicializace bluetooth rozhraní	52
10.5.3	Odesílání dat pomocí bluetooth	52
10.6	Souborový systém	52
10.6.1	FatFs	53
11	Testovací aplikace	55
12	Závěr	56
	Literatura	57
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	60
	Seznam příloh	63

A Schémata zapojení	64
A.1 Zapojení CPU	64
A.2 Zapojení periferií	65
B Výrobní podklady	66
B.1 Deska plošného spoje TOP	66
B.2 Deska plošného spoje BOTTOM	66
C Seznam součástek	67
C.1 Seznam součástek pro osazení	67
D Elektronická příloha CD	69
D.1 Elektronická verze dokumentace	69
D.2 Schema zapojení	69
D.3 Výrobní podklady DPS	69
D.4 Firmware	69
D.5 Testovací aplikace	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Universální datalogger AEMC Instruments. [1]	14
3.1	Využití komunikace Wireles M-BUS s moduly Radiocrafts.[2]	16
3.2	Logo M-Bus	17
3.3	Bezdrátový Wireles M-BUS elektroměr[4]	18
3.4	Blokové schema koncentrátoru a měřičů	19
3.5	Formát paketu odesílaného pomocí Wireless M-BUS modemu	20
4.1	Blokové schema modulu mDongle Zdroj: Interní dokumentace firmy ModemTec [18]	21
5.1	Bluetooth Smart logo	23
6.1	MCU MSP430F5438A	25
6.2	Funkční blokový diagram mikrokontroléru MSP430F5438A [6].	25
7.1	Blokový diagram struktury hardware.	28
8.1	Operační módy [9]	29
8.2	Blokové schema Power managemant modulu [8]	31
9.1	Zapojení krystalového rezonátoru.	33
9.2	Zapojení programátoru a resetovacího obvodu.	34
9.3	Zapojení blokovacích kondenzátorů MCU.	34
9.4	Zapojení konektoru pro připojení mDongle.	35
9.5	Bluetooth modul Microchip RN4020	35
9.6	Zapojení bluetooth modulu	36
9.7	Obvod FTDI pro USB komunikaci	36
9.8	Zapojení obvodu FT232R	37
9.9	SD karta značky San Disk	38
9.10	Zapojení patice pro SD kartu	38
9.11	Akumulátor SAMSUNG ICP103450S	39
9.12	Zapojení stabilizátoru napětí TPS77301	39
9.13	Blokové zapojení obvodu MAX1811	40
9.14	Zapojení nabíjecího obvodu MAX1811	40
9.15	Blokové schema obvodu STM6824RWY6F.	41
9.16	Zapojení dozorčího obvodu.	41
9.17	Pohled na rozmístění součástek na desce	42
10.1	Screenshot Code composer studia	43
10.2	Běh programu po připojení napájení	45
10.3	Rozhodování uvnitř nekonečné smyčky	47
10.4	Výstřižek katalogového listu: Akční příkazy	51
10.5	Vrstvy pro použití modulu FATFS	53
11.1	Aplikace USB monitor	55

A.1	Schéma zapojení CPU	64
A.2	Schéma zapojení periférií	65
B.1	DPS top, rozměr: 63mmx96mm	66
B.2	DPS bottom, rozměr: 63mmx96mm	66
C.1	Tabulka materiálu A	67
C.2	Tabulka materiálu B	68

SEZNAM TABULEK

3.1	Vrstvy OSI modelu průmyslové sběrnice M-Bus[3]	17
3.2	Tabulka režimů komunikace Wireless M-BUS[5]	18
5.1	Tabulka porovnání Bluetooth Classic a BTLE [21].	24
8.1	Tabulka operačních módů mikrokontroléru MSP430F5438A [9]	30

ÚVOD

Předložená práce se zabývá problematikou komunikace Wireless M-BUS (bezdrátová měřicí sběrnice, vychází z protokolu M-BUS – wireless meter bus), a návrhem energeticky nenáročného bateriově napájeného monitor/loggeru pro tuto komunikaci. Jedná se o průmyslový komunikační protokol určený především pro přenos dat a řízení v oblastech měření a regulace topných systémů, plynu, odběru elektrické energie a vody.

Práce dále popisuje komunikace Wireless M-BUS, problematiku monitoringu a logování dat, návrhem systémů s nízkou spotřebou a návrhem softwarového vybavení pro navrhovaný přístroj. Při návrhu firmware je rovněž zohledněna problematika nízké spotřeby. Pro navržený a sestavený prototyp je navržena jednoduchá testovací aplikace, pomocí které je ověřena funkčnost zařízení.

Práce je vypracována dle požadavků společnosti ModemTec s.r.o., která se zabývá vývojem v oblastech komunikace po elektrické síti (PowerLine Communication) a měření elektrické energie. Snahou této práce je navrhnout prototyp zařízení pro servisního technika společnosti ModemTec s.r.o., který jej bude využívat pro diagnostiku a servis.

1 CÍL PRÁCE

Cílem práce je návrh prototypu přenosného kapesního zařízení pro shromažďování dat z datové sběrnice Wireless M-BUS, které bude schopno jak automatického zápisu do integrovaného paměťového bloku tvořeného SD kartou, tak přímého odesílání dat pomocí USB nebo Bluetooth do jiného mobilního zařízení (PC, tablet . . .). Zařízení má být napájeno pomocí akumulátoru, nabíjeného prostřednictvím napájení ze standardního USB portu. Od přístroje se očekává co nejnižší spotřeba s ohledem na maximální dobu provozu na jedno nabití.

Snahou práce je navrhnout prototyp přístroje, jenž je schopen minimálně 24 hodinového provozu na jedno nabití, a který umožňuje zápis Wireless M-BUS dat na integrovanou SD kartu, nebo přenos dat do PC, primárně pomocí Bluetooth rozhraní. Dále pak sestavit prototyp tohoto přístroje, navrhnout firmware a ověřit funkčnost konceptu.

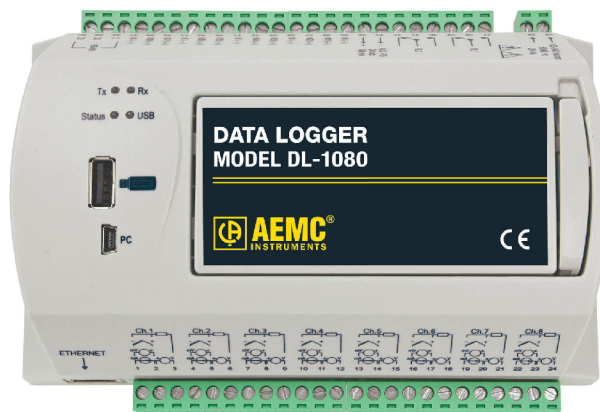
2 MONITOR/DATALOGGER

Monitor dat je zařízení, které slouží k zobrazení měřených dat v reálném čase. Tyto zařízení se používají zejména v místech, kde je potřeba zobrazit především digitální data, které jsou běžnými měřicími přístroji neměřitelné, nebo těžko zobrazitelné. Jedná se například o ladění průmyslových komunikačních sítí, servis datových sběrnic, kalibrace vzdálených měřičů, ladění bezdrátových sítí, atd. . . .

Pokročilejší verzí monitoru dat je tzv. Datalogger. Jedná se o zařízení, které umožňuje shromažďování dat dané veličiny v čase. Tyto data se dají zaznamenávat různými způsoby v závislosti na zaznamenávané veličině. V zásadě dataloggerů rozlišujeme dva druhy dataloggerů, analogové a číslicové.

2.1 Analogové datalogger

Analogové datalogger se skládají ze zapisovače, který je mechanicky nebo elektricky vychylován v závislosti na měřené veličině, a ze zapisovacího válce, na kterém je umístěno zapisovací médium. Tento válec je pomocí hodinového stroje posouván, a zapisovač na něj vykresluje data. Jako médium lze použít pruh papíru nebo záznamový kotouč. Jako příklad analogového dataloggeru lze uvést například seismograf, přístroj sloužící k záznamu seismických vln.



Obr. 2.1: Universální datalogger AEMC Instruments. [1]

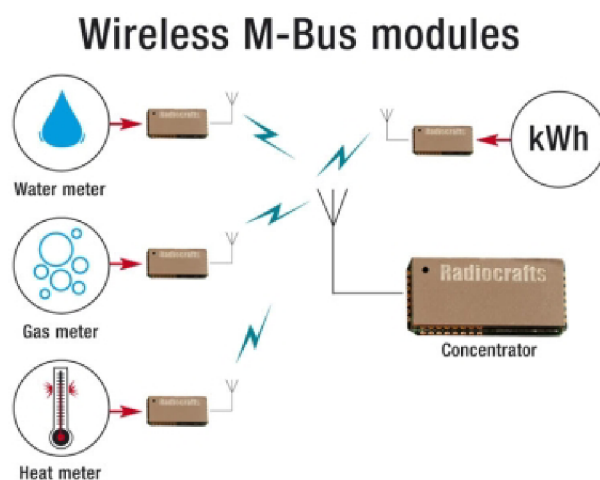
2.2 Číslicové datalogger

Číslicové datalogger obsahují AD převodník (Analog-Digital - analogově číslicový převodník), pomocí kterého je měřená veličina převedena do číslicového formátu. Digitální hodnota je potom zaznamenána do digitální paměti společně s časovou

značkou, která může být absolutní (například z obvodu reálného času) nebo relativní (počítána od počátku měření). Z těchto dat lze poté zpětně rekonstruovat průběh měřené veličiny. V případě této práce je zaznamenávána již zdigitalizovaná analogová veličina, která je přijímána pomocí Wireless M-BUS (bezdrátová měřicí sběrnice, vychází z protokolu M-BUS – wireless meter bus) protokolu. Na obrázku Obr.2.1 lze vidět příklad osmi-kanálového číslicového dataloggeru firmy AEMC, který umožňuje jak digitálních, tak analogových dat s vysokou rychlostí a rozlišením[1].

3 WIRELESS M-BUS

Jedná se o rozšíření průmyslové datové sběrnice M-Bus (Meter Bus - sběrnice pro měřidla), sloužící pro komunikaci s měřiči (Obr.3.1), o bezdrátový přenos dat, které bylo vytvořeno převážně z důvodu snadnější instalace a případných dalších rozšíření. Vzhledem k drátové verzi obsahuje tento protokol i specifikaci fyzické a drátové linkové hladiny OSI (Open Systems Interconnection model - komunikační model) modelu. Na tento model pak navazuje ve vyšších hladinách aplikační vrstva, která je už shodná s M-Bus. Tato novinka byla do standardu začleněna v roce 2007.



Obr. 3.1: Využití komunikace Wireles M-BUS s moduly Radiocrafts.[2]

3.1 M-Bus

Na základě potřeby vzniku specializované komunikační sběrnice pro vzdálené měření a odečítání stavu měřičů byl založen nový komunikační standard M-Bus s označením EN 13757, komunikační systém pro měřiče a vzdálené čtení měřičů. Vzhledem ke specifické oblasti využití umožňuje tento protokol propojení velkého množství zařízení na vzdálenost až několika kilometrů a přenos dat je kvalitně zabezpečen proti chybám. Jendou z dalších typických vlastností jsou nízké nároky na odezvy v reálném čase způsobené nepřítisť častým odečítáním naměřených hodnot. To umožňuje implementovat vrstvy OSI modelu programově včetně emulace sériového řadiče(UART).

3.1.1 Struktura M-Bus

Z potřeby robustní, spolehlivé a cenově co nejefektivnější průmyslové aplikace je struktura sítě M-Bus sběrniceového typu. Jednotlivé komponenty jsou připojeny na



Obr. 3.2: Logo M-Bus

společnou linku, což má výhodu v jednoduchosti při připojování a a odpojování jednotlivých komponent bez vlivu na komunikaci zbývajících stanic. V daném čase však může vysílat pouze jedna stanice.

Model komunikace je založen na OSI modelu (Open Systems Interconnection model - komunikační model), díky kterému lze uplatnit téměř jakýkoli komunikační protokol[3].

Vrstva OSI modelu	Funkce	Standard
Aplikační	Struktura dat, typ dat akce	EN1434-3
Prezenční	nevyužívá se	-
Spojová	nevyužívá se	-
Transportní	nevyužívá se	-
Síťová	rozšířené adresování (volitelné)	-
Linková	parametry přenosu, formát telegramu, adresování, integrita dat	IEC 870
Fyzická	kabel, bitová reprezentace, topologie, elektrická specifikace.	M-Bus

Tab. 3.1: Vrstvy OSI modelu průmyslové sběrnice M-Bus[3]

3.2 Protokol Wireless M-BUS

Wireless M-BUS dělí měřicí zařízení na 4 typy:

- Meter device
- Slave
- Klient
- Další zařízení

Další zařízení představují koncentrátory, které fungují jako centrální jednotka (Server/Master). Protokol EN13757-4 pak popisuje fyzickou spojovací (datovou linkovou) komunikační vrstvu, ve které jsou nadefinovány[2]:

- Parametry radiového přenosu
- Formát rámce paketů
- Přístupové metody

3.2.1 Režimy radiového přenosu

M-Bus má definováno několik režimů označených jako S, T, C a R představující čtyři různé přenosové rychlosti nebo typy modulace, které lze dále rozdělit na 1. nebo 2. typ, což označuje jednosměrný nebo obousměrný přenos dat.

Frekvence	Přenosová rychlost	Modulace	Jednocestná	dvoucestná
-	4,8 kb/s	-	neexistuje	R2
868,30MHz	32,768 kb/s	Manchester	S1/S1m	S2
868,95MHz	100 kb/s	3-out-of-6	T1	T2
868,95MHz	100 kb/s	NRZ	C1	C2

Tab. 3.2: Tabulka režimů komunikace Wireless M-BUS[5]

Jednosměrné komunikace například v režimu T1 jsou optimální pro přenos dat od měřičů tepla a vodoměrů, obousměrný režim T2 navíc umožňuje mimo čtení stavu měřičů i zpětné ovládání akčních členů (ventily), časovou synchronizaci a distribuci šifrovacích klíčů. Pro systémy bez časového přenosu lze použít pomalejší režim S. Režim S je optimální pro pravidelný přenos informace, například jednou za den. Dvoucestná komunikace T2 je optimalizována pro bateriově napájené přístroje, jelikož příjem dat je aktivní jen na pár milisekund (2 až 3 ms) po vysílání, po zbytek času je v režimu spánku. Pokud koncentrátor potvrdí zaslanoou zprávu v tomto čase, bude přijímač přijímat další instrukce. Režimy typu C mají novější typ modulace, a jsou navrženy jako modernější náhrada režimů T.



