

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra aplikované elektroniky KAE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bezdrátové měření technických a fyziologických hodnot

vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

autor: Bc. Václav Diviš

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav DIVIŠ**
Osobní číslo: **E10N0128P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a aplikovaná informatika**
Název tématu: **Bezdrátové měření fyziologických a technických hodnot**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

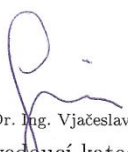
1. Uveďte principy měření tepové frekvence, možnosti nízkoodběrového bezdrátového přenosu dat a zpracování dat.
2. Diskutujte výhody a nevýhody zvoleného bezdrátového přenosu, možnosti kolize přicházejících dat.
3. Sestavte funkční vzorek zvoleného způsobu měření. Zhodnoňte vysílací část z pohledu energetické náročnosti a dynamického odběru.
4. Sestavte funkční vzorek stacionární přijímací stanice.
5. Vytvořte software vhodný ke komunikaci se zařízením, ovládáním a výstupy v grafické i textové podobě.
6. Zhodnoňte dosažené parametry navrženého zařízení (uveďte možnosti dalšího vylepšení či rozšíření).

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:
User guides Texas Instruments

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Konzultant diplomové práce: **Ing. Vladimír Pavlíček, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Ostatní konzultanti: **Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Cílem diplomové práce je studie možností měření srdečního tepu a rychlosti otáčení kola. Následný bezdrátový přenos pomocí mikrokontroléru a vysílače CC430F513X. V této práci kladen důraz na nízkou spotřebu zařízení a uživatelský komfort při ovládání.

První část práce je rešeršní. Jsou zde popsány možné metody měření, jejich výhody a nevýhody. Metody jsou zhodnoceny z hlediska energetické náročnosti a následuje popis zvolené komunikace a mikrokontroléru CC430F5135.

Ve střední části práce je věnována pozornost tvorbě zařízení pro trenéra s mikrokontrolérem MSP430F5529. Zařízení zobrazuje všechny údaje o měřených parametrech. Je zde použit dotykový displej pro zlepšení ovladatelnosti. Zařízení je možné připojit k USB portu počítače.

V závěru práce je popsána tvorba programů pro řídicí jednotky. Řídicí kód pro mikrokontroléry byl napsán pomocí studentské verze IAR kompilátoru. Program pro vizualizaci dat na počítači byl psán v prostředí Visual Studio 2010 jazykem .NET a je také popsán v závěru práce.

Klíčová slova

Měření srdečního tepu, měření rychlosti kola, bezdrátový přenos na 868MHz, CC430F5135, MSP430F2410, MSP430F5229, nízkoodběrové zařízení, zařízení pro trenéra, dotykový displej, tachometr, USB přenos, programování C, C++, .NET

Abstract

The main part of the Master thesis deals with a heart-beat measurement and an exercise bike speed measurement. The design is focused on very low power consumption and user comfort. Microcontrollers and transceivers are used.

At the beginning an idea is evaluated into blocks which are described. The advantages and disadvantages are discussed. The consumption for chosen type of hardware is calculated (CC430F5135).

The middle part is devoted to the trainer unit which is populated by MSP430F5529 and touch display to improve a user comfort of the device. The trainer unit is connected to PC like computer through the USB port.

At the end of the thesis the overall software is described. The embedded software was developed with help of student version of IAR compiler. The PC software were written in Microsoft Visual studio 2010, with .NET language.

Key words

Heart rate measurement, speed of turning wheel measurement, wireless communication on 868Mhz, CC430F5135, MSP430F2410, MSP430F5229, low power device, device for trainer, touch display, speed meter, USB communication, programming in C, C++, .NET language

Prohlášení

Tímto předkládám k obhajobě svou diplomovou práci na téma: Bezdrátové měření fyziologických a technických hodnot zpracovanou na závěr magisterského studia na fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Zároveň prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literatury uvedené na závěru práce a s použitím informací, které mi poskytli konzultanti uvedeni v zadání.

V Plzni dne 11.5.2012

Václav Diviš

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat doc. Dr. Ing. Vjačeslavu Georgievovi, který dopomohl k tvorbě této práce zapůjčením hardwarových prostředků a profesionálními radami.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk:	10
1. Úvod	11
2. Možnosti měření srdečního tepu a rychlosti	12
2.1 Měření tepu	12
2.1.1 Měření seizmické	12
2.1.2 Měření optická	12
2.1.3 Měření akustická.....	12
2.1.4 Měření elektrické	13
2.2 Měření rychlosti	14
2.3 Bezdrátový přenos.....	15
2.3.1 Frekvenční pásma a požadavky na zařízení.....	15
2.3.2 CC430F513X	16
2.3.3 Kolize přicházejících dat	17
2.3.4 Energetická náročnost zařízení	17
3. Hardwarové řešení	19
3.1 Měření tepu - akustické.....	19
3.2 Měření tepu - elektrické	20
3.2.1 Schéma zapojení	21
3.2.2 Spotřeba zařízení.....	23
3.2.3 Naměřená data	24
3.3 Měření rychlosti	25
3.3.1 Schéma zapojení	25
3.3.2 Spotřeba zařízení.....	25
3.4 Tachometr	27
3.4.1 Schéma zapojení	27
3.4.2 Spotřeba	29
3.5 Zařízení pro trenéra	32
3.5.1 Napájecí blok	32
3.5.2 Řídící blok.....	33
3.5.3 Vysílací blok - popis	35
3.5.4 Vysílací blok - spotřeba	38
3.5.5 Displej s radičem IL254 - popis.....	39
3.5.6 Displej s radičem IL254 - spotřeba.....	40
3.5.7 Oživení a celková spotřeba zařízení	41

4. Softwarové řešení.....	43
4.1 Program pro komunikaci s CC430.....	43
4.2 Program pro tachometr.....	45
4.3 Program pro zařízení trenér.....	47
4.4 Program pro PC.....	50
5. Závěr	52
Seznam literatury a informačních zdrojů	55
Přílohy	57
Příloha A - seznam součástí zařízení měření tepu a celkové schéma	57
Příloha B - seznam součástí zařízení měření rychlosti a celkové schéma	61
Příloha C - seznam součástí zařízení tachometr a celkové schéma	64
Příloha D - seznam součástí zařízení pro trenéra a celkové schéma	68

Seznam použitých symbolů a zkratk:

RISC	...	Reduced Instruction Set Computer (Redukovaná Instrukční Sada)
UART	...	Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Univerzální Asynchronní Vysílač Přijímač)
SPI	...	Serial Peripheral Interface (Sériové Periferní Rozhraní)
QFN	...	Quad Flat No leads (Pouzdro pro Povrchovou Montáž bez Vývodů)
TSSOP	...	Thin-Shrink Small Outline Package
LCD	...	Liquid Crystal Display (Displej z Tekutých Krystalů)
TFT	...	Thin film transistor (tenká vrstva tranzistorů , druh LCD)
RTC	...	Real Time Clock (Obvod Reálného Času)
LDO	...	Low-Dropout Linear Regulators (Lineární Regulátory)
USB	...	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
CMMR	...	Common-Mode rejection Ration (činitel potlačení souhlasného rušení)
FHSS	...	Frequency Hopping Spread Spectrum (přeskakování mezi frekvencemi ve spektru)
DSSS	...	Direct Sequence Spread Spectrum (přímá sekvence rozprostřeného spektra)
FIFO	...	First In First Out (První Dovnitř První Ven)
SRAM	...	Static Random-Access Memory (Statická Paměť s Nahodilým Přístupem)
ESR	...	Equivalent Series Resistance (Ekvivalentní Sériový Rezistor)
FSPL	...	Free space loss (Útlum Volného Prostoru)
LPM3	...	Low power mode 3 (Úsporný Režim 3, u mikrokontrolerů MSP430)
DSP	...	Digital signal processing (Digitální Signálový Procesor)