Obr. 3.3: Bezdrátový Wireless M-BUS elektroměr[4]

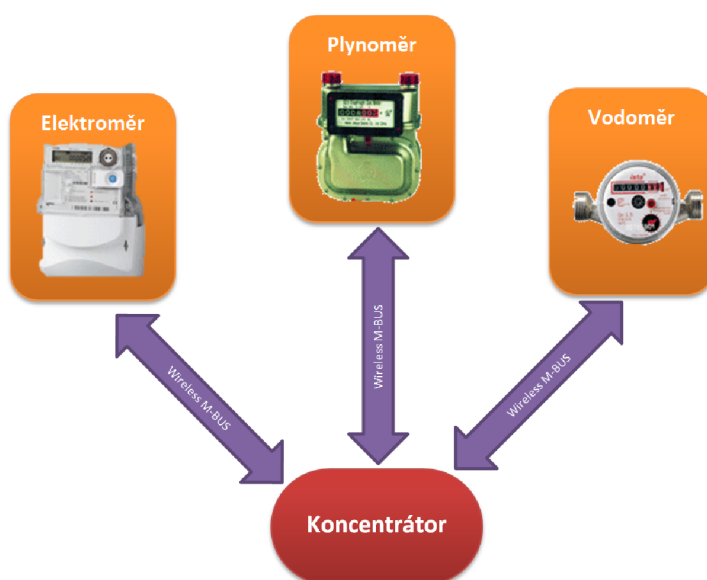
Režimy R jsou vhodné pro užití v případech, kdy je přenášeno malé množství dat na velké vzdálenosti. V režimu R lze, na rozdíl od předchozích, ručně zvolit 1 z deseti komunikačních kanálů. V režimech S, T a C jsou kanály již předdefinovány.

3.2.2 Radiová komunikace

Bezdrátová komunikace fyzicky probíhá ve 12 kanálech v bezplatném vysílacím pásmu ISM (industrial, scientific and medical - pásma pro radiová vysílání v průmyslovém, vědeckém a zdravotnickém odvětví) okolo frekvence 868 MHz (2 kanály 868,3 a 868,95 MHz jsou využívány v režimu S a T, zbylých deset kanálů je volitelných uživatelem $868,03 + n * 0,06$ MHz v režimu R2). Každý z režimů má specifické požadavky, těmi jsou například kanál, přesnost frekvence, tolerance přenosové rychlosti atd. Komunikace lze realizovat na velké vzdálenosti.

3.2.3 Princip komunikace

Komunikace má hvězdicovitou strukturu, kdy několik měřících jednotek nebo snímačů přenáší svá naměřená data jedné centrální jednotce, obvykle koncentrátorem (Obr.3.4). Ten slouží pro shromažďování dat z více míst. Koncentrátor pracuje jako server (Master), to znamená že naslouchá a čeká na navázání komunikace s měřicí jednotkou a jí inicializovaný přenos dat. Měřicí jednotka pracuje jako klient (Slave). V případě obousměrné komunikace přechází měřič do přijímacího režimu pouze na krátký čas. V tomto momentu může koncentrátor vyslat nějaké jednotce řídicí data.



Obr. 3.4: Blokové schéma koncentrátoru a měřičů

3.2.4 Formát datového paketu

Přístroje komunikující standardem Wireless M-BUS jsou nuceny používat formát datového paketu, který je uveden na Obr.3.5. Tento paket se skládá z následujících částí:

- Délka - interpretuje délku zprávy
- Comand - řídicí pole
- ManID - Označení výrobce
- Address - komunikační adresy
- Comand Instruction - řídicí instrukce
- Aplikační vrstva - odpovídá M-BUS
- RSSI - informace o síle signálu

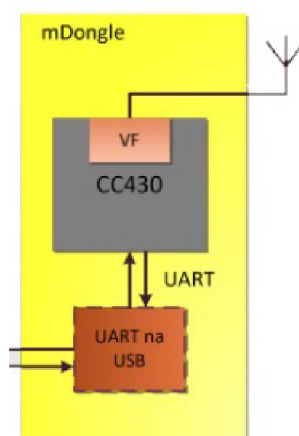


Obr. 3.5: Formát paketu odesílaného pomocí Wireless M-BUS modemu

Tento paket je pak většinou zašifrován a přenesen vzduchem. Obsah pole Aplikační vrstva je dán aplikační hladinou definovanou ve standardu M-BUS, je tedy shodná s klasickým drátovým M-BUSEm[2].

4 M-DONGLE

Pro sběr dat ze sběrnice Wireless M-BUS a jejich odesílání do MCU byl použit komunikační modul M-Dongle, který je využíván společností ModemTec, a jeho blokové schema lze vidět na Obr.4.1. Tento modul slouží pro sběr dat a komunikaci s multiutilitami. Jedná se o zařízení, které zabezpečuje obsluhu sub-gigahertzového rádia a zachytává a odesílá pakety daného komunikačního protokolu. Toto zařízení podporuje standardní komunikační protokoly jako Wireless M-BUS a jemu podobné. Protokol který je podporovaný závisí na aktuálně použitém firmwaru modulu.



Obr. 4.1: Blokové schema modulu mDongle Zdroj: Interní dokumentace firmy ModemTec [18]

M-Dongle je samostatný modul připojený k nadřazenému systému, v našem případě MCU, se kterým komunikuje pomocí sériové linky (RS-232). Na úrovni tohoto rozhraní stojí paket. Pomocí sériové linky lze mDongle také konfigurovat[18].

4.1 Komunikační protokol s nadřazeným zařízením

M-Dongle komunikuje s nadřazeným systémem pomocí sériové linky, s modelem komunikace master-slave (Nadřazený systém je master, mDongle slave). Parametry použité seriové linky jsou:

- Baud rate 38k4
- 8 datových bitů
- 1 stop bit
- Bez parity

Data pomocí rozhraní UART proudí do i z modulu ve specifických komunikačních rámcích. Formát tohoto rámce lze najít v interní dokumentaci společnosti ModemTec s.r.o.. [18]

5 BLUETOOTH

Technologie Bluetooth je definována standardem, IEEE 802.15.1., který spadá do kategorie osobních počítačových sítí. Standard se vyskytuje v několika verzích. Nejnovější verzí tohoto rozhraní je verze 4.1, u které je výrobcem přislíben dosah až 100 metrů, menší spotřeba a podpora šifrování AES. Komunikace Bluetooth pracuje v ISM(industrial, scientific and medical - pásma pro radiová vysílání v průmyslovém, vědeckém a zdravotnickém odvětví) pásmu na frekvenci 2,4 GHz. K přenosu dat využívá metody FHSS(frequency hopping spread spectrum - přenos v rozprostřeném spektru), kdy během sekundy proběhne 1600 přeladění mezi 79 frekvencemi s rozestupem 1 MHz. To zvyšuje odolnost proti rušení na stejné frekvenci.

5.1 Bluetooth Low-Energy (BTLE)

Bluetooth Smart je definován ve skupině Bluetooth Special Interest (SIG), která specifikuje rozhraní bluetooth verze 4.0 (verze 4.0 je podporována např. v zařízeních se systémem Android s verzí firmware 4.3 nebo vyšší). Verze 4.0 definuje dva nové režimy: dual-mode neboli "Smart-Ready," a single -mode neboli "Smart"-, který je také označován jako Bluetooth Low-Energy (BTLE).



Obr. 5.1: Bluetooth Smart logo

Bluetooth Smart moduly jsou osazovány v nejnovějších zařízeních jako jsou smartphony, tablety nebo počítače. Tyto zařízení v rámci bluetooth komunikace fungují jako tzv. klienti. Klientská zařízení přijímají data od zařízení typu server, která bývají reprezentována typicky sensorovými uzly. Klient poté přijímá data z uzlu, nebo jej prostřednictvím bluetooth komunikace řídí [20].

Klientská zařízení byla tradičně realizována pomocí Bluetooth Classic (v2.4 a vyšší). V mnoha případech je však tento druh komunikace zbytečný, neboť aplikace nevyžaduje posílání dat rychlostí 3MB/s. Místo toho je většinou naopak vyžadována jednoduchost, ve které vyniká právě zmiňované rozhraní BTLE, kde vytvoření komunikačního tunelu trvá oproti Bluetooth Classic 200x rychleji.

Specifikace	Classic Bluetooth	Bluetooth Smart
Vzdálenost	100m	>100m
Data rate	1-3 Mbit/s	1Mbit/s
Propustnost aplikace	0,7-2,1 Mbit/s	0,27 Mbit/s
Aktivní slave zařízení	7	Není specifikováno, záleží na implementaci
Bezpečnost	56/128-bit a uživatelem definovaná aplikační vrstva	128-bit AES s Counter Mode CBC-MAC a uživatelem definovaná aplikační vrstva
Robustnost	Adaptivní změna frekvence, FEC, rychlé ACK	Adaptivní změna frekvence, pomalé ACK, 24-bit CRC, 32-bit MIC
Latence	100ms	6ms
Minimální čas na odeslání dat	100ms	3ms
Topologie sítě	Rozptýlená síť	Rozptýlená síť
Spotřeba energie	1W	0,01 až 0,5W
Maximální proud	<30mA	<15mA
Okruhy použití	Mobilní telefony, hry, headsety, audio streaming, chytré domy, automotive, PC, zabezpečení, přiblížení, péče o zdraví, sport a fitness ...	Mobilní telefony, hry, PC, hodinky, sport a fitness, zdravotní péče, zabezpečení, automotive, domácí elektronika, automatizace, průmysl

Tab. 5.1: Tabulka porovnání Bluetooth Classic a BTLE [21].

5.1.1 Přesouvání dat

Klasický přesun dat Serial Port Protokol(SPP) není v BTLE podporován. Přestože se jedná o standardní profil, není BTLE a bluetooth Classic kompatibilní. Naproti tomu BTLE lze snadno použít jako bezdrátovou náhradu UART rozhraní. Tento mód je u takovýchto zařízení spouštěn jednoduše pomocí jediného příkazu, nebo hardwarově pomocí signálu k tomu určenému [20].

Pro bluetooth komunikaci navrhovaného prototypu byl zvolen BTLE modul společnosti Microchip RN4020. Tento modul je pro tuto komunikaci vybaven módem Microchip Low-energy Data Profile (MLDP) jenž zaštiťuje právě jednoduchou uart komunikaci. Nastavením příslušného pinu se tento profil stane aktivním a data jsou přímo odesílána na připojené bluetooth zařízení.

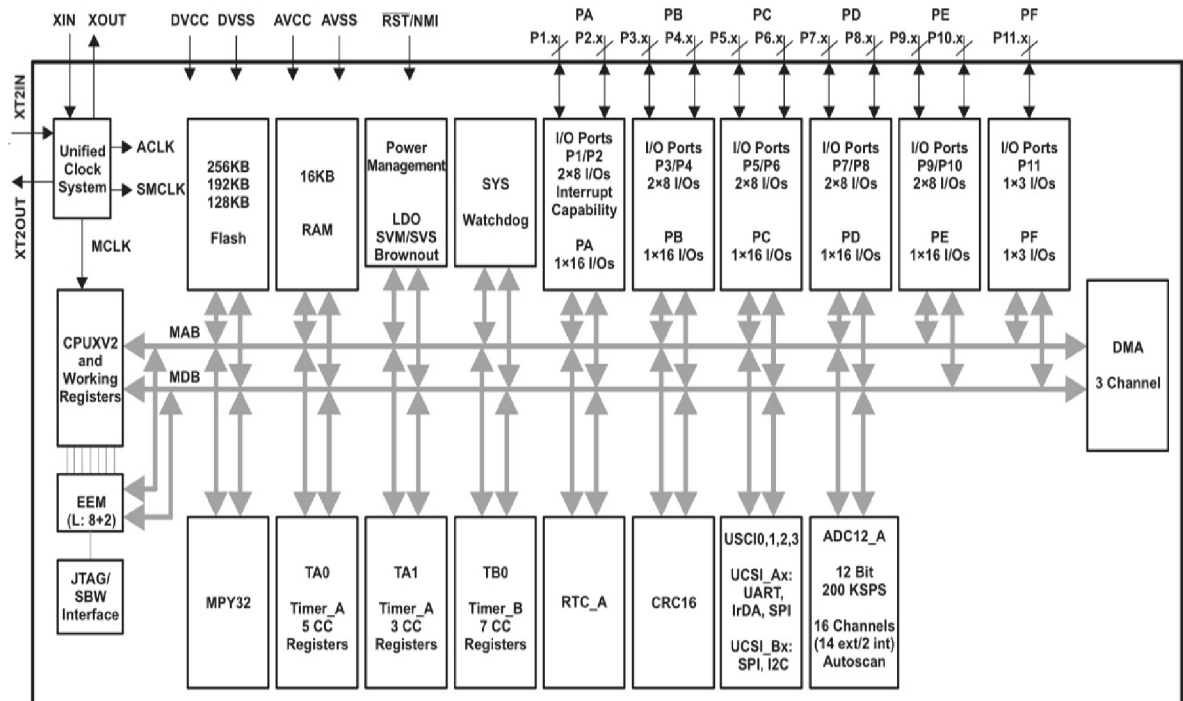
6 VOLBA MCU

Pro řídicí člen navrhovaného zařízení bylo třeba vybrat vhodný mikrokontrolér, který by dostačoval aplikaci výkonově, energetickými nároky, a množstvím a typem připojitelných periférií. Jelikož společnost ModemTec využívá MCU značky Texas Instruments řady MSP430, která je určena pro bateriově napájené mobilní měřicí přístroje, a je tedy pro navrhované zařízení vhodná.



Obr. 6.1: MCU MSP430F5438A

Jelikož nejsou předem jasné nároky na MCU a jedná se o prototyp zařízení, byl pro řídicí člen vybrán mikrokontrolér MSP430F5438A jenž disponuje velkým počtem rozhraní UART a SPI, které jsou nutností pro připojení periférií, a zároveň vysokým výkonem. Jeho pouzdro je zobrazeno na Obr.6.1. Volba tohoto mikrokontroléru umožňuje optimalizaci na nižší verzi řady MSP430.



Obr. 6.2: Funkční blokový diagram mikrokontroléru MSP430F5438A [6].

Tento 16 bitový mikrokontrolér s RISC architekturou je jedním z řady mikrokontrolérů MSP430 jenž díky svému nízkému napájecímu napětí (2,2- 3,6 V) patří do skupiny Ultralow power (mikrokontrolérů s nízkou spotřebou). MCU umožňuje připojení krystalových rezonátorů až do frekvence 32MHz a obsahuje 256KB Flash paměť programu a 18KB RAM (Random access memory - paměť s přímým přístupem). MCU používá von Neumannovu architekturu, což znamená že data a instrukce sdílí jeden paměťový prostor s bytově adresovanou pamětí. Dvojce bytů jsou kombinovány principem Little-endian(od nejméně významného bitu po nejvýznamější) do 16-bitových slov. Procesor obsahuje 16 16-bitových registrů, z nichž 4 jsou určeny pro speciální účely. Zbytek je k dispozici pro obecné použití.

- R0 - čítač programu
- R1 - ukazatel zásobníku
- R2 - stavový registr
- R3 - generátor konstanty (speciální registr poskytující 6 běžně dostupných konstant bez nutnosti dalších operandů)
- R4 až R15 - pro obecné použití

Dalšími výhodami mikrokontroléru jsou například hodiny reálného času, 4 nezávislé komunikační rozhraní podporující UART, SPI, IRDA a I2C, 12 bitový Analog-Digital převodník nebo onBoard programování. Přesnější pohled na výbavu MCU si lze udělat z blokového schématu z katalogového listu, které je na Obr.6.2[6].