1. Úvod

Tato práce se věnuje prozkoumávání možností měření srdečního tepu, rychlosti otáčení kola a následného bezdrátového přenosu těchto dat. Podnětem pro vznik práce byl stále více se rozšiřující trend měření srdečního tepu a následné vizualizaci na hodinkách nebo tachometrech. Ve většině případů jsou tato zařízení jen pro sportovce. Trenér, který by tyto hodnoty chtěl vidět v průběhu tréninku, je vidět nemohl. K analýze dat tak dochází až po tréninku nebo závodu. Účelem je navrhnout a zkonstruovat zařízení, s kterým bude možné měřit tep a rychlost. Tyto hodnoty následně přenášet ke stanici trenéra, který bude mít okamžitý přehled o jednotlivých situacích sportovců, a tak na ně bude moci flexibilně reagovat. Je kladen důraz na spotřebu zařízení, také finanční náklady na výrobu zařízení a uživatelský komfort.

2. Možnosti měření srdečního tepu a rychlosti

Principiálně máme několik možností měření tepu a rychlosti. Některé jsou méně vhodné, jak z hlediska energetické náročnosti, tak umístění měřícího zařízení na těle sportovce.

2.1 Měření tepu

2.1.1 Měření seismické

Při pumpování krve do krevního oběhu zvětší srdce svůj objem přibližně o 12 - 18 %. Při tomto zvětšení a následném smrštění dochází k detekovatelným otřesům, které mohou sloužit k indikaci srdečního tepu. Tato metoda se používá v lékařské elektronice, ale není použitelná k měření tepu při běhu. Důvodem jsou otřesy těla a následné složité filtrace dat.

2.1.2 Měření optická

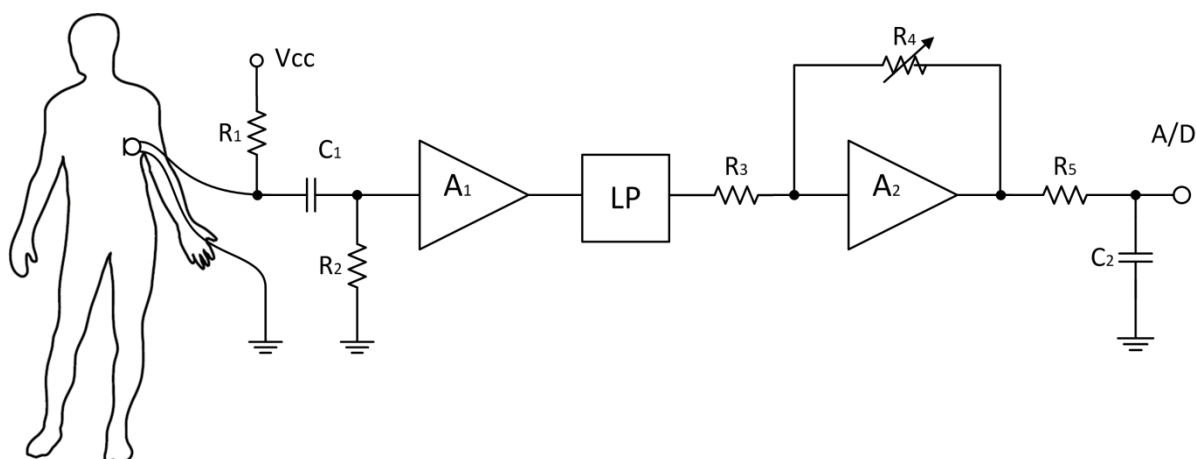
Pokud prosvěcujeme tkáň vhodným zdrojem světla a jí protéká větší množství krve, na vstup fotocitlivé součástky dopadne méně světla než v opačném případě - protéká-li menší množství krve. Na základě tohoto poklesu intenzity světelného toku můžeme indikovat tepovou frekvenci.

Z principu činnosti plyne nárok na zdroj světla. V mnoha případech se používá infra dioda. Odběr této diody se pohybuje okolo 20 - 30 mA. Pro účely této práce tedy není vhodná metoda optická. Jeden z hlavních důvodů je již zmíněná spotřeba světelného zdroje a nutnost fotodetektoru v podobě fototranzistoru nebo fotodiody. Měřící přístroj se také velmi často umísťuje na prst, což je pro sportovce nevyhovující.

2.1.3 Měření akustická

Nejjednodušší metodou je metoda akustická.. V lékařství se k indikaci srdeční odezvy a dechu používá stetoskop. Stetoskopy existují ve dvou provedeních. První jsou klasické akustické, které neobsahují žádné elektrické části a zvuk od zdroje je přenášen zvukovodem ke sluchátkům posluchače. Druhé jsou stetoskopy elektrické. Ty zesilují zvuky velmi malé intenzity. Například se můžeme setkat i s takovými, které mají interní filtry s nastavitelným zesílením. Ty umožňují zesílení frekvencí zvuku, které vydávají specifická fyziologická ústrojí v těle. Toto popisované zařízení lze přirovnat k elektrickému stetoskopu.

Mikrofonem umístěným (nejlépe na hrudi) odposloucháváme zvuk, který vytváří srdce při pumpování krve. Princip měření je lépe viditelný z následného zapojení.

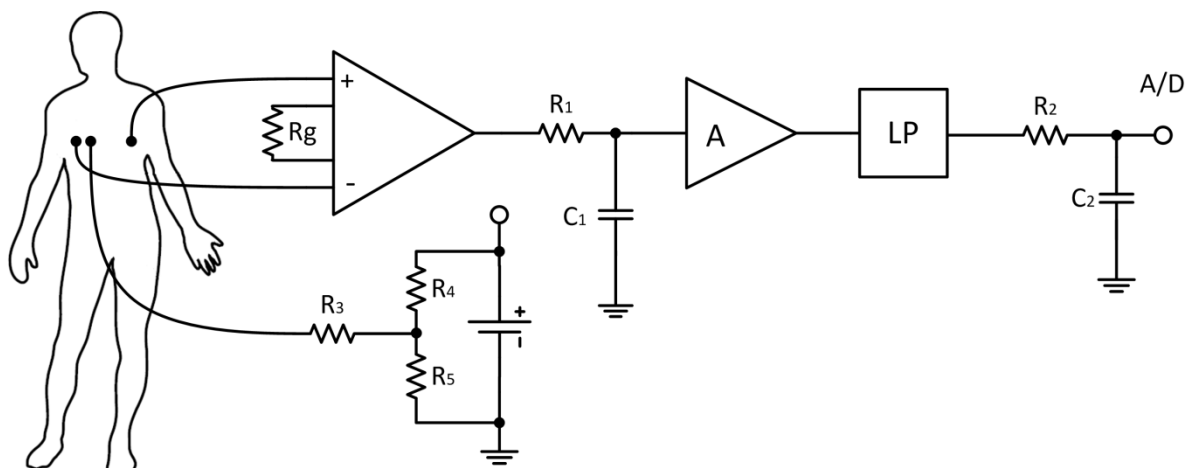


Obrázek 1. Princip akustické metody měření srdečního tepu

Frekvence zvuku, které vytváří srdce při pumpování krve, jsou velmi nízké. Experimentálně byly změřeny a pohybují se v rozsah od 5 - 30 Hz. Vyšší frekvence, které byly naměřeny, byly způsobeny třením či hlukovým pozadím. Tomuto rozsahu musí odpovídat i návrh filtru typu dolní propust. Z důvodu těchto malých frekvencí je důležitý výběr snímacího mikrofону. Pro lepší adaptabilitu je vhodné umístit potenciometr do zpětné vazby některých zesilovačů.

2.1.4 Měření elektrické

Principiálně se jedná o měření EKG. Existuje 12 míst pro snímání potenciálu těla, tzv. svody. Tyto svody byly pojmenovány podle holandského lékaře E.W. Einthovena. Proto se v literatuře můžeme setkat s označením Einthovenovy svody nebo také Einthovenův trojúhelník. Svody jsou nejčastěji na končetinách a hrudníku. V této práci jsem se zaměřil jen na body umístěné na hrudníku. Pro měření biosignálů je vhodné použít přístrojový zesilovač, který má velký činitel potlačení souhlasného signálu CMMR. Základní zapojení přístrojového zesilovače je se třemi operačními zesilovači. S postupnou integrací se začaly objevovat přístrojové zesilovače v jediném pouzdře. Jejich velkou výhodou, je velmi vysoký činitel CMMR, nastavitelné zesílení pomocí externího odporu a v našem případě také nízká spotřeba.



Obrázek 2. Princip elektrické metody měření srdečního tepu

Na vstupy rozdílového zesilovače jsou umístěny elektrody, které jsou připevněny na těle. Na kladnou svorku je přiveden signál dále od srdce, na zápornou signál z levé části hrudi. Odpozem R_g je možné nastavit zesílení diferenčního zesilovače. Na levé části hrudi (dále od srdce) jsou dvě elektrody velmi těsně u sebe, tak aby se vzájemně nedotýkaly. Třetí elektroda, která je nejdále od srdce, slouží jako elektroda referenční, jejíž signál je přivede do přístrojového zesilovače. Bez této elektrody je výstupní signál velmi rušen frekvencí rozvodné elektrické sítě a stává se nepoužitelný pro případné zpracování. V případě, že by nebyla použita tato třetí elektroda, by bylo lepší použít signálový procesor, do kterého bychom mohli implementovat vyřezávací filtr na 50 Hz.

2.2 Měření rychlosti

Pro měření rychlosti byl zvolen princip, který je využíván nejčastěji, a to s magnetem a Hallovo sondou. Magnet je umístěn na výpletu kola tak, aby byl při každém průchodu okolo Hallovy sondy co nejblíže, ale zároveň se zařízení nedotkl. Obecně má Hallova sonda 4 vývody. Dva pro napájení a dva pro výstupní napětí na sondě. Bez přiloženého magnetického pole je na výstupních vývodech téměř nulové napětí. S přiložením magnetického pole se začne zakřivovat tok elektronů mezi napájecími svorkami, což vede ke vzniku odporu materiálu a výsledného Hallova napětí na výstupu.

$$U_H = B \cdot I \cdot k \text{ [V]} \quad (2.2)$$

B - indukce magnetického pole, v němž se destička nachází

I - stejnosměrný proud protékající destičkou

k - konstanta závislá na materiálu, tloušťce a struktuře polovodičové destičky

Za Hallovu sondu je nutné vložit zesilovače a komparátory pro zvětšení úrovně signálu a následné zpracování.

2.3 Bezdrátový přenos

2.3.1 Frekvenční pásma a požadavky na zařízení

Pro přenos dat mezi měřícími a ovládacími stanicemi je možnost použití více frekvenčních pásem. V zásadě lze použít bezlicencová pásma, což jsou 334 MHz, 868 MHz, 918 MHz, 2,4 GHz, 5,4 GHz. V těchto pásmech lze vysílat a přijímat data, ale s určitými omezeními. Pro zvolené pásmo 868 MHz platí následná omezení, která byla převzata ze všeobecného oprávnění č. VO-R/10/09.2010-11k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu, českého telekomunikačního úřadu:

1) Nespecifikované stanice slouží zejména pro telemetrii, dálkové ovládání, signalizaci a přenos poplachových informací.

2) Technické parametry stanic jsou:

Tabulka 1. Kmitočtové spektrum a jeho vlastnosti

Ozn.	Kmitočtové pásmo	Vyzářený výkon	Kmitočtová rozteč	Klíčovací poměr
g1	868,000- 868,600 MHz	25 mW	Není určena ¹	$\leq 1,0$ ²

3) Stanice v kmitočtovém pásmu g nelze využívat pro vysílání analogových hovorových a akustických signálů.

4) V kmitočtovém pásmu g lze provozovat:

- a) zařízení s modulací FHSS s kanálovou roztečí ≤ 100 kHz;
- b) zařízení s modulací DSSS nebo s jinou širokopásmovou modulací kromě FHSS bez omezení kanálové rozteče. U těchto zařízení je spektrální hustota výkonu omezena na $-4,5$ dBm/100 kHz v případě využití celého kmitočtového pásma, na $+6,2$

¹ Není uvedena kmitočtová rozteč, dané pásmo se může využívat celé

² Při použití technologie LBT (Listen Before Talk – vysílání pouze po vyžádání na základě příjmu) není klíčovací poměr omezen.

dBm/100 kHz v případě využití pouze kmitočtového úseku 865–868 MHz a na +0,8 dBm/100 kHz v případě využití pouze kmitočtového úseku 865–870 MHz.

c) úzkopásmové zařízení s kanálovou roztečí ≤ 100 kHz.

U zařízení podle písm. a) a c) se upřednostňuje kanálová rozteč 100 kHz, umožňující dílčí dělení na 50 kHz nebo 25 kHz.

5) V kmitočtovém pásmu g1 musí být použity techniky přístupu ke spektru a zmírnění rušení, které poskytují přinejmenším rovnocenný účinek jako techniky popsané v harmonizovaných normách³. Alternativně lze užít uvedené maximální hodnoty klíčovacího poměru.