7 NÁVRH STRUKTURY HARDWARE ZAŘÍZENÍ S NÍZKOU SPOTŘEBOU

Následující kapitola se zabývá hardwarovými aspekty majícími vliv na spotřebu prototypu a návrhem koncepce hardware.

7.1 Prostředky pro snížení spotřeby

Při návrhu systému s nízkou spotřebou je třeba zvažovat hned několik aspektů, které na konečnou spotřebu energie mají vliv. Tyto aspekty lze základně rozdělit na dvě části, hardwarové a softwarové, které spolu úzce souvisí.

V hardwarové optimalizaci spotřeby musíme klást důraz především na:

- Výběr součástek s nízkým ztrátovým výkonem
- Volbu součástek s nízkou spotřebou
- Možnost odepnutí nepoužívaných periférií od napájení
- Volba MCU s redukovanou instrukční sadou

V softwarové části optimalizace je třeba se zabývat:

- Časové optimalizaci programu
- Využívání přerušení
- Režimy spánku MCU

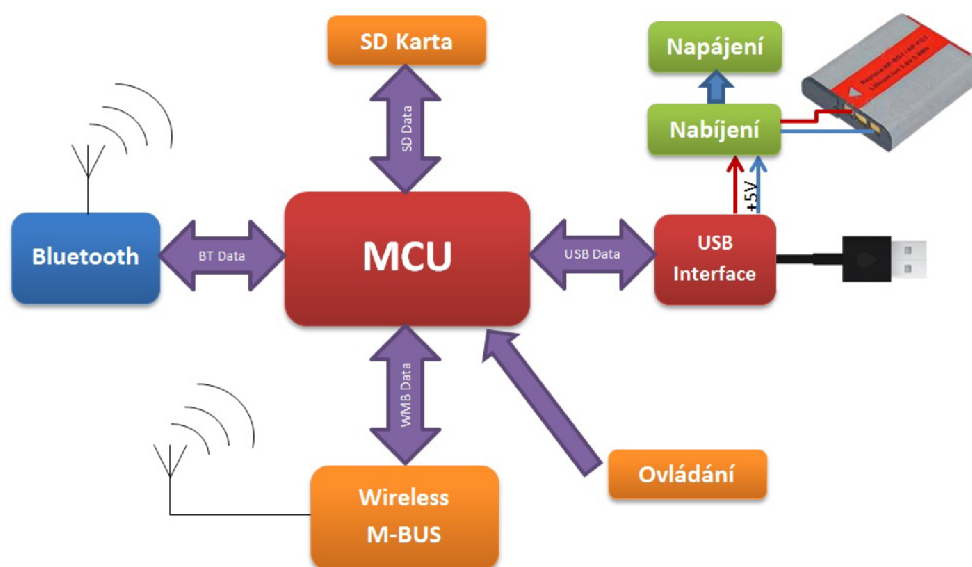
Při optimalizaci spotřeby je třeba najít kompromis mezi snahou snížit taktovací frekvenci procesoru z hlediska hardwarové optimalizace a snahou zvýšit výpočetní výkon.

7.2 Struktura HW

Fyzická struktura navrhovaného přístroje vychází z požadavků na výslednou funkci, jež byli zadány společností ModemTec. Na základě těchto požadavků by měl navrhovaný přístroj ovládat tyto funkce:

- Zachycení komunikace Wireless M-BUS
- Odeslání (monitoring) zachycených dat pomocí Bluetooth
- Odeslání (monitoring) zachycených dat pomocí USB
- Stand-alone záznam dat z Wireless M-BUS na SD kartu (Data-logger)
- Bateriové napájení
- Dobíjení z USB sběrice

- Nízký příkon (dlouhá výdrž baterie)



Obr. 7.1: Blokový diagram struktury hardware.

Výsledná struktura (Obr. 7.1) se pak skládá z řídicího bloku, obsahujícího MCU (Micro Controller Unit), jenž by měl zajišťovat řízení napájení, komunikací a záznamu dat. Na tento blok navazuje blok pro komunikaci s bezdrátovou sítí Wireless M-BUS, který je s řídicím blokem propojen datovou sběrní. Tento blok by měl zajišťovat příjem zaznamenávaných dat a jejich přenos do řídicího bloku. Dalším blokem připojeným k MCU je blok pro komunikaci pomocí Bluetooth, jenž zajišťuje přenos měřených dat do PC (Personal Computer - Osobní počítač), nebo mobilního zařízení. Následujícím blokem pro přenos dat je USB komunikační blok. Ten zajišťuje komunikaci s PC, ke které patří přenos dat a konfigurace přístroje. Neméně důležitým blokem je blok paměti. Tento blok obsahuje SD kartu, na kterou jsou ukládána data v režimu záznamu. Pro ovládání a signalizaci je v této struktuře začleněn i ovládací blok.

Všechny bloky jsou napájeny integrovaným akumulátorem, jehož napětí je distribuováno pomocí napájecího bloku. Akumulátoru je dobíjen pomocí dobíjecího bloku, který je napájen ze sběrnice USB.

8 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ SYSTÉMU S NÍZKOU SPOTŘEBOU

Při návrhu energeticky úsporného zařízení je třeba přizpůsobit koncepci úspory energie i firmware zařízení. Pro energetickou optimalizaci firmware je třeba vycházet z vlastností zvoleného řídicího prvku. Mikrokontrolér MSP430F5438A je pro tento účel patřičně vybaven.

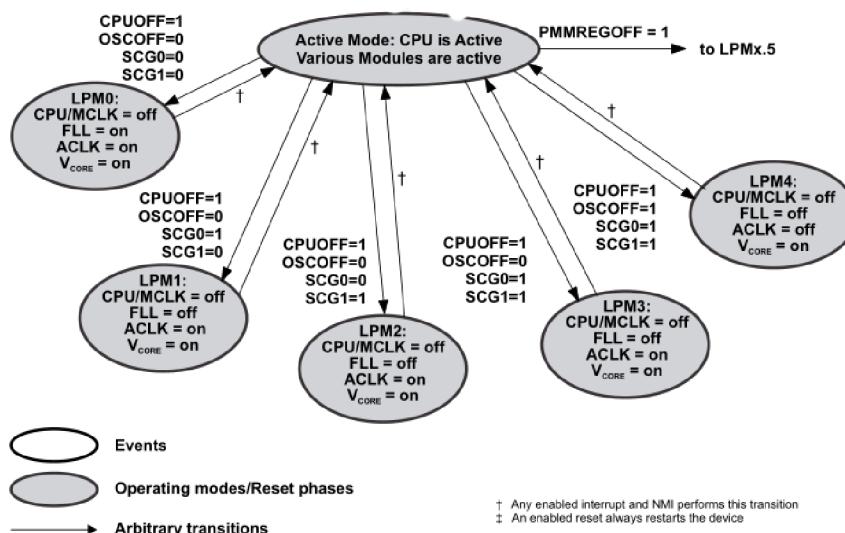
8.1 Prostředky pro snížení spotřeby

Spotřeba elektrické energie u mikrokontrolérů obecně závisí převážně na:

- Taktovací frekvenci
- Velikosti napájecího napětí
- Počet hodinových cyklů na operaci
- Celková doba běhu

Při návrhu firmware pro systém s nízkou spotřebou je třeba najít kompromis mezi těmito aspekty. Mikrokontrolér MSP430F5438A je pro tento účel vybaven systémem přerušení, a systémem režimů nízké spotřeby.

8.1.1 Režimy nízké spotřeby MSP 430



Obr. 8.1: Operační módy [9]

Rodina mikrokontrolérů MSP430 obsahuje 5 operačních módů LPM0 až LPM4, které jdou spustit pomocí bitů CPUOFF, OSCOFF, SCG0 a SCG1 ve stavovém registru. Aktuální operační mód je během přerušení uložen do zásobníku, a po ukončení přerušení opět vložen do stavového registru. Pokud během rutiny přerušení dojde ke změně hodnoty v zásobníku, po ukončení přerušení pokračuje mikrokontrolér v nově nastaveném operačním módu. Na Obr.8.1 lze vidět schématické rozvětvení operačních módů.

Mikrokontrolér obsahuje 3 sběrnice hodinových signálů, master (MCLK), subsystem master (SMCLK) a pomocné hodiny (ACLK), pro které lze nastavit několik zdrojů hodinových signálů. Mezi tyto signály patří například externí krystal (MSP430F5438A umožňuje připojení dvou externích krystalů), externí oscilátor, integrovaný referenční oscilátor (REFO 32,768kHz), oscilátor VLO (10kHz), digitálně řízený oscilátor (DCO), nebo smyčka frekvenčního závěsu (FLL). Jednotlivé režimy zakazují nebo povolují jednotlivé zdroje hodinových signálů. Režimy jsou popsány v tabulce 8.1.1.

SCG1	SCG0	OSCOFF	CPUOFF	Režim	Stav procesoru a hodinových signálů
0	0	0	0	Aktivní	Všechny zdroje hodin aktivní
0	0	0	1	LPM0	Procesor a MCLK zakázány. SMCLK ACLK aktivní. FLL povoleno pokud je DCO povoleno. DCO povoleno pokud je zdrojem ACLK nebo SMCLK.
0	1	0	1	LPM1	Procesor a MCLK zakázány. SMCLK ACLK aktivní. FLL zakázáno. DCO povoleno pokud je zdrojem ACLK nebo SMCLK.
1	0	0	1	LPM2	Procesor, MCLK a SMCLK zakázány. ACLK aktivní. FLL zakázáno. DCO povoleno pokud je zdrojem ACLK.
1	1	0	1	LPM3	Procesor, MCLK a SMCLK zakázány. ACLK aktivní. FLL zakázáno. DCO povoleno pokud je zdrojem ACLK.
1	1	1	1	LPM4	Procesor a hodiny zakázány

Tab. 8.1: Tabulka operačních módů mikrokontroléru MSP430F5438A [9]

Periferní moduly mohou operovat z režimů nízké spotřeby v závislosti na zvolené

sběrnici hodinového signálu (MCLK, SMCLK, ACLK). Pokud je třeba taktovat periférii i v operačním módu kdy je příslušný zdroj taktovacího signálu zakázán, je možné povolit požadavek perifériím na zpřístupnění tohoto signálu nastavením bitu ACLKREQ, MCLKREQ, nebo SMCLKREQ v registru UCSCTL8 [7].

8.1.2 Systém přerušení MSP 430

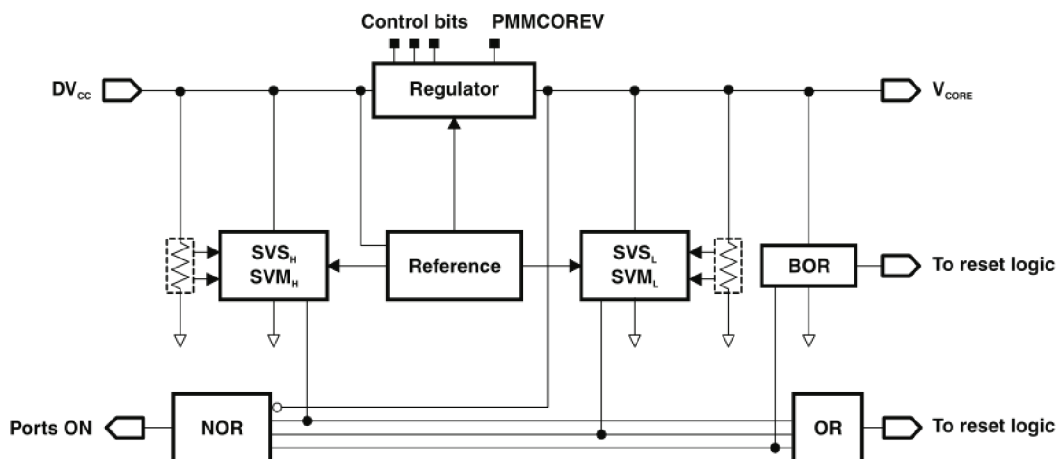
Mikrokontrolér obsahuje systém přerušení, umožňující provádět operace z úsporných módu. Pro snížení spotřeby je výhodné těchto přerušení využít. Generovaná přerušení je dají základně rozdělit na maskovatelná a nemaskovatelná.

Nemaskovatelná přerušení nejdu maskovat pomocí bitu GIE ve stavovém registru a jsou generována hranou na pinu RST, chybou oscilátoru power management modulem, nebo JTAG programátorem.

Maskovatelná přerušení jsou aktivní pouze pokud je bit GIE ve stavovém registru nastaven na úroveň H a jsou vyvolána perifériemi s touto možností[9].

8.1.3 Modul managementu spotřeby PMM

PMM řídí všechny funkce vztahující se k napájení a k jeho dozoru. Jeho primární funkcí je generovat napětí pro základní logiku, a poskytovat dohled a kontrolu nad tímto a napájecím napětím. Modul používá integrovaný regulátor nízkého napětí



Obr. 8.2: Blokové schéma Power management modulu [8]

ke generování napětí jádra z napájecího napětí obvodu. Napětí jádra napájí jádro, paměti (flash a RAM) a digitální moduly, zatímco napájecí napětí obvodu napájí I/O periférie a analogové moduly včetně oscilátorů. Napětí jádra lze nastavit do čtyř možných úrovní, které jsou nastaveny v závislosti na rychlosti zvolené pro procesor.

Modul navíc kontroluje, jestli se obě napětí nacházejí ve vymezených mezích[8]. Blokové schema modulu je zobrazeno na Obr.8.2

8.1.4 Koncept firmware

Pro prototyp Wireless M-BUS Monitor/loggeru byla v rámci snížení spotřeby mikrokontroléru zvolena strategie držet procesor neustále v režimu spánku, a probouzet jej pouze na dobu nezbytnou k vykonání potřebných operací v obsluhách přerušení. Tato koncepce maximálně minimalizuje dobu aktivity procesoru na úkor vysokého výkonu jádra.

9 NÁVRH HARDWARE

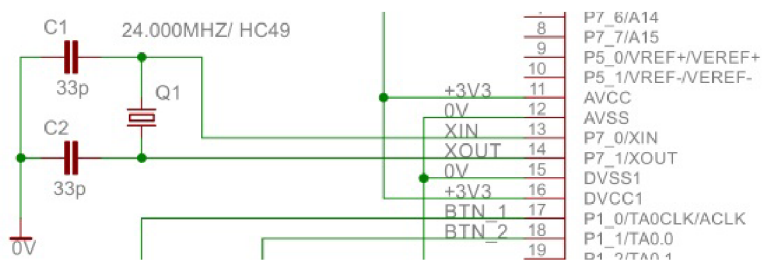
Následující kapitole se zabývá samotným návrhem hardware prototypu, volbou jednotlivých periférií a jejich vzájemných zapojení.

9.1 Návrh schematu zapojení

Přístroj je navržen jako prototypová deska se všemi perifériemi, která je napájena pomocí připojeného akumulátoru nebo pomocí USB. V rámci minimalizace rozměrů přístroje jsou použity převážně součástky SMT (surface mount technology - technologie povrchové montáže součástek na plošný spoj).