2.3.2 CC430F513X

Mikrokontrolér CC430F5137 je rozdělen do dvou základních bloků. Prvním je MSP430 jádro 16 bitového RISC procesoru, který komunikuje s vysílacím blokem CC1101. Protože se jedná o MSP430 jádro, je možné nastavit mikrokontrolér do nízko-odběrových módů, a tak snížit spotřebu celého systému. Zařízení je možné používat nejen v Evropě, ale také v USA. Podléhá normalizačnímu institutu a normě ČSN EN 300 220-2. Výběru vysílací frekvence podléhá i výběr kondenzátorů a induktorů ve vysílací části kontroléru.

Začátek vysílání je tvořen vysílací sekvencí nul a jedniček. Délka této sekvence je programovatelná. Dále je vysláno synchronizační slovo a až poté je načten obsah Tx FIFO paměti.

Zahajovací bity (1010...1010)	Synchr. slovo	Délka packetu	Adresa	Datové pole	CRC-16
8 x n bits	16/32 bits	8 bits	8 bits	8 x n bits	16 bits

Obrázek 3. Složení packetu

- jsou povinná data a jsou automaticky vložena do vysílacího buffer, před odesláním
- nastavitelné data, ale doporučena pro výpočet CRC-16 a dekodování
- volitelná uživatelská data

³ Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů; Nařízení vlády č. 426/2000 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na rádiová a na telekomunikační koncová zařízení, ve znění pozdějších předpisů.

2.3.3 Kolize přicházejících dat

V případě přicházejících dat určených pro trenérskou stanici se může stát, že začne vysílat více stanic najednou. Došlo by tedy k překrytí vysílaných dat a ztrátě informace. To lze vyřešit implementovaným protokolem MBUS. Ten má implementovaný algoritmus, který se dokáže s danou situací vypořádat opětovným zasláním požadavku o data. V práci není tento protokol použit.

Druhou možností je napsání vlastních funkcí, které těmto problémům předejdou. Tato funkce by měla zajistit, v případě zachycení zprávy od jiné stanice nebo v případě zachycení nesmyslných dat, vyhození zprávy a vyslání požadavku o nová data. Do ověřování je zahrnuta i kontrola pomocí CRC-16. Pokud výsledný součin nesouhlasí je zaslán požadavek o opětovné zaslání dat.

2.3.4 Energetická náročnost zařízení

U digitálních zařízení jsou dvě možnosti snižování energetické náročnosti. V úvaze nebudeme brát v potaz statické ztráty způsobené prosakujícími proudy, ale zaměříme se jen na dynamické ztráty. Platí, že energie nutná pro vykonání operace je integrál výkonu spotřebovaném v čase dané operace.

$$E = \int_0^T P(t)dt \quad (2.3.1)$$

T - je doba vykonávání dané operace

P(t) - je výkon a t je čas

Výkon u CMOS obvodů je dán vztahem:

$$P = C \cdot U_{dd} \cdot U_s \cdot f \quad (2.3.2)$$

C - je kapacitance, kterou je potřeba nabíjet při přechodu mezi logickými úrovněmi

U_{dd} - je napájecí napětí CMOS obvodu

U_s - rozkmit signálu

f - je pracovní kmitočet

Rozkmit signálu a napájecí napětí se většinou rovnají, a tak můžeme přepsat vzoreček do tvaru:

$$P = C \cdot U_{dd}^2 \cdot f \quad (2.3.3)$$

Z tohoto vzorečku plynou dvě možnosti pro uživatele. Většina moderních mikrokontrolérů podporuje nízko - odběrové módy. Do těchto módů může uživatel daný kontrolér uvést a v případě nutnosti jej zase probudit. Ve výše uvedených módech je jednotlivým blokům odebrán zdroj hodinového signálu nebo napájecí napětí.

Druhou možností je snižování napájecího napětí. Z tohoto hlediska musí daný typ mikrokontroléru nízké napětí podporovat. Nevýhodou snižování napětí je, že současně s klesajícím napětím roste zpoždění obvodu. Tento fakt se musí brát při návrhu v potaz. V současnosti některé mikrokontroléry řady MSP430 nebo CC430 dokážou pracovat při napájecím napětí 1,8 V.

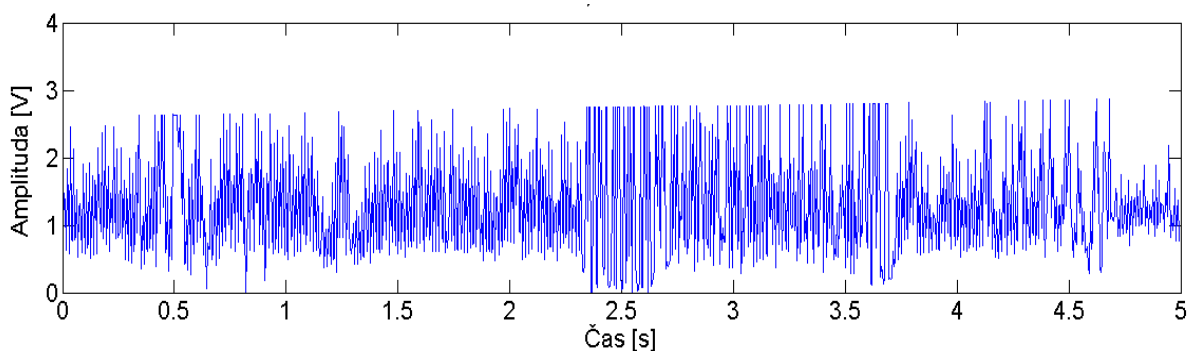
3. Hardwarové řešení

Jednotlivé bloky byly nejdříve zapojovány na nepájivém poli, kde byla laděna funkce systému. Při testování zapojení některých metod měření se došlo k závěru, že metoda není použitelná pro účel této práce. V poslední fázi výrobku byly vytvořeny plošné spoje, které byly následně osazeny a ozkoušeny. V příloze na CD jsou uloženy projekty návrhů.

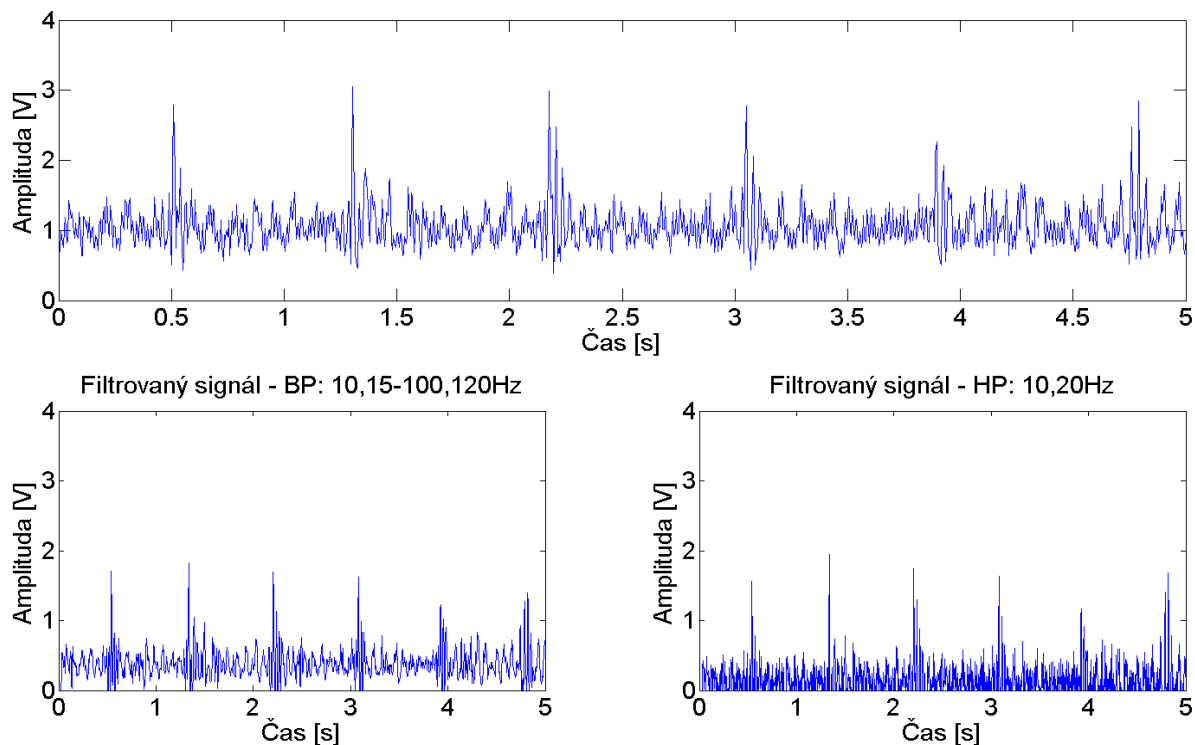
3.1 Měření tepu - akustické

Schéma zapojení je uvedeno v první kapitole na obrázku 1. Signál z mikrofону je zesílen a přiveden na vstup anti-aliasing filtru. Filtr je 4. řádu, typu dolní propust se zlomovou frekvencí $f_z=100$ Hz. Za účelem vzorkování je signál přiveden na zesilovač, který má ve zpětné vazbě potenciometr. Hodnota odporu může být, v případě potenciometru, nastavována ručně nebo, v případě digitálního, řídicím mikrokontrolérem. Tímto způsobem je měření adaptabilní vůči intenzitě signálu z mikrofону. Signál je dále přiveden na A/D převodník mikrokontroléru. Vzorkovací frekvence by měla být podle vzorkovacího teorému nejméně dvakrát větší, než je maximální frekvence vzorkovaného signálu. V našem případě byla zvolena 500 Hz. Navzorkovaný signál byl filtrován digitálním filtrem FIR 12. řádu. Tento filtr byl typu dolní propust a byl exportován do formátu plovoucí řádové čárky.

Výhodou této metody je použití dostupných a levných součástek a zároveň při použití nízké - odběrových zesilovačů i malý odběr proudu. V aktivním módu odebírá zařízení proud $I_{\text{run}} = 1,8$ mA. Největší podíl na proudovém odběru má elektretový mikrofon a průběžné vzorkování. Pro indikaci tepu při pohybu se stává tato metoda nepoužitelnou. Obrázek 4. ukazuje tep mluvícího subjektu. Na obrázku 5. si můžeme všimnout průběhu tepu bez mluvení. Je zřejmé, že mluvení a jakékoli údery nebo dunění v lidském těle se projeví jako značný rušivý signál, který překryje informaci o tepu. Pro srovnání můžeme vidět signál nefiltrovaný, filtrovaný pásmovou propustí a filtrovaný horní propustí.



Obrázek 4. Zašuměná data hovorem a duněním

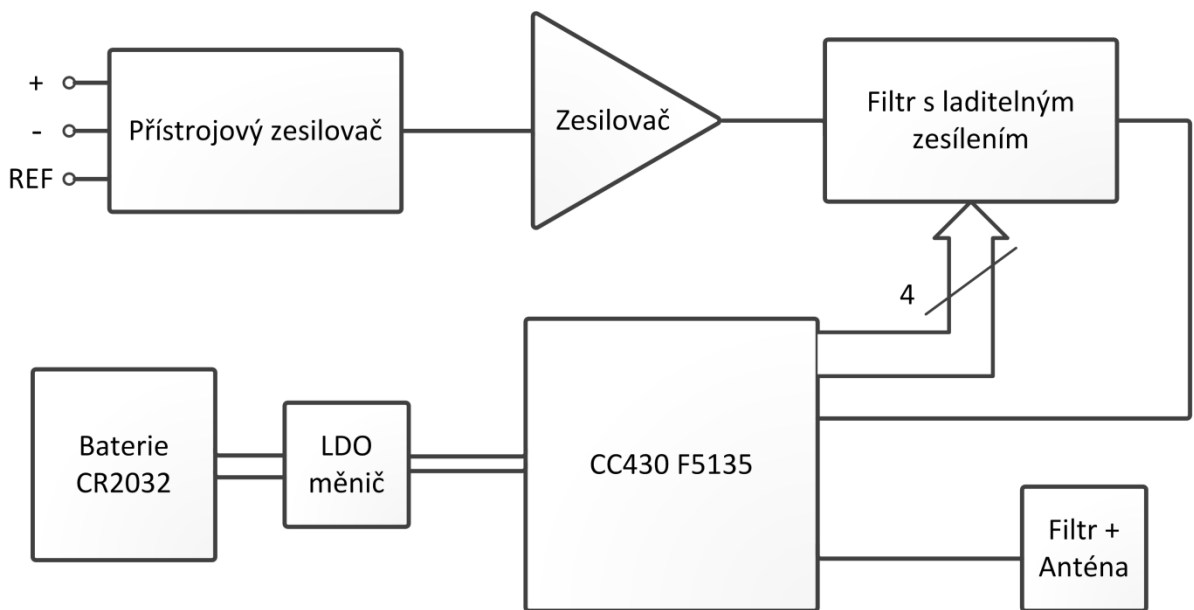


Obrázek 5. a) nefiltrované navzorkované hodnoty b+c) filtrované hodnoty

Data byla vzorkována 12 bitovým A/D převodníkem se spínacími kapacitami. Možnost umístit zařízení na jiné místo na těle se ukázala jako nepoužitelná. Při umístění na jednu z tepen na ruce je užitečný signál velmi zašuměn. Touto metodou nelze tedy spolehlivě indikovat srdeční tep sportovce.