9.1.1 MCU

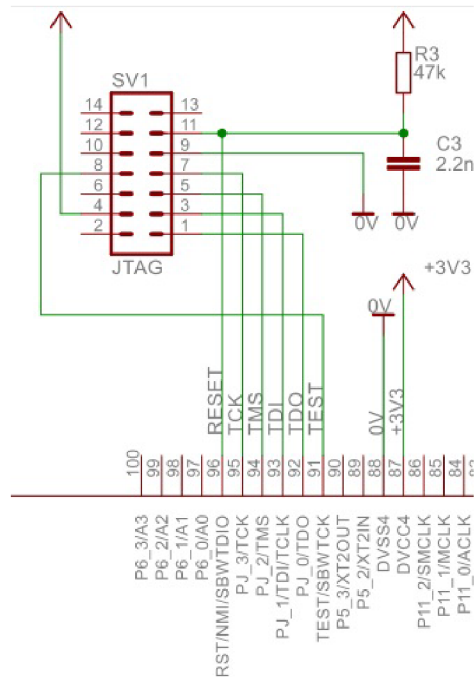
Mikrokontrolér MSP430F5438A je napájen pomocí napájecího napětí 3,3V, a jeho zapojení vychází z doporučeného zapojení výrobce, použitého u vývojového kitu Texas Instruments. Mikrokontrolér je taktován pomocí 24MHz krystalového rezonátoru, které je připojen k příslušným vývodům mikrokontroléru. Zapojení rezonátoru (Obr.9.1) obsahuje i kapacity C1 a C2, jejichž hodnota 33pF je doporučena výrobcem.



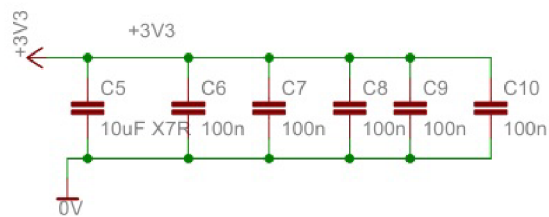
Obr. 9.1: Zapojení krystalového rezonátoru.

K mikrokontroléru je dále připojen programovací J-TAG konektor, který slouží ke vložení firmware do paměti MCU, a resetovacím RC obvodem skládajícího se z rezistoru R3 a kapacitoru C3 (Obr.9.2).

K napájecím vývodům mikrokontroléru bylo také nutno připojit blokovací kondenzátory C6 až C10 s hodnotou 100nF a filtrační kondenzátor C5 s hodnotou 10uF a substrátem dielektrika X7R. Hodnoty těchto součástek vychází z doporučeného zapojení. Schema na Obr.9.3.



Obr. 9.2: Zapojení programátoru a resetovacího obvodu.

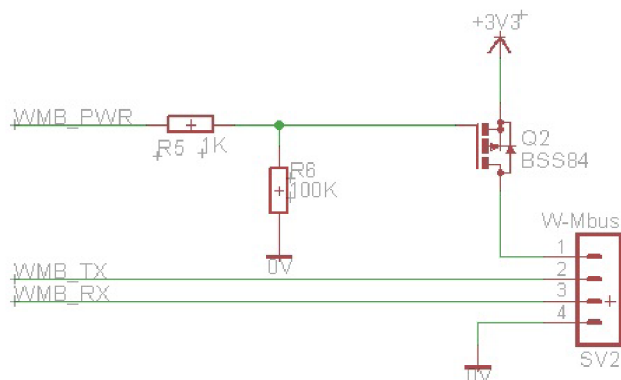


Obr. 9.3: Zapojení blokových kondenzátorů MCU.

9.1.2 Wireless M-BUS - mDongle

Modul mDongle je realizován jako externí modul, který je k MCU připojen pomocí 4 pinového konektoru SV2. Tento modul se zařízením komunikuje pomocí seriové linky na 3V3 úrovni, jejíž vodiče TX a RX jsou připojeny do MCU k periférii UCA0, která zajišťuje komunikaci prostřednictvím UART. Napájení modulu je odpojováno přes tranzistor Q2 pro zajištění odpojení modulu v případě nečinnosti, jak jde vidět na Obr.9.4.

Tranzistor je připojen k MCU přes rezistor R5 omezující nabíjecí proud kapacity tranzistoru. Rezistor R6 slouží k připojení brány tranzistoru na zem pro případ že je výstup MCU ve stavu vysoké impedance.



Obr. 9.4: Zapojení konektoru pro připojení mDongle.

9.1.3 Bluetooth

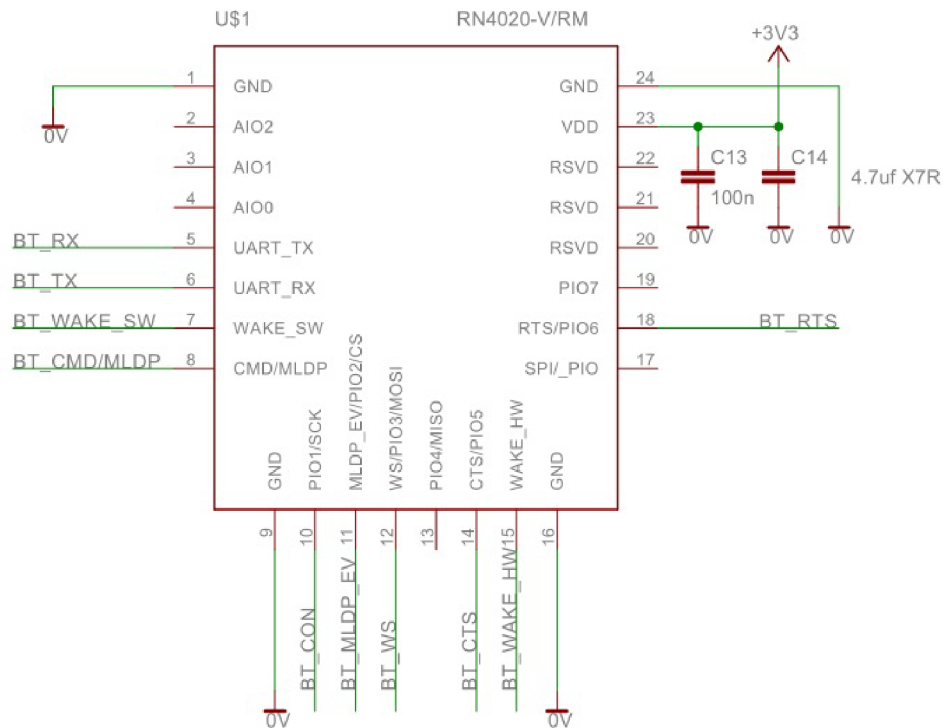
Tato část zajišťuje přenos zaznamenaných dat do PC pomocí bezdrátového komunikačního standardu bluetooth.



Obr. 9.5: Bluetooth modul Microchip RN4020

Pro komunikaci pomocí bluetooth byl vybrán modul značky MICROCHIP, RN4020 Bluetooth[®] Low Energy Module (Obr.9.5), který je pro aplikaci vhodný díky svým vlastnostem. K těmto vlastnostem patří především verze bluetooth 4.1, nízká spotřeba, komunikace po UART (universal asynchronous receiver/transmitter - komunikační rozhraní), napájecí napětí od 3 do 3,6V, SMT montáž, nízké energetické nároky (optimalizován pro mobilní zařízení) a malý rozměr[14].

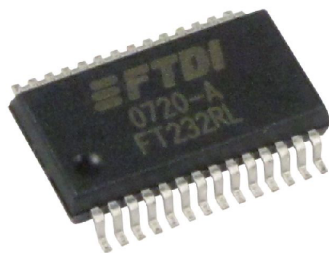
Modul je s mikrokontrolérem spojen pomocí seriové linky v 3V3 úrovni komunikačního rozhraní UCA1 a osmi řídicích vodičů, které zajišťují řízení funkcí modulu. Jelikož modul obsahuje funkce SLEEP a DEEP SLEEP, není třeba jej odpojovat od napájení. Energetický management je realizován pomocí řídicích příkazů zasílaných sériovou linkou a řídicími vodiči. K napájení modulu jsou připojeny filtrační a blokovací kondenzátor C13 a C14, jejichž hodnoty 100nF a 4.7μF doporučuje výrobce. Vše je zobrazeno na Obr.9.6.



Obr. 9.6: Zapojení bluetooth modulu

9.1.4 USB

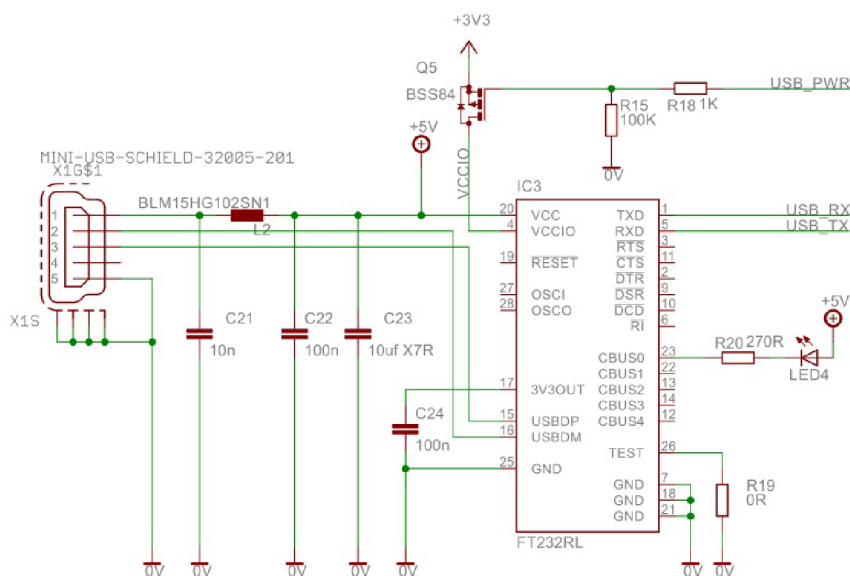
Jelikož komunikace prostřednictvím USB je spíše sekundární možností, a primárním účelem implementovaného USB rozhraní je nabíjení vestavěného akumulátoru, byl pro tento účel vybrán integrovaný obvod firmy FTDI FT232R (Obr.9.7), i navzdory tomu, že mikrokontrolér MSP430F5438A implementaci USB rozhraní umožňuje. Ta je však o mnoho složitější jak na straně MCU tak na straně PC.



Obr. 9.7: Obvod FTDI pro USB komunikaci

Obvod FT232R slouží jako převodník mezi rozhraním UART a sériovou sběrnici USB. Mezi hlavní přednosti tohoto obvodu patří jeho jednoduchost a nenáročnost

na externí součástky, možnost komunikace s jinou napětovou hladinou než je +5V USB, malý rozměr, široká možnost konfigurace a dostupné ovladače pro PC.



Obr. 9.8: Zapojení obvodu FT232R

Obvod je zapojen podle doporučeného zapojení výrobce, které obsahuje kapacity C21 až C24 a indukčnost L2. Výstupy obvodu jsou připojeny k mini-USB konektoru X1S. Tato část zapojení pracuje v 5V hladině. Na druhé straně obvodu jsou připojeny vodiče USBTX a USBRX, které jsou připojeny do MCU pomocí periferie UCA3, která funguje jako UART ve 3V3 TTL hladině. K obvodu je taktéž připojena signalizační led LED4, která slouží k signalizaci toku dat přes obvod. Této led je nastaven pracovní bod pomocí rezistoru R20. Napájení 3V3 části obvodu je spínáno opět pomocí tranzistoru, pro zajištění možnosti energy managemantu přístroje. Vše je vidět na Obr.9.8.

9.1.5 SD karta

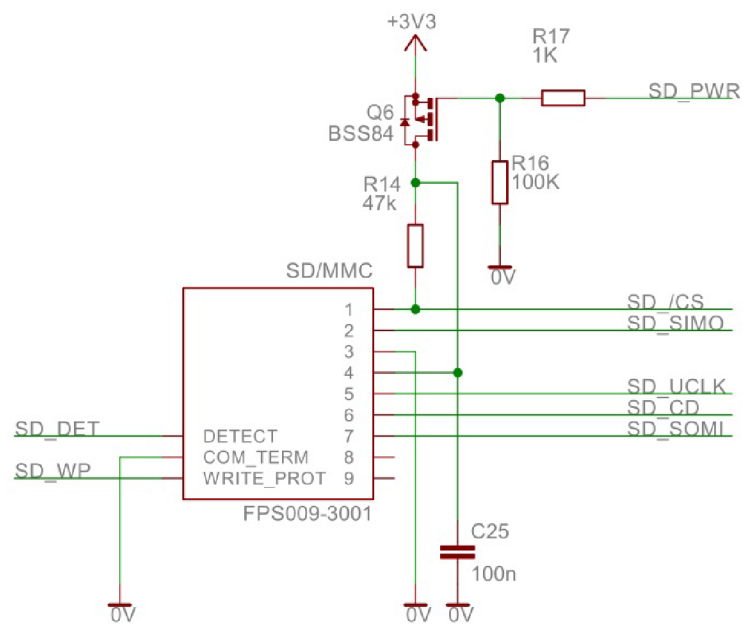
Tento blok slouží jakožto externí záznamová paměť zařízení, jádrem tohoto bloku je SD karta. Jedná se o paměťovou kartu používanou převážně v mobilních zařízeních jako jsou přenosné počítače, mobilní telefony nebo digitální fotoaparáty. Příklad SD Karty lze vidět na Obr.9.9.

Jako médium je použita paměť flash. SD karty byly vytvořeny na základě formátu MMC (MultiMediaCard), ale oproti tomuto staršímu formátu jsou silnější. SD karty mají nejčastěji rozměry 32 × 24 × 2,1 mm, ale mohou být i tenčí – 1,4 mm jako MMC karty. Tyto karty na rozdíl od MMC mají malý postranní vypínač na ochranu proti nechtěnému zápisu. Pokud je nastaven na LOCK, nelze na kartu nic ukládat



Obr. 9.9: SD karta značky San Disk

ani uložená data jakkoliv měnit, pokud je nastaven na OPEN, můžete na kartu libovolně zapisovat a měnit uložená data[19].

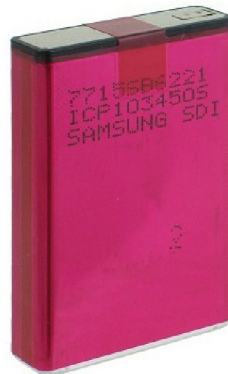


Obr. 9.10: Zapojení patice pro SD kartu

Konektor SD karty je k MCU připojen pomocí SPI rozhraní které je přivedeno na periférii UCA2. Napájení karty je opět rozpojováno tranzistorem Q6 BSS84. Kromě datových a hodinového vodiče je patice SD karty připojena k MCU ještě vodičem CS (chip select), který je kvůli své citlivosti na logickou úroveň Low vybaven pull-up rezistorem 47K, R14. K MCU jsou taktéž připojeny výstupy přepínače pro detekci a zámek karty DET a WP. Schema zapojení je na Obr.9.10.

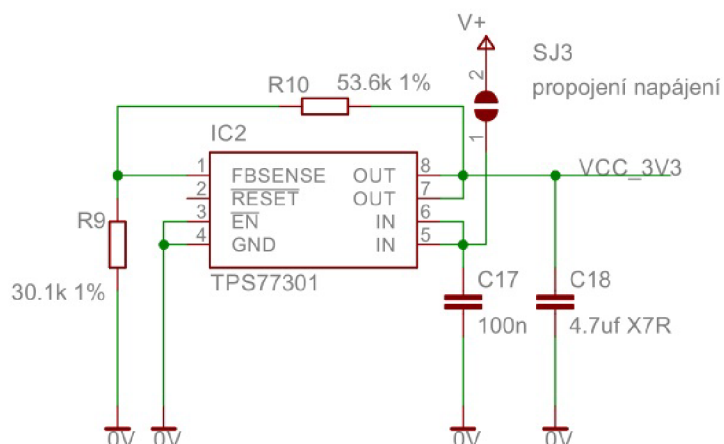
9.1.6 Napájení

Napájení zařízení je realizováno pomocí vestavěného Li-Ion akumulátoru (Lithium-iontový akumulátor). Tento akumulátor je primárním zdrojem energie celého přístroje. S ohledem na předpokládanou spotřebu zařízení byl pro tento účel vybrán akumulátor SAMSUNG ICP103450S zobrazený na Obr.9.11. Jde o jedno-buňkový akumulátor se jmenovitým napětím 3,7V a kapacitou 2000mAh. Tento akumulátor je optimální také díky svým malým rozměrům (34 x 50 x 10mm).



Obr. 9.11: Akumulátor SAMSUNG ICP103450S

Pro stabilizaci napětí baterie na napájecí napětí 3V3 pro MCU byl zvolen obvod od výrobce Texas Instruments TPS77301. Tento obvod byl vybírán s ohledem na spotřebu zařízení, a proto byl kladen důraz na co nejnižší klidový proud. Proto je se svým klidovým proudem 92 μ A vodný pro použití v zařízení. Obvod navíc vyhovuje aplikaci i svými rozměry [10].

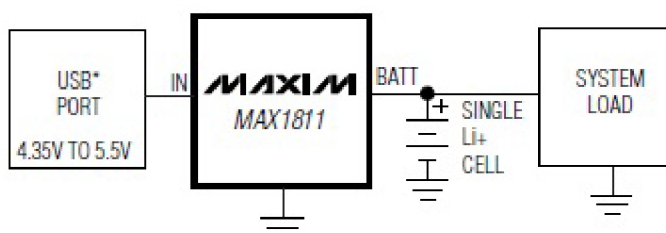


Obr. 9.12: Zapojení stabilizátoru napětí TPS77301

Obvod stabilizátoru napětí(Obr.9.12) je zapojen přesně podle doporučení výrobce. Hodnoty rezistorů R9 a R10 pro žádané stabilizované napětí lze nalézt v katalogovém listu výrobce. Před vstupem do stabilizátoru je vložen SMD Jumper pro možnost odpojení logické části zařízení od napájení.

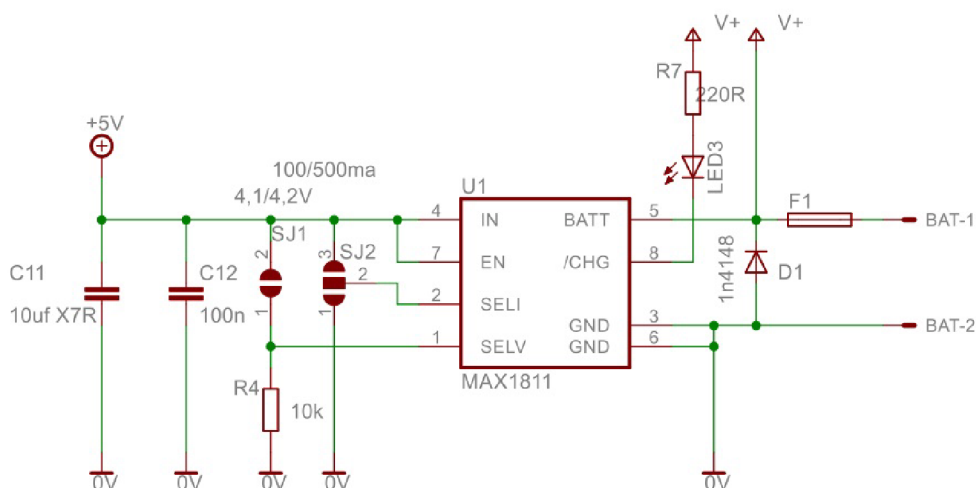
9.1.7 Nabíjení

Tento blok zajišťuje nabíjení vestavěného Li-Ion akumulátoru z napájení USB sběrnice. Pro tento účel byl zvolen obvod společnosti MAXIM MAX1811.



Obr. 9.13: Blokové zapojení obvodu MAX1811

Jedná se o specializovaný obvod pro nabíjení Li-Ion akumulátorů z USB portu schopný nabíjet jedno-buňkové akumulátory s nabíjecím napětím 4,1 nebo 4,2V. Výhodou tohoto obvodu je jeho malý rozměr a nepotřebnost externích prvků, což umožňuje velice snadnou implementaci. Blokové zapojení obvodu je na Obr.9.13[12].



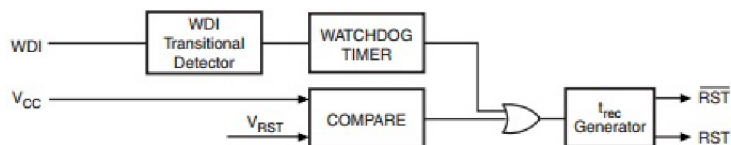
Obr. 9.14: Zapojení nabíjecího obvodu MAX1811

Zapojení obvodu vychází z doporučeného zapojení výrobce. Napájení obvodu je připojeno na 5V větev rozhraní USB. K obvodu jsou připojeny dva SMD jumpery,

které slouží k nastavení nabíjecího proudu a napětí akumulátoru. Nabíjení je signalizováno pomocí LED3. Výstup obvodu je na akumulátor připojen přes pojistku F1, která slouží jednak proti přetížení akumulátoru, a jednak spolu s diodou D1 proti jeho přepólování. Vše je zobrazeno na Obr.9.14.

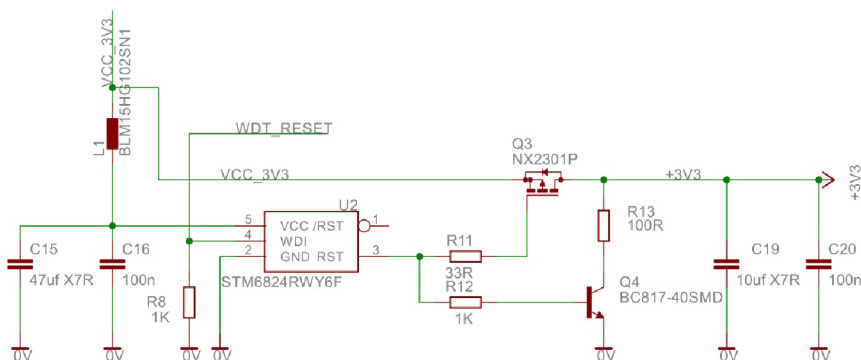
9.1.8 Watch-Dog

Pro zajištění spolehlivého chodu zařízení bylo zapojení doplněno o dozorčí obvod. Pro tento účel byl vybrán obvod slopečnosti STMicroelectronics STM6824RWY6F. Tento watch-dog čítač po připojení na napájecí napětí čeká po dobu 280ms na příchod resetovacího pulsu. Pokud tento puls nezaznamená, odpojí na okamžik napájení MCU a periférií, čímž provede hardwarový reset celého systému. Obvod zároveň sleduje napájecí napětí systému, a při poklesu pod 2,63V provede reset. Struktura tohoto obvodu lze vidět na blokovém schématu na Obr.9.15[13].



Obr. 9.15: Blokové schéma obvodu STM6824RWY6F.

Obvod je zapojen podle ověřeného doporučeného zapojení výrobce a společnosti ModemTec. Výstup obvodu je připojen na tranzistor Q3, který v případě nutnosti odepne napájecí napětí, a na tranzistor Q4, který ve stejný moment připojí k odpojené části rezistor R13, který zajistí spolehlivé vybití všech navazujících kondenzátorů. To je vyobrazeno na Obr.9.16.

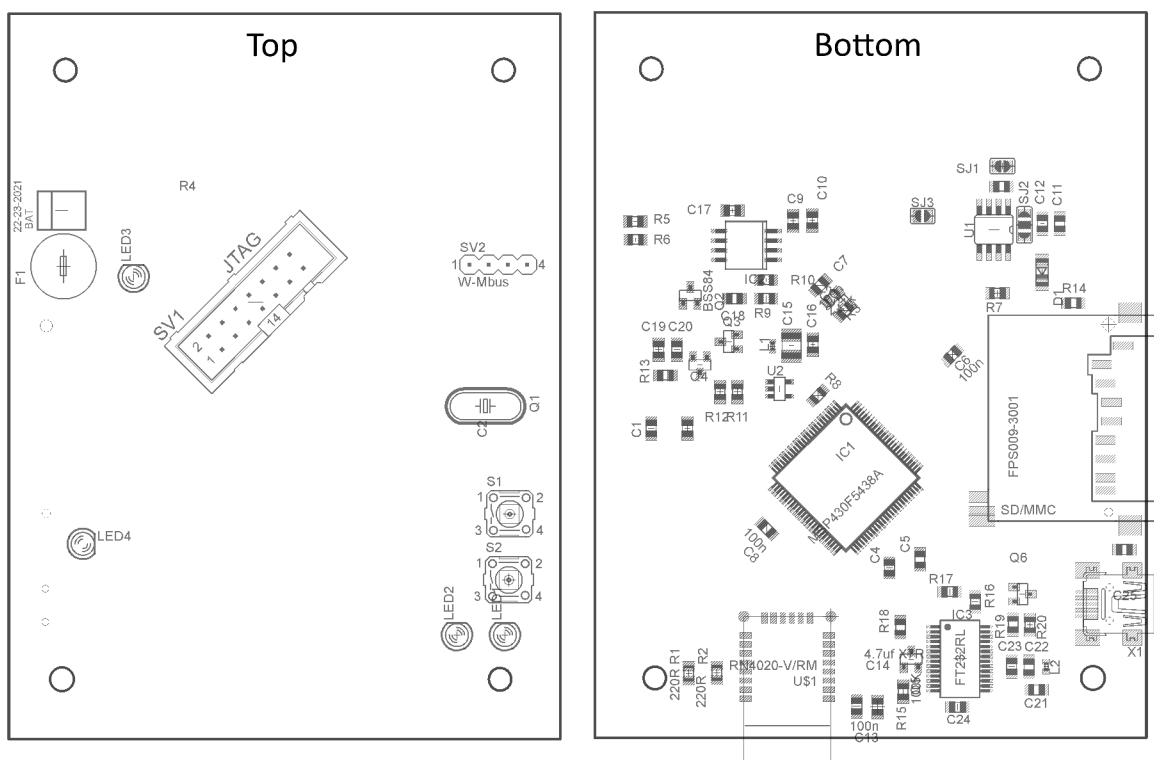


Obr. 9.16: Zapojení dozorčího obvodu.

9.2 Návrh desky plošného spoje

Pro výrobu prototypu přístroje bylo třeba navrhnout desku plošného spoje. Rozměr desky byl optimalizován pro uložení do zvolené krabičky o rozměru 80x120x27mm, což vede na rozměr desky 63mmx96mm. Díky těmto rozměrům bylo třeba použít součástky povrchové montáže. Při rozmísťování součástek je třeba dbát na umístění blokovacích kondenzátorů co nejbliž k napájecím vývodům. Na Obr.9.17 lze vidět výsledné rozmístění součástek.

Plošný spoj je navržen jako dvouvrstvý, přičemž součástky jsou umístěny pouze ve vrstvě bottom. Ve vrstvě top jsou pouze fyzická pouzdra THT součástek, a jsou zde vedeny cesty spoje. Výsledkem jsou předlohy pro výrobu plošného spoje, které lze vidět na Obr.B.1 a B.2



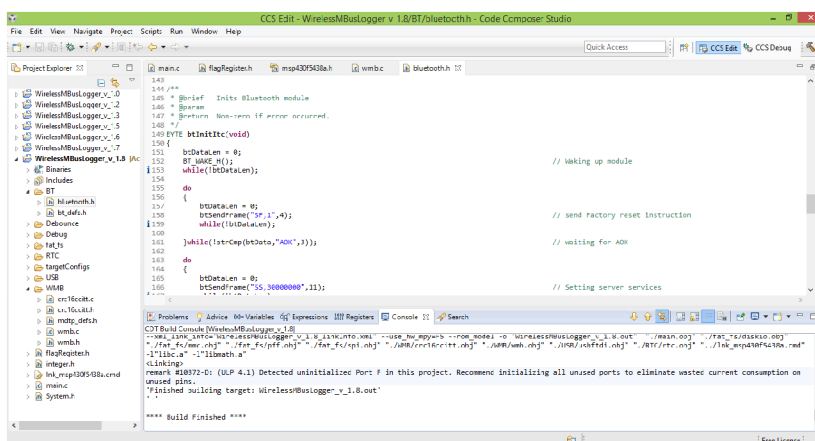
Obr. 9.17: Pohled na rozmístění součástek na desce

10 FIRMWARE

Následující kapitola se zabývá popisem struktury firmware jakožto i jeho návrhem.

10.1 Vývojový software

Pro vývoj firmware byl zvolen vývojový software vyvinutý společností Texas Instruments Code Composer studio. Jedná se o integrované vývojové prostředí pro vývoj a ladění procesorů značky TI. Tento software je primárně určen pro vývoj embedded projektů a JTAG ladění. Prostředí je založeno na open source integrovaném vývojovém prostředí Eclipse, které může být jednoduše rozšířeno o podporu pro ladění aplikací v úrovni operačních systémů jako jsou Linux, Android nebo Windows embeded[22].



Obr. 10.1: Screenshot Code composer studia

Firmware je vyvíjen v jazyce C.

10.2 Popis funkce firmware

Přístroj s navrženým firmware by měl disponovat několika funkcemi:

- 1. Záznam dat z Wireless M-Bus na SD kartu
- 2. Monitorování Wireles M-Bus v PC pomocí USB
- 3. Monitorování Wireles M-Bus ve smart zařízení pomocí bluetooth
- 4. Uspání do hlubokého spánku v případě nepoužívání přístroje.

Firmware tedy bude navržen pro běh v několika provozních módech volitelných uživatelem.

Stand-by režim

V tomto módu přístroj není uživatelem používán a je uspán za účelem absolutní minimalizace spotřeby. Tento režim se dá považovat za vypnutý režim.