3.2 Měření tepu - elektrické

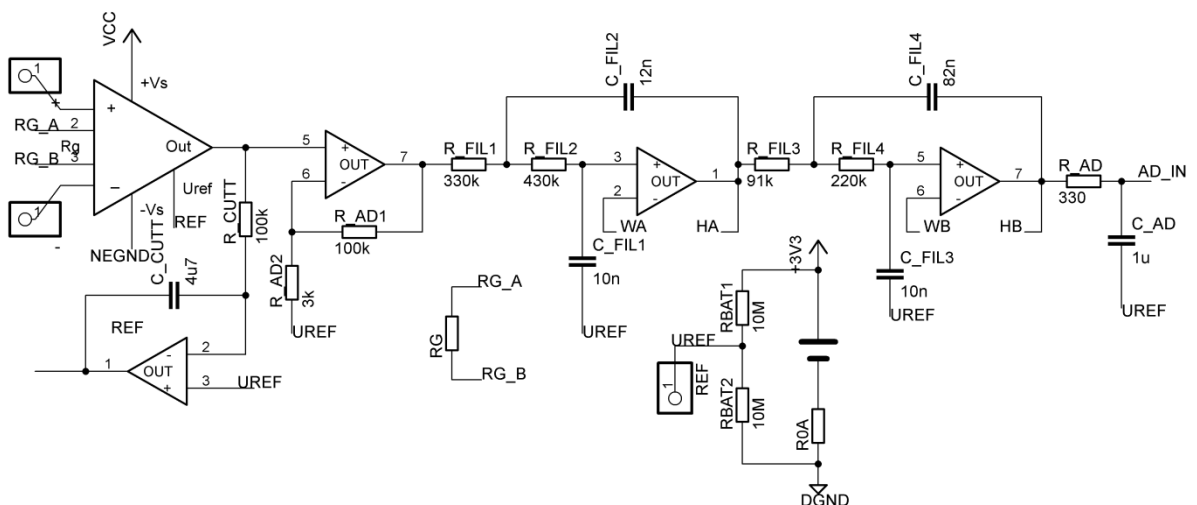
Lepších výsledků než-li v případě akustické metody lze dosáhnout pomocí elektrického měření biosignálů v těle. Řídící jednotku zde zastává mikrokontrolér CC430F5135, který má v sobě také integrovanou vysílací část. U této metody je nutné zajistit vodivé spojení mezi měřicími elektrodami a tělem měřeného subjektu.



Obrázek 6. Blokové schéma elektrické měření tehu

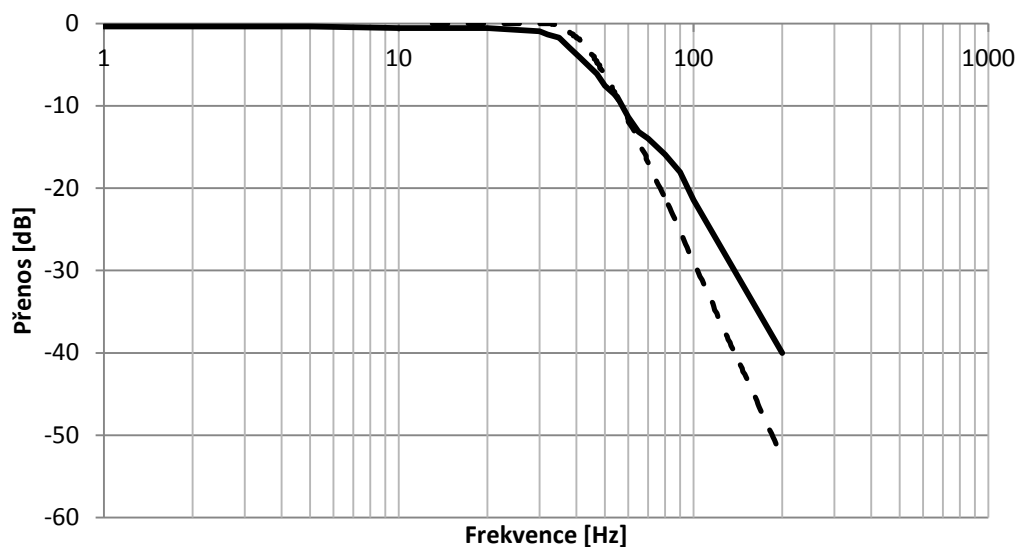
3.2.1 Schéma zapojení

Na vstupy přístrojového zesilovače AD8326 jsou připojeny elektrické sondy, které jsou upevněny na hrudi sportovce. Přístrojový zesilovač se vyznačuje velkým CMMR 110 dB při zesílení 10 dB. Zesílení je možné nastavit odporem R_g . Je ale důležité nastavit zesílení, tak abychom negradovali další parametry zesilovače. Hodnota CMMR klesá se vzrůstajícím zesílením a proto bylo zvoleno zesílení 10 dB. Na výstup přístrojového zesilovače je připojena dolní propust, kterou nastavují referenční napětí pro přístrojový zesilovač. Dále následuje první stupeň zesílení, které je přibližně 100 násobné. Výstupní napětí ze zesilovače je přivedeno na vstup filtru 4. řádu typu dolní propust.



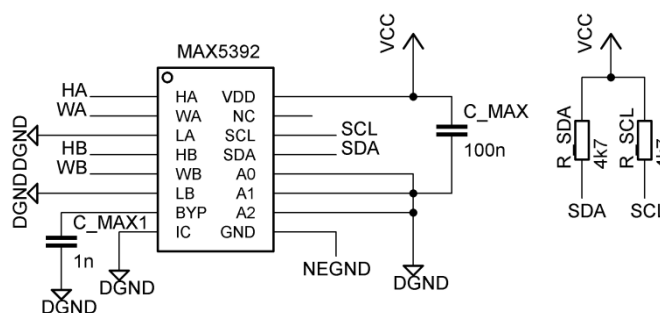
Obrázek 7. Schéma zapojení diferenčního a filtračního stupně

Filtr zde zastává dvě funkce. První je jako anti-aliasingový filtr, to aby nedocházelo k překrytí frekvenčních spekter vzorkovaného signálu a následné ztrátě informace. Protože se jedná o Butterworth aproximaci, se zlomovou frekvencí na 40 Hz, druhé využití má jako odrušení případných šumů a v souvislosti se zlomovou frekvencí i odrušení síťového kmitočtu. Filtr byl navrhnout pomocí programu FiltrPro, kdy pro výsledné zapojení byla zvolena struktura Sallen-Key. Amplitudová frekvenční charakteristika Butterworth aproximace se vyznačuje monotónním průběhem bez zvlnění nejen v propustném, ale i v závěrném pásmu. Pro porovnání je zde charakteristika vygenerovaná simulací i reálně naměřená pro zesílení 0 dB. Útlum v propustném pásmu ideálního filtru by měl být 0 dB. V reálném případě byl naměřen v rozmezí 0 - 25 Hz útlum 0,35 dB.



Obrázek 8. Amplitudová frekvenční charakteristika filtru 4. řádu

Operační zesilovače OPA2369 použité pro filtraci a zesílení jsou nízkodoběrové od firmy Texas Instruments. Mají velmi nízký napěťový offset 250 uV, offsetový drift a lze je napájet již od 1,8 V. Malého odběru je docíleno zmenšením šířky frekvenční charakteristiky a to maximálně do 12 kHz při zesílení $A_u = 1$. V prvním zesilovacím stupni je nastaveno zesílení na 40 dB ($A_u = 100$). Je to právě z důvodu omezením vycházejícím z frekvenční charakteristiky. Operační zesilovač je dle výrobce schopný zesilovat signál stokrát maximálně do 100 Hz.