SD logger režim

Do tohoto režimu přístroj vstoupí, je-li po probuzení přístroje z režimu Stand-by vložena do přístroje SD karta.

V tomto režimu lze pomocí tlačítka spustit nebo zastavit zaznamenávání dat proudících bezdrátovou komunikací do logovacího souboru na SD kartě.

USB monitor režim

Do tohoto režimu přístroj vstoupí, není-li po probuzení přístroje z režimu Stand-by vložena do přístroje SD karta, a přijde-li v časovém intervalu 3 vteřin přístroji odpověď na dotaz pro zahájení komunikace s PC.

V tomto režimu jde přístroj spustit pomocí řídicích příkazů a zobrazovat data proudící bezdrátovou komunikací na obrazovce PC.

Bluetooth monitor režim

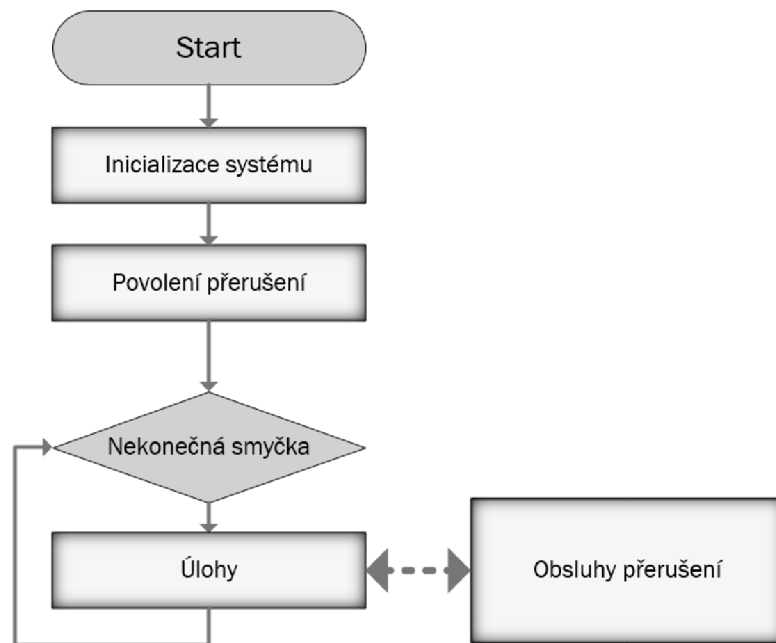
Do tohoto režimu přístroj vstoupí, není-li po probuzení přístroje z režimu Stand-by vložena do přístroje SD karta, a nepříjde-li v časovém intervalu 3 vteřin přístroji odpověď na dotaz pro zahájení komunikace s PC.

V tomto režimu lze přístroj opět spustit pomocí řídicích příkazů, a zobrazovat Wireless M-Bus data na zařízení s BTLE rozhraním.

10.3 Struktura firmware

Základní struktura programu pro MCU vychází z principu tzv. supersmyčky. Tento princip je založen na sekvenčním vykonávání jednotlivých úloh, které zároveň nejsou časově kritické. Hodí se zejména pro řízení aplikací s fixně danou posloupností vykonávání. Pro časově kritické operace je potom možno využít systému přerušení mikrokontroléru.

Supersmyčkou se rozumí nekonečná smyčka. Jedná se o cyklus, ze kterého není program schopen vystoupit, a ve kterém jsou úlohy realizované funkcemi obsluhujícími určitý logický celek, řazeny za sebou a vykonávány postupně, nebo jsou volány při splnění určitých podmínek. Po připojení napájecího napětí provede MCU reset a začne vykonávat jednotlivé bloky příkazů uložené v paměti. Jak lze vidět na



Obr. 10.2: Běh programu po připojení napájení

Obr.10.2, struktura firmware Wireless M-Buss logger/monitoru se dá rozdělit na tři základní části. Inicializaci, obsluhu přerušení a nekonečný cyklus.

Řízení Monitor/Loggeru probíhá převážně uvnitř tohoto cyklu na základě příznaků generovaných v závislosti na probíhajících nebo ukončených procesech. Pro tyto příznaky jsou ve firmware zdefinovány příznakové proměnné, které tyto příznaky shromažďují v obsluhách přerušení, a předávají je programu probíhajícímu v supersmyčce. Firmware je navrhován s ohledem na fakt, že po připojení napájení by za bezporuchového provozu nemělo dojít k jeho odpojení, a program by tedy měl zůstat na trvalo v nekonečném cyklu.

10.3.1 Inicializace

Inicializaci celého systému zaštiťuje inicializační funkce `SystemInit()`. Tuto funkci je třeba volat ihned po hardwarovém resetu MCU. Tato funkce inicializuje jak základní funkce mikrokontroléru, tak i rozhraní pro jednotlivé periferie. Jako první je třeba nastavit vše potřebné pro samotný běh mikrokontroléru.

Inicializace hodinových sběrnic

Jelikož k MCU je připojen krystalový rezonátor s frekvencí 24 Mhz, je třeba přizpůsobit nastavení jádra této skutečnosti. Pro tento účel je mikrokontrolér MSP430F5438A vybaven již zmiňovaným Power Management Modulem, který umožňuje přizpůsobit

napětí jádra zvolené frekvenci. Toto napětí je pro vyšší frekvence hodinového signálu nutno zvýšit, a to ještě před připojením tohoto signálu do systému.

Pro proces navyšování napětí jádra je přesně předepsaný postup, který spočívá v:

- 1. Nastavení nových horních prahových napětí pro supervizor a monitor (SVMH, SVSH) a dolní hranice napětí pro monitor (SVML).
- 2. Nastavení registru PMMCOREV pro zvýšení napětí jádra.
- 3. Čekání na dosažení napětí jádra na stanovenou hladinu (příznak SVML-VLRIFG je nastaven).
- 4. Nastavení dolního prahového napětí supervizoru (SVSL).

Jelikož v základním nastavení je procesor taktován pomocí signálu generovaného interním oscilátorem, je třeba přepnout tento zdroj na námi připojený krystal. Tento krystal je připojen na piny 0 a 1 portu 7, který je v základním nastavení využit jako vstupně výstupní. Dalším krokem je tedy povolení alternativní funkce příslušným pinům tohoto portu.

Taktovací signály jsou generovány pomocí Unified Clock System modulu, ve kterém je zakázána modulace. Pro připojený krystal zakázáno připojení vnitřních kapacit a poté nastaveno předdělení generované frekvence dvěma pro SMCLK sběrnici. Vyčká se na ustálení frekvence, po čemž je povoleno připojení tohoto kmitočtu na sběrnice MCLK a SMCLK. Na sběrnici ACLK je z důvodu využití této sběrnice obvodem hodin reálného času připojen referenční oscilátor REFO s referenční frekvencí 32768 Hz.

Kvůli využití úsporných režimů mikrokontrolérů jsou v modulu UCS zakázány žádosti na povolení hodinového signálu periferiemi. U sběrnice ACLK je tato možnost povolena.

Inicializace portů

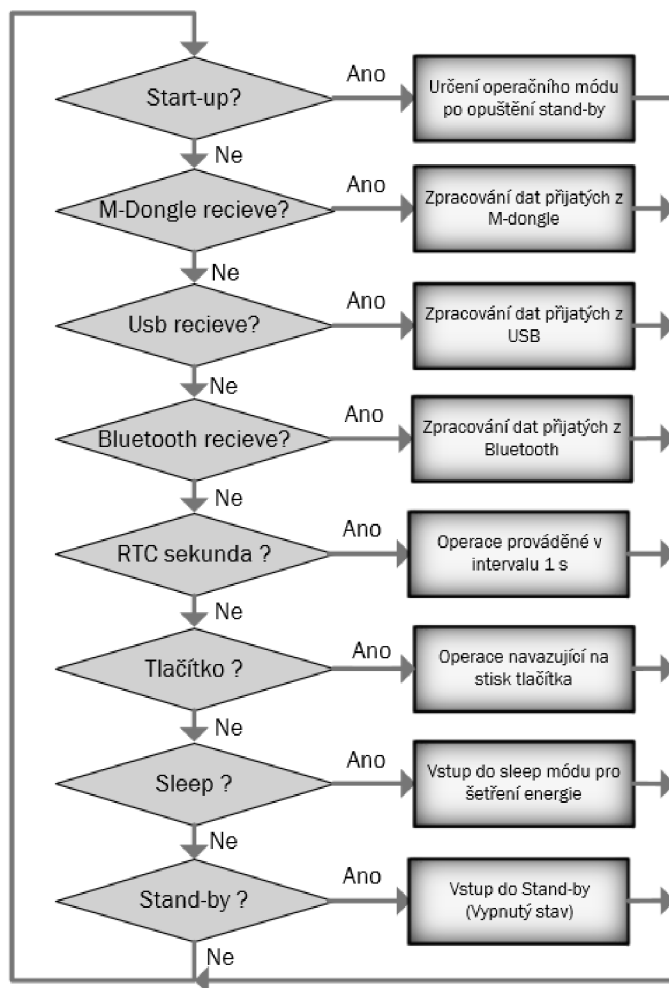
V dalším kroku jsou inicializovány jednotlivé porty využívané pro odpojování nepoužívaných periferií. Po jejich inicializaci jsou periferie odpojeny od napájecího napětí. Pro snížení spotřeby jsou všechny nepoužívané porty nastavena jako vstupní s pull-up rezistory, které zajistí aby nedocházelo k nabíjení a vybíjení parazitních kapacit na portech.

Inicializace periferií

Před opuštěním funkce SystemInit() je nastaven operační mód systému do režimu STANDBY a jsou postupně volány inicializační funkce jednotlivých periferií a nakonec je povoleno globální přerušení.

10.3.2 Nekonečný cyklus

Jak už bylo zmiňováno, v tomto cyklu probíhá řízení celého systému v závislosti na příznacích generovaných periferiemi. Události vyvolané jednotlivými příznaky jsou zde zpracovávány v posloupnosti, jejíž seřazení je dáno prioritou jednotlivých příznaků.



Obr. 10.3: Rozhodování uvnitř nekonečné smyčky

Program se cyklicky dotazuje na stav příznaků v jednotlivých příznakových registrech. Pokud je některý z příznaků aktivní, program se u něj zastaví, a vykoná plné obslužení události, která příznak vyvolala. Během této obsluhy program nastaví další řídicí příznaky, zpracuje data a uloží je nebo předá výstupním bufferům.

Po ukončení těchto činností přeskočí za poslední podmínku, a celý cyklus se opakuje. Jak lze vidět na Obr.10.3, tak na příklad k usnutí procesoru může dojít až po zpracování všech předešlých příkazů. Seřazení jednotlivých podmínek tedy umožňuje jednotlivým příznakům přiřadit prioritu.

10.4 Softwarová obsluha periférií

Prototyp monitor/loggeru je osazen několika perifériemi, které se kromě funkcionality liší i způsobem obsluhy.

10.4.1 Tlačítka

Ovládací rozhraní prototypu je realizováno dvěma tlačítky. Mechanická tlačítka obecně podléhají problémům s mechanickými zákmity, které jsou způsobeny odrazem spínacích kontaktů. Jelikož zákmity způsobené stiskem tlačítka kmitají ve frekvencích několikanásobně nižších než jsou taktovací frekvence řídicího členu, je pro správnou funkci tlačítek nutné tento parazitní jev ošetřit.

Při obsluze tlačítek u prototypu se využívá externího přerušení, a integrovaného šestnácti bitového čítače. Jelikož jsou tlačítka připojena proti zemi a nejsou k nim připojeny pull-up rezistory, jsou použity integrované pull-up rezistory připojené ke vstupům softwarově.

Při čekání na stisk tlačítka je citlivost snímače přerušení nastavena na sestupnou hranu. Po příchodu této hrany je vyvoláno externí přerušení, a mikrokontrolér spustí jeho obsluhu. Během této rutiny je zakázáno přerušení vyvolané tlačítky, a je spuštěn čítač, čítající dobu nutnou k odeznění zákmitů tlačítka. Po uplynutí této doby je vyvoláno přerušení čítače a mikrokontrolér vstoupí do jeho obsluhy. V této funkci jsou poté sejmuty stavy tlačítek a v závislosti na tom změněny citlivosti vstupů na sestupnou nebo náběžnou hranu. Dále je opět povoleno přerušení tlačítek, a celý proces se opakuje pro uvolnění spínače. Stav tlačítek je předáván z obsluh přerušení do nekonečného cyklu pomocí příznaků.

V obsluze přerušení spínače je navíc implementována funkce pro dlouhý stisk tlačítka, který přímo nastavuje operační mód přístroje na aktivní nebo spánkový, což umožňuje přístroj přepínat mezi stand-by a pracovním režimem.

10.4.2 Hodiny reálného času

Pro funkci datového logeru je v systému implementována funkce pro RTC (hodiny reálného času), která slouží jak pro trigerování snímání, tak pro zavedení časové značky.

Tento modul pro svou funkci vyžaduje připojení přesného referenčního hodinového signálu 32768Hz, ze kterého je přesný čas generován. Při inicializaci RTC čítače je rovněž povoleno vyvolání přerušení po uplynutí doby 1s, jehož příznak je využíván pro odesílání dotazových zpráv na komunikační modul M-Dongle. Čítač dále umožňuje odečtení aktuálního času v hexadecimálním kódu, čehož je využito při logování dat na SD kartu.

10.4.3 USB rozhraní

Jak už bylo zmiňováno, USB konektor je využíván převážně pro nabíjení připojeného akumulátoru. Sekundární funkcí tohoto připojení je však také real-time zprostředkování dat Wireless M-Bus z modulu M-Dongle do osobního počítače.

Toto je realizováno s využitím UART periferie a převodníku UART-USB FT232R od společnosti FTDI. Data do tohoto převodníku jsou odesílána přes výstupní buffer, který je po použití funkce pro jeho naplnění odeslán pomocí UART rozhraní. Data přijatá převodníkem FTDI jsou předána USB rozhraní a to je odešle do počítače k dalšímu zpracování pomocí virtuálního COM portu. Konfigurace UART pro toto rozhraní je:

- Baud rate 115200
- 8 datových bitů
- Bez parity
- 1 stop bit

Uart periferie je obsluhována ve dvou typech přerušení, přerušení pro příjem a přerušení pro odesílání. Tyto přerušení zajišťují jak automatické odesílání dat ze vstupního bufferu, tak příjem dat z převodníku FTDI.

Při komunikaci s PC jsou data odesílána v rámci, které mají uspořádání totožné s rámci přijímanými modulem M-Dongle. Data jsou navíc ukončena znakem EOT (End Of Transmitt 1AH), který ukončuje příjem dat na straně PC. Přístroj je schopen přijímat řídicí příkazy ve formátu ASCII zpráv.

Před odesláním dat čeká přístroj na příjem zprávy "Open", na kterou přístroj odpovídá zprávou "OpenAck". Poté je možno spustit nebo zastavit monitorování komunikace Wireless M-Bus prostřednictvím USB. To lze provést zasláním zprávy "MonOn" nebo "MonOff".