Obrázek 9. Schéma zapojení digitálního potenciometru MAX5392

U filtru je ve zpětné vazbě zesilovačů zapojen digitální potenciometr MAX5392. Jedná se o jeden z prvních digitálních potenciometrů, které je možné provozovat na napájecím napětí 1.8 V. Při uzavření napájecího obvodu následně inicializaci jsou hodnoty jezdce potenciometru nastaveny do poloviny. To znamená, že výsledné zesílení jednoho bloku je $A_u = 1 + HaLa / HaWa = 3$. V čase inicializace jsou hodnoty odporů nastaveny tak, aby výstupní špičkový impulz elektrického signálu nepřesáhl hranici 1,5 V. Napětí 1,5V je v tomto případě interní reference pro AD převodník. V průběhu měření si nastavuje mikrokontrolér hodnoty odporů dle potřeby pro udržení špičkové pulzu na hranici 1,5 V. V případě nastavení maximálního zesílení je nahlášena chyba měření a odpor je nastaven zpět na polovinu.

3.2.2 Spotřeba zařízení

Všechny použité komponenty mohou pracovat na napětí 2,1 V. V katalogovém listu mikrokontroléru CC430 je doporučeno použít pro snížení spotřeby při vysílání step-down měnič. Při napájení ze step-down měniče, by měl odběr při vysílání a přijímání dat klesnout až o 35%. Nižší napětí také zmenšilo spotřebu zesilovačů a digitálního potenciometru. Ale protože již zmiňovaný step-down měnič má spotřebu okol 16 uA a není vhodné umístit na plošný spoj potenciální zdroj rušení, rozhodl jsem se pro LDO regulátor. TPS78223 který má klidovou spotřebu 500 nA. Potřebné napětí na vstupu by mělo být vždy minimálně o 100 mV větší (záleží na zatížení LDO regulátoru). Zařízení se zapne až když se spojí konektory na hrudním páse a uzavře se napájecí obvod. Ve vypnutém režimu tak neodebírá žádný proud a samovybitení v případě lithiových baterií je okolo 1% za rok v závislosti na teplotě a chemické struktuře baterie.

Pro porovnání je zde spotřeba zařízení (bez vysílací části CC430) při napětí 3,3 V a 2,1 V.

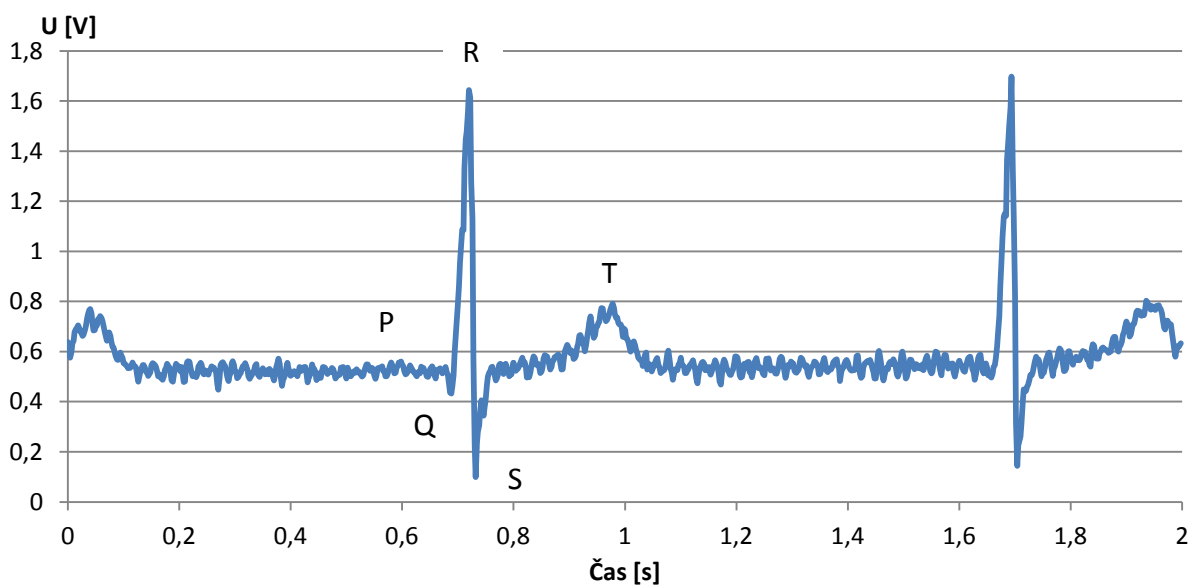
Napětí [V]	3,3	2,1
Průměrná spotřeba [uA]	128	85

3.2.3 Naměřená data

Na obrázku 10. je možné vidět naměřený průběh srdečního tepu. Je zde viditelné zvlnění, které je způsobeno rušením ze sítě. Z hlediska indikace tepu je nejdůležitější nejvyšší hodnota napětí tzv. vlně R (správně by se měla vlna označovat jako QRS komplex). Délka vlny R byla změřena na 40 ms při tepu 142 tepů za sekundu. Délka vlny R se při změně rychlosti srdečního tepu nijak zásadně nemění. Dá se říci, že jeho délka se pohybuje od 35ms do 60ms.

Abychom bezpečně detekovali tento puls je vhodné za dobu 40 ms nasbírat nejméně dva vzorky. Při testování se ale ukázalo vhodnější ještě zdvojnásobit tento počet. Z této úvahy vychází požadavku na vzorkovací frekvenci $f_s = \frac{t_{Rmin}}{4} = \frac{0,04}{4} = 100$ [Hz].

Prahová hranice po které je detekován srdeční puls je zvolena na 1,2 V. Při menší hodnotě se snaží mikrokontrolér nastavit zesílení zesilovačů na větší hodnotu.



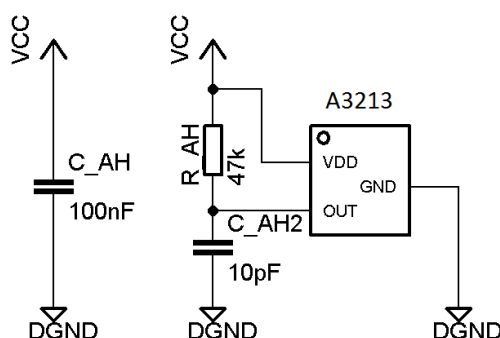
Obrázek 10. Naměřený průběh srdečního tepu

Z lékařského hlediska se celkový průběh srdečního tepu rozděluje na několik vln, které jsou na obrázku 10. označeny. P vlna, která předchází vlně Q (zákmitu směrem dolu) není na obrázku zřetelná. Z průběhu a délky jednotlivých částí se dají určit srdeční vady, nebo onemocnění.

3.3 Měření rychlosti

3.3.1 Schéma zapojení

Pro snímání magnetického pole byl vybrán obvod A3214. Jedná se o velmi citlivou Hallovu sondu spolu s operačními zesilovači, komparátory a časovacím obvodem. Časovacím obvodem je zajištěna malá spotřeba celého systému. V případě A3214 se pohybuje okolo 7 μW . Výstup obvodu je s otevřeným kolektorem a je nutno jej opatřit pull-up rezistorem o velikosti 47 $\text{k}\Omega$.