10.4.4 Rozhraní M-Dongle

Modul M-Dongle je k mikrokontroléru připojen rovněž pomocí rozhraní UART v režimu MASTER-SLAVE. Tento modul slouží k příjmu dat z bezdrátové komunikace Wireless M-Bus.

- Baud rate 38400
- 8 datových bitů
- Bez parity
- 1 stop bit

Jelikož modul M-Dongle je zařízení slave, je třeba se na přítomnost přijatého paketu cyklicky dotazovat. Veškerá data odesílaná na a ze zařízení jsou ve formátu daném interní dokumentací společnosti ModemTec s.r.o. [18].

Obsluha této komunikace je opět realizována převážně v přerušeních periférie UART. Pro odeslání dat na modul M-Dongle je volána funkce plnicí vstupní buffer, a ten je poté automaticky odeslán pomocí UART. Pro příjem dat je využit navíc časovač, který je po přijmutí jednotlivých bytů resetován a zajišťuje tedy funkci timeoutu pro přijímání dat. Po vypršení timeoutu je vyvolána obsluha přerušení tohoto časovače, ve které jsou nastaveny příslušné příznaky. Ty jsou poté obslouženy v nekonečném cyklu.

10.4.5 Komunikace s paměťovou kartou

Při zápisu na SD kartu se využívá jejího seriového rozhraní. Při implementaci zápisu na SD kartu lze využít SPI rozhraní, které obsahuje USCI modul mikrokontroléru MSP430.

Pro inicializace seriového rozhraní je třeba nejprve na SD kartu zaslat osm prázdných bajtů s vypnutým chip select signálem, po kterých následuje odeslání příkazu pro vstup rozhraní karty do IDLE módu již s aktivním chip selectem. Další zápis na kartu je realizován pomocí příslušných řídicích příkazů.

10.5 Rozhraní bluetooth

Jak již bylo řečeno modulem použitým pro komunikaci bluetooth je BTLE modul společnosti Microchip RN4020. Výhoda BTLE modulu je, že nabízí možnost jednoduchého vytvoření UART komunikace pomocí bluetooth bezdrátového rozhraní. Nevýhodou je, že BTLE zařízení nejsou kompatibilní se staršími možnostmi sériového přenosu dat, jako byl například mód SPP umožňující komunikaci s PC pomocí virtuálního COM portu.

10.5.1 Komunikace s modulem

Primárním ovládacím rozhraním bluetooth modulu je UART rozhraní, po kterém modul přijímá jak příkazy, tak data k odeslání, a které zároveň využívá pro interpretaci přijatých dat. Základní nastavení komunikačního rozhraní je následující:

- Baud rate 115200
- 8 datových bitů
- Bez parity

- 1 stop bit

Příkazy i data jsou poté zasílány v ASCII formátu v paketech, které jsou končeny řídicími znaky CR (carriage return 0DH) a LF (line feed 0AH).

Typy příkazů se dělí do osmi skupin příkazů.

- Set/Get příkazy
- Akční příkazy
- Příkazy pro typický přístup
- Privátní servisní konfigurační příkazy
- MLDP příkazy
- RN4020 skriptovací příkazy
- RN4020 skripty
- Remote příkazy

Obsah těchto skupin je uveden v katalogovém listu modulu. Obr.:10.4.

Type	Command Name	Description
Action	+	Echo
	@O	Output analog signal
	@I	Input analog signal
	O	Set PIO's output
	I	Get PIO's input
	A	Advertise
	B	Bond
	D	Dump configuration
	E	Establish connection
	F	Start scan
	H	Help
	J	Observer role
	K	Disconnect
	M	Get RSSI from peer
	N	Enter broadcast information
	O	Enter dormant state
	R	Reboot
	T	Change parameter for current connection
	U	Unbond
	V	Firmware version
X	Stop scan	
Y	Stop advertisement	
Z	Stop connecting	

Obr. 10.4: Výstřižek katalogového listu: Akční příkazy

Jako příklad lze uvést příkaz navázání komunikace. Tento příkaz má obecný tvar:

- E, <1,0>, <mac address>

První parametr příkazu určuje typ adresy (veřejná nebo náhodá), a druhý samotnou adresu. Pro navázání spojení se zařízením s adresou 00035B0358E6 je tedy třeba zaslat prostřednictvím UART tuto posloupnost znaků:

- E,0,00035B0358E6

10.5.2 Inicializace bluetooth rozhraní

Před navázáním spojení a komunikací pomocí modulu je třeba nastavit bluetooth rozhraní. Toto nastavení se provede odesláním řídicích příkazů do modulu pomocí rozhraní UART.

Samotná inicializace začíná nastavením pinu BT Wake, který probudí celý modul a nastaví jej do režimu příkazů. Po nastavení tohoto pinu modul odešle zprávu "CMD" do mikrokontroléru. Dalšími příkazy jsou Tovární reset, nastavení podporovaných servisů modulu a jeho možností. Na tyto příkazy modul odesílá standardní odezvu "AOK".

Poté je příkazem "R,1" inicializován reboot modulu a po přijmutí odezvy "Reboot" je modul znovu spuštěn a připraven k připojení.

10.5.3 Odesílání dat pomocí bluetooth

Odesílání dat přes bluetooth rozhraní lze jednoduše zahájit nastavením pinu MLDP/CMD do úrovně H. Pomocí UART rozhraní je odeslána odezva "MLDP". Veškerá následující data odeslaná na modul pomocí UART jsou ihned odeslána přes bluetooth.

Pro ověření funkčnosti prototypu je modul propojen s testovacím terminálem společnosti Microchip na Smartphonu.

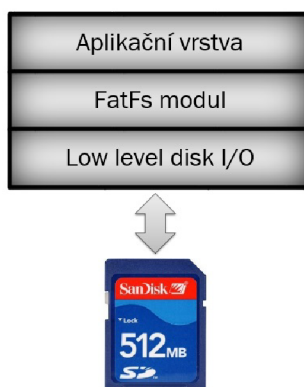
10.6 Souborový systém

Pro realizaci zápisu dat na SD kartu a jejich pozdější interpretaci v PC je třeba zavést na kartě souborový systém. Pro tento účel byla zvolena obecná knihovna v jazyce C FatFs.

10.6.1 FatFs

FatFs je napsán v souladu s ANSI C a je kompletně oddělen od fyzického rozhraní mikrokontroléru. Z tohoto důvodu je nezávislý na použité hardwarové platformě.[23]

Pro oživení FatFs je nutné vytvořit funkce low level disk I/O, závislé na použitém mikrokontroléru. Tato vrstva je vytvořena pomocí již zmiňovaného SPI rozhraní pro použití hardwarové platformy SD karty.



Obr. 10.5: Vrstvy pro použití modulu FATFS

Pro účely této práce je dostačující pouze omezený počet funkcí této knihovny, které jsou popsány níže.

FRESULT f_mount (BYTE, FATFS*)

f_mount je použit pro alokaci pracovní oblasti. Pro práci s SD kartou musí být tato funkce volána jako první. Jejím účelem není fyzický přístup na medium, ale inicializace interní FAT tabulky. Její velikost je ovlivněna počtem připojitelných zařízení (ve výchozím nastavení max. 2).

Argumenty funkce jsou číslo svazku v rozsahu 0 až `_VOLUMES` a pointer na pracovní oblast FATFS. Návrátové hodnoty jsou `FR_OK`, nebo neplatné číslo svazku `FR_INVALID_DRIVE`

FRESULT f_open (FIL*, const char*, BYTE)

f_open je funkce pro práci se soubory. Je obdobou klasického fopen z jazyka C. Prvním argumentem je pointer na strukturu FIL, ve kterém je mimo jiné uložen ukazatel na požadovaný soubor a I/O buffer. Druhým prvkem je jméno souboru a poslední částí hlavičky funkce je příznak, který definuje, zda-li bude ze souboru čteno nebo do něj zapisováno. Návrátová hodnota FRESULT symbolizuje, s jakým úspěchem byla funkce provedena.

FRESULT f_close (FIL*)

f_close zavírá otevřené soubory. Nejprve je kontrolován stav I/O bufferu a nachází-li se v něm platná data, dojde k jejich odeslání na kartu. Pokud by soubor nebyl korektně uzavřen a došlo by např. k výpadku napájení nebo vyjmutí karty, hrozí ztráta dat, nebo kolaps celého FAT systému. V případě požadavku na kompletní odeslání dat a vyčistění bufferu před uzavřením souboru, je možné použít funkci f_sync().

FRESULT f_write (FIL* fp, const void* buff, WORD btw, WORD* bw)

f_write zapíše data uložená v paměti buff do souboru jehož adresa je uložena ve struktuře fp. Počet bytů, které mají být zapsány, vyjadřuje proměnná btw. bw je návratová proměnná f_write, ve které je uložen celkový počet zapsaných bytů. Srovnáním btw a bw lze ošetřit stav plné paměti.

f_read (FIL* fp, void* buff, WORD btr, WORD* br)

f_read čte data ze souboru, jehož adresa je uložena ve struktuře fp a ukládá je do paměti buff. Argument btr vyjadřuje počet bytů ke čtení. br vrací skutečný počet přečtených bytů. Je-li br menší než btw, znamená to, že bylo dosaženo konce souboru za běhu funkce f_read.

11 TESTOVACÍ APLIKACE

Pro ověření funkčnosti USB monitoru bylo třeba navrhnout a vytvořit testovací aplikaci pro osobní počítač. Tato aplikace je vytvořena pomocí vývojového nástroje Visual Studio 2010 jako formulářová aplikace. Tato aplikace lze vidět na Obr.11.1.



Obr. 11.1: Aplikace USB monitor

Po spuštění aplikace se do vysouvacího comboboxu načte seznam dostupných COM portů. Po zvolení portu, na kterém je připojen Wireless M-Bus monitor/logger, je tento port otevřen, a aplikace čeká na připojení (zapnutí) přístroje. Po dlouhém podržení tlačítka a probuzení přístroje ze Stand-by režimu je do PC odeslána zpráva "Open" na kterou počítač zareaguje odpovědí a připojení se dokončí. Poté již stačí stiskem tlačítka START MONITOR uvést přístroj do chodu. Přijímané data se načítají do textového pole.

12 ZÁVĚR

Požadovaným cílem této práce byl návrh prototypu monitoru/datalogeru pro Wireless M-Bus komunikaci. Pro úspěšný návrh jsem se nejprve seznámil s komunikačním protokolem M-BUS a na něj navazujícím Wireless M-BUS, který má navrhovaný prototyp číst. Dále jsem nastudoval obsluhu jednotlivých periférií vzhledem k účelu použití, což jsem využil při návrhu schematu zapojení a s tím spojeným návrhem desky plošných spojů.

Výsledný návrh je založen na mikrokontroléru MSP430F5438A, který je logickým jádrem celého přístroje. K tomuto jádru jsou připojeny všechny nezbytné periférie. Jako prostředek pro komunikaci s bluetooth rozhraním byl pro návrh použit modul společnosti Microchip RN4020. Pro příjem dat z komunikace Wireless M-Bus komunikace slouží externí modul mDongle, který podobně jako modul pro bluetooth komunikaci komunikuje s MCU pomocí seriové linky UART. Do návrhu jsem taktéž začlenil konektor pro připojení SD karty, a obvod FTDI pro komunikaci po sběrnici USB. Celý přístroj je napájen pomocí vestavěného akumulátoru, který je nabíjen pomocí napětí ze sběrnice USB. Veškeré periférie jsem vybíral s důrazem na minimalizaci spotřeby výsledného přístroje a i výsledné schema zapojení jsem navrhl taktéž s tímto ohledem.

Z navrženého schematu jsem navrhl desku plošných spojů, kterou jsem posléze osadil vybranými součástmi, provedl kontrolu správnosti zapojení a oživil.

Pro tuto desku jsem navrhl firmware, který umožňuje obsluhu přístroje, spuštění přístroje v režimu Wireless M-Bus loggeru zaznamenávajícím data na vloženou SD kartu se souborovým systémem FAT 32, spuštění přístroje v režimu Wireless M-Bus USB monitoru odesílajícím data z bezdrátové komunikace pomocí USB rozhraní do PC a spuštění v režimu Wireless M-Bus Bluetooth monitoru, který umožňuje odesílat data z bezdrátové komunikace do smart zařízení s testovacím terminálem od společnosti Microchip.

Pro funkci USB monitoru jsem navrhl testovací aplikaci pro platformu Windows, ze které je možno přístroj ovládat a používat pro monitorování dat proudících po komunikaci Wireless M-bus.

Firmware maximálně využívá metody umožňující minimalizaci spotřeby zařízení. Prototyp přístroje byl sestaven, oživen a otestován ve všech režimech provozu. Prototyp pracuje podle očekávání a splňuje všechny předem vytyčené cíle.

LITERATURA

- [1] DL-1080 Data Logger (8-Channel). V: *Http://www.aemc.com/* [online]. 1999 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.aemc.com/products/html/minfind.asp?id=30501&dbname=products>
- [2] VOJÁČEK, Antonín. Sběrnice Wireless M-BUS: jde to i bezdrátově. V: *HW: Automatizace* [online]. 2010, 13. Únor 2010 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: < <http://automatizace.hw.cz/sbernice-wireless-mbus-jde-i-bezdratove> >.
- [3] VOJÁČEK, Antonín. M-BUS (Meter-Bus): základní popis komunikačního protokolu. V: *HW: Automatizace* [online]. 2010, 7. Únor 2010 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: < <http://automatizace.hw.cz/mbus-meterbus-zakladni-popis-komunikacniho-modelu> >.
- [4] VOJÁČEK, Antonín. Sběrnice Wireless M-BUS - popis a struktura. *HW Automatizace* [online]. 2014, č. 1 [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/sbernice-wireless-m-bus-popis-a-struktura>
- [5] *Wireless M-Bus Quick Start Guide* [online]. 2014 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/Marcom%20Documents/Resources/wireless-m-bus-quick-start-guide.pdf>
- [6] TEXAS INSTRUMENTS. *MSP430F543x and MSP430F541x Mixed-Signal Microcontrollers* [online]. 2009 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430f5438.pdf>
- [7] TEXAS INSTRUMENTS. *Unified Clock System (UCS)* [online]. 2009 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/pdf/SLAU390>
- [8] TEXAS INSTRUMENTS. *Power Management Module and Supply Voltage Supervisor* [online]. 2009 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/pdf/SLAU388>
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. *System Resets, Interrupts, and Operating Modes, System Control Module (SYS)* [online]. 2009 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/pdf/SLAU387>
- [10] TEXAS INSTRUMENTS. *250-mA LDO REGULATORS WITH 8-PIN MSOP PACKAGING* [online]. 2000 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps77318.pdf>

- [11] TEXAS INSTRUMENTS. *Interfacing the MSP430 With MMC/SD Flash Memory Cards* [online]. 2005 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slaa281b/slaa281b.pdf>
- [12] MAXIM INTEGRATED. *MAX1811 USB-Powered Li+ Charger* [online]. 2003 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1811.pdf>
- [13] STMICROELECTROTECHNICS. *5-Pin Supervisor with Watchdog Timer and Push-button Reset* [online]. 2008 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: http://datasheet.eeworld.com.cn/pdf/STMICROELECTRONICS/241203_STM6822.pdf
- [14] MICROCHIP. *Bluetooth® Low Energy Module* [online]. 2014 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002279A.pdf>
- [15] MICROCHIP. *RN4020 Bluetooth® Low Energy Module User's Guide* [online]. 2014 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70005191A%20\(1\).pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70005191A%20(1).pdf)
- [16] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD. *FT232R USB UART IC* [online]. 2010 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [17] TEXAS INSTRUMENTS. *Power Management Solutions for Ultra-Low-Power 16-Bit MSP430™ MCUs* [online]. 2012 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/sg/slyt345d/slyt345d.pdf>
- [18] KOVÁČ, Jakub. *Komunikačný protokol MDTP*. [cit. 2015-04-23]. DOI: Komunikačný protokol MDTP. Dostupné z: Interní dokumentace společnosti Modem-Tec s.r.o.
- [19] Product Manua. V: <Http://www.circlemud.org/jelson/sdcard/SDCardStandardv1.9.pdf> [online]. 2003 [cit. 2015-04-23]. DOI: 80-13-00169. Dostupné z: <http://www.circlemud.org/jelson/sdcard/SDCardStandardv1.9.pdf>
- [20] RICHKAS, Dave. *How to Improve a Sensor Node with Bluetooth*. *How to Improve a Sensor Node with Bluetooth* [online]. 2014, č. 1 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://machinedesign.com/sensors/how-improve-sensor-node-bluetooth>

- [21] Bluetooth low energy. V: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy

- [22] Code Composer Studio. V: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015- [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Code_Composer_Studio

- [23] Petit FAT File System Module. *Elm-chan.org* [online]. 2015 [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_p.html

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AD převodník	Analog-Digital - analogově číslicový převodník
ACK	Acknowledgementz - souhlas
ACLK	Auxiliary clock - pomocné hodiny
AES	Advanced encryption standard
AOK	All OK
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BTLE	Bluetooth low energy
CBC-MAC	Cipher block chaining message authentication code
CMD	Command - příkaz
COM	Communication port
CR	Carriage return - skok na další řádek
CRC	Cyclic redundancy check
DCO	Digitally-controlled oscillator - digitálně řízený oscilátor
DPS	Deska plošných spojů
EOT	End of transmit - konec vysílání
FAT	File alocation table - souborová alokační tabulka
FEC	Forward error correction
FHSS	frequency hopping spread spectrum - přenos v rozprostřeném spektru
FLL	Frequency Locked Loop - smyčka fázového závěsu
GIE	General interrupt enable
I2C	Inter integrated circuit
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRDA	Infrared data association

ISM	industrial, scientific and medical - pásma pro radiová vysílání v průmyslovém, vědeckém a zdravotnickém odvětví
JTAG	Joint Test Action Group
Li-Ion	Lithium-iontový akumulátor
LF	Line feed - ukončení řádku
M-Bus	Meter Bus - sběrnice pro měřidla
MCLK	Master clock - hlavní hodiny
MCU	Micro Controller Unit
MLDP	Microchip Low-energy Data Profile
MMC	MultiMediaCard
MSP430	multi-signálové mikroprocesory řady 430 výrobce Texas instruments – multi signal procesor 430, Texas instruments
OSI	Open Systems Interconnection model - komunikační model
PC	Personal Computer - Osobní počítač
PMM	Power managemant module - modul manegamentu napájení
RAM	Raandom access memory - paměť s přímým přístupem
REFO	Low-Frequency Reference Oscillator - referenční nízkofrekvenční oscilátor
RISC	Reduced instruction set controler
RST	Reset
RTC	Real time clock - hodiny reálného času
SD	sériová datová karta – serial data
SIG	Special Interest Group
SMCLK	Subsystem master clock - hlavní hodiny subsystémů

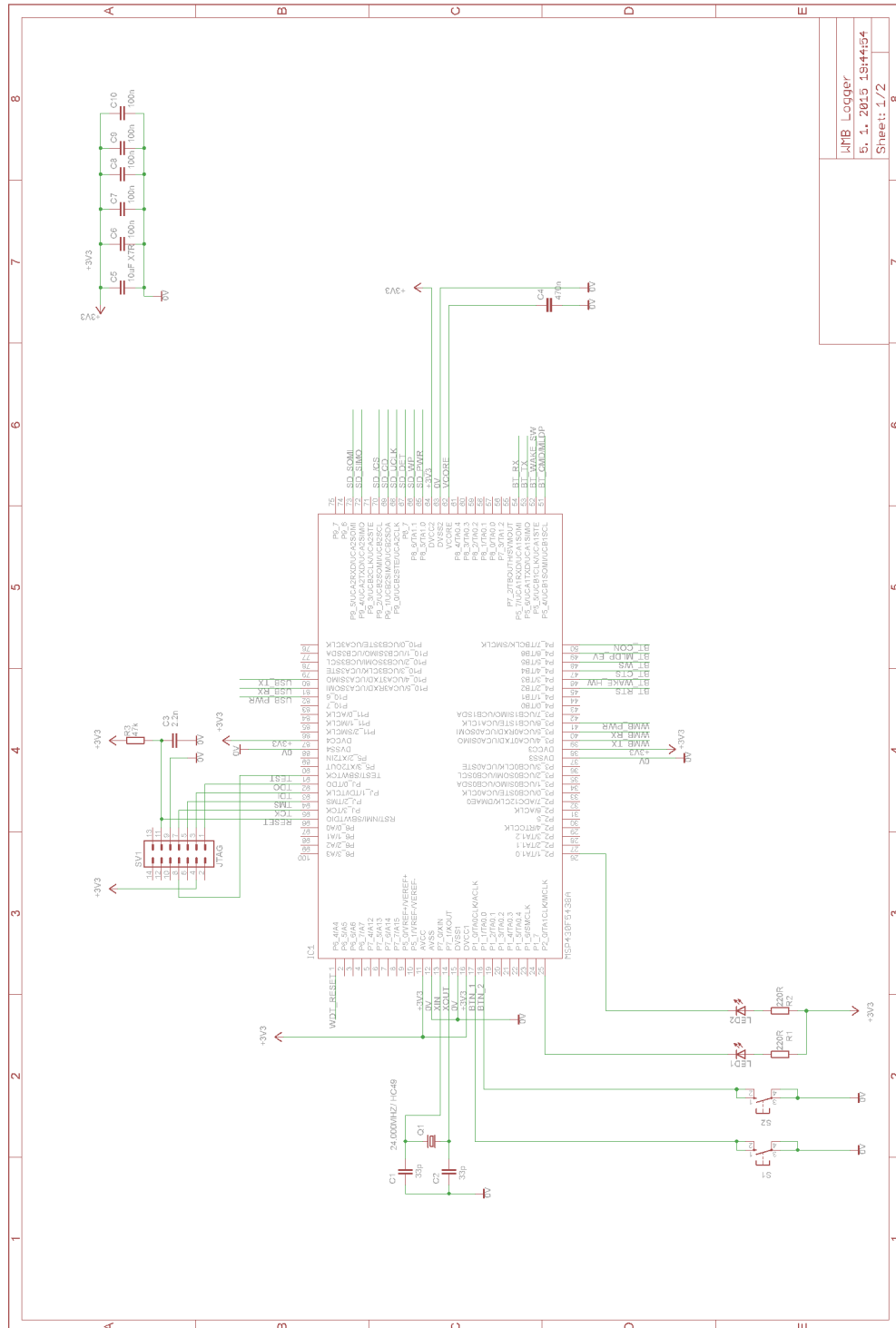
SMT	surface mount technology - technologie povrchové montáže součástek na plošný spoj
SPI	sériová periferní rozhraní – serial peripheral interface
SPP	Serial Port Profile
THT	Trough-hole technology
TI	Texas Instruments
UART	universal asynchronous receiver/transmitter - komunikační rozhraní
UCS	Unified clock system
USB	universální sériová sběrnice – universal serial bus
USCI	Universal Serial Communication Interface
VLO	Very-Low-Power Low-Frequency Oscillator
Wireless M-BUS	bezdrátová měřicí sběrnice, vychází z protokolu M-BUS – wireless meter bus

SEZNAM PŘÍLOH

A Schémata zapojení	64
A.1 Zapojení CPU	64
A.2 Zapojení periferií	65
B Výrobní podklady	66
B.1 Deska plošného spoje TOP	66
B.2 Deska plošného spoje BOTTOM	66
C Seznam součástek	67
C.1 Seznam součástek pro osazení	67
D Elektronická příloha CD	69
D.1 Elektronická verze dokumentace	69
D.2 Schema zapojení	69
D.3 Výrobní podklady DPS	69
D.4 Firmware	69
D.5 Testovací aplikace	69

A SCHÉMATA ZAPOJENÍ

A.1 Zapojení CPU

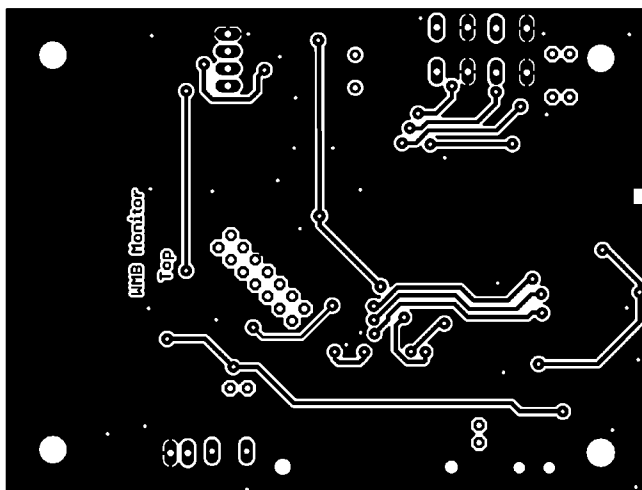


LjNB Logger
 5. 1. 2015 15h44:54
 Sheet: 1/2

Obr. A.1: Schéma zapojení CPU

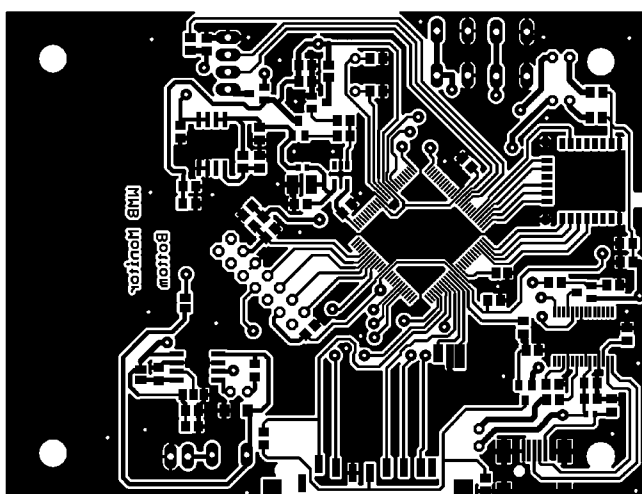
B VÝROBNÍ PODKLADY

B.1 Deska plošného spoje TOP



Obr. B.1: DPS top, rozměr: 63mmx96mm

B.2 Deska plošného spoje BOTTOM



Obr. B.2: DPS bottom, rozměr: 63mmx96mm

C SEZNAM SOUČÁSTEK

C.1 Seznam součástek pro osazení

Značka	Hodnota	Součást	Pouzdro	Popis
BAT	22-23-2021	22-23-2021	22-23-2021	Konektor baterie
C1	33p	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C2	33p	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C3	2.2n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C4	470n	C-EUC2012	C2012	Kondenzátor
C5	10uF X7R	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C6	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C7	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C8	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C9	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C10	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C11	10uF X7R	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C12	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C13	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C14	4.7uF X7R	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C15	47uF X7R	C-EUC1210	C1210	Kondenzátor
C16	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C17	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C18	4.7uF X7R	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C19	10uF X7R	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C20	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C21	10n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C22	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C23	10uF X7R	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C24	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
C25	100n	C-EUC0805	C0805	Kondenzátor
D1	1n4148	DIODE-SOD80C	SOD80C	Dioda
F1		TR5	TR5	Pojistka
IC1	MSP430F5438A	MSP430F5438A	PZ_S-PQFP-G100	MCU
IC2	TPS77301	TPS77301	SOP-08	Regulátor napětí
IC3	FT232RL	FT232RL	SSOP28	Převodník USB/RS232
L1	BLM15HG102SN1	BLM15HG102SN1	402	Ferit
L2	BLM15HG102SN1	BLM15HG102SN1	402	Ferit
LED_1		LED3MM	LED3MM	LED
LED_2		LED3MM	LED3MM	LED
LED_3		LED3MM	LED3MM	LED
LED_4		LED3MM	LED3MM	LED

Obr. C.1: Tabulka materiálu A

Značka	Hodnota	Součást	Pouzdro	Popis
Q1	24.000MHZ/ HC49	CRYSTALHC49U-V	HC49U-V	Krystal
Q2	BSS84	BSS84	SOT23	Mos Fet P-kanál
Q3	NX2301P	BSS84	SOT23	Mos Fet P-kanál
Q4	BC817-40SMD	BC817-40SMD	SOT23-BEC	Tranzistor NPN
Q5	BSS84	BSS84	SOT23	Mos Fet P-kanál
Q6	BSS84	BSS84	SOT23	Mos Fet P-kanál
R1	220R	R-EU_M0805	M0805	Rezistor
R2	220R	R-EU_M0805	M0805	Rezistor
R3	47k	R-EU_M0805	M0805	Rezistor
R4	10k	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R5	1K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R6	100K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R7	220R	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R8	1K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R9	30.1k 1%	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R10	53.6k 1%	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R11	33R	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R12	1K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R13	100R	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R14	47k	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R15	100K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R16	100K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R17	1K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R18	1K	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R19	0R	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
R20	270R	R-EU_R0805	R0805	Rezistor
S1		10-XX	B3F-10XX	Tlačítko
S2		10-XX	B3F-10XX	Tlačítko
SD/MMC	FPS009-3001	FPS009-3001	FPS009-3000	Slot SD karty
SJ1	4,1/4,2V	SJ	SJ	SMD jumper
SJ2	100/500ma	SJ2W	SJ_2	SMD jumper
SJ3	napájení	SJ	SJ	SMD jumper
SV1	JTAG	ML14	ML14	Konektor Jtag
SV2	W-Mbus	MA04-1	MA04-1	Konektor mDongle
UŠ1	RN4020-V/RM	RN4020-V/RM	BLUETOOTH MODUL	Bluetooth modul
U1	MAX1811	MAX1811	SO08	nabíječ Li-On
U2	STM6824RWY6F	STM6824RWY6F	SOT23-5	Watchdog čítač
X1	MINI-USB-SCHIELD	32005-201	32005-201	Konektor MINI USB

Obr. C.2: Tabulka materiálu B

D ELEKTRONICKÁ PŘÍLOHA CD

D.1 Elektronická verze dokumentace

D.2 Schema zapojení

D.3 Výrobní podklady DPS

D.4 Firmware

D.5 Testovací aplikace