Obrázek 11. Schéma zapojení Hallové sondy A3213

3.3.2 Spotřeba zařízení

Nutnost použití A3213 před A3214 vychází právě ze spotřeby zařízení. Pro snížení spotřeby je u A3214 využito časovací komponenty, která zapne vzorkovací obvod na dobu 60 μs . Vzorkovací obvod při sestupné hraně zjistí, zdali nedošlo ke zvýšení hladiny napětí u Hallové sondy. Pokud ano, tak přes zesilovače a komparátory sepne výstupní tranzistor N-MOS, což je znamení pro uživatele, který danou informaci může zpracovat. Po vzorkovací periodě je obvod uspán. V případě A3214 je 60 ms znovu probuzen. U silničního kola, které má obvod kola od 1 907 cm do 2 268 cm , můžeme vypočítat, jakou maximální rychlostí by jezdec mohl na něm jet, aby Hallova sonda byla schopná měřit rychlost otáčení.

A3214 se probudí přibližně šestnáctkrát za vteřinu. Při obvodu kola v nejhorším případě 1,9 m by mohla být maximální měřitelná rychlost:

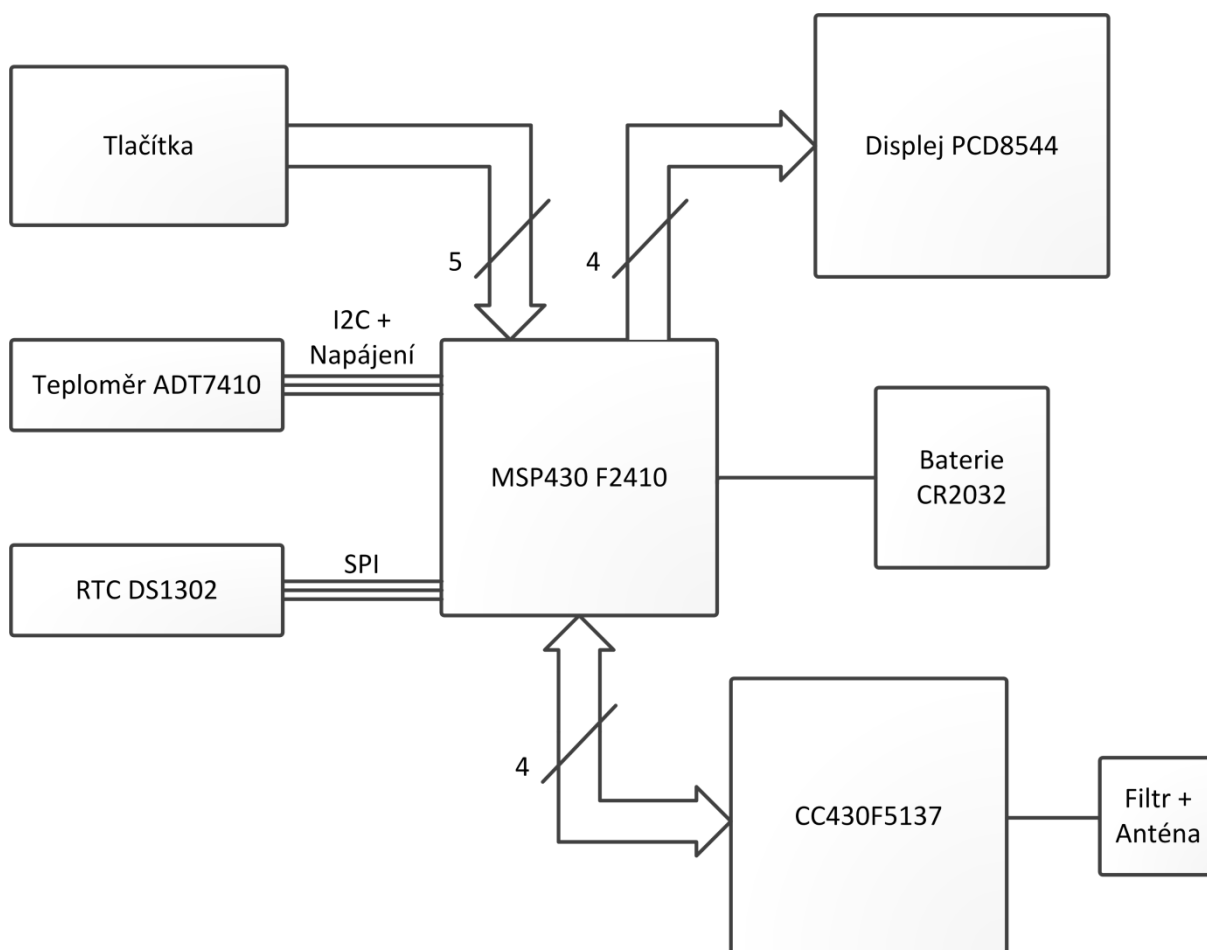
$$v_{\text{MAX1}} = 16 \cdot 1,9 = 30,4 \text{ m/s} = 109,4 \text{ km/h.} \quad (3.3.2.1)$$

To by platilo pouze v ideálním případě, pokud by se zařízení probouzelo v okamžiku průchodu magnetu okolo zařízení. I zde platí princip vzorkování a je nutné mít nejméně dvakrát větší počet vzorkování na periodu, než průchodů magnetu kolem Hallové sondy. Proto byla zvolena sonda A3213 s periodou spánku 240 μs . Při 4 vzorkách na periodu vyháží maximální měřitelná rychlost:

$$v_{MAX2} = 1041 \cdot 1,9 = 1977,4 \text{ m/s} \quad (3.3.2.2)$$

To je velmi přijatelná rezerva. Bohužel tato rezerva je vykoupena zvýšením spotřeby až na hranici 1 mA.

3.4 Tachometr



Obrázek 12. Blokové schéma tachometru

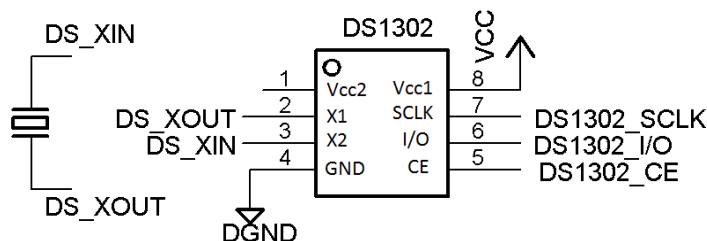
Z blokového schématu je vidět komunikace mezi jednotlivými bloky. Jedná se o distribuované řízení, kdy hlavní řídicí jednotkou je mikrokontrolér MSP430F2410. Ten komunikuje přes UART rozhraní s vysílací částí a dle potřeby ji vypíná. Řídicí jednotka komunikuje se všemi periferiemi a vyčítá z nich potřebná data a v případě potřeby je také vypíná. V bloku baterie CR2032 nalezneme 3V lithiovou baterii, na kterou je připojen odporový dělič. Napěťový dělič snižuje napětí baterie na úroveň vhodnou pro vzorkování A/D převodníkem v mikrokontroléru. Další bloky jsou podrobně popsány v následujícím odstavci.

3.4.1 Schéma zapojení

Celkové schéma zapojení je uvedeno v příloze B. Níže uvedené jednotlivé bloky jsou popsány s ohledem na jejich zapojení a komunikaci s řídicím mikrokontrolérem.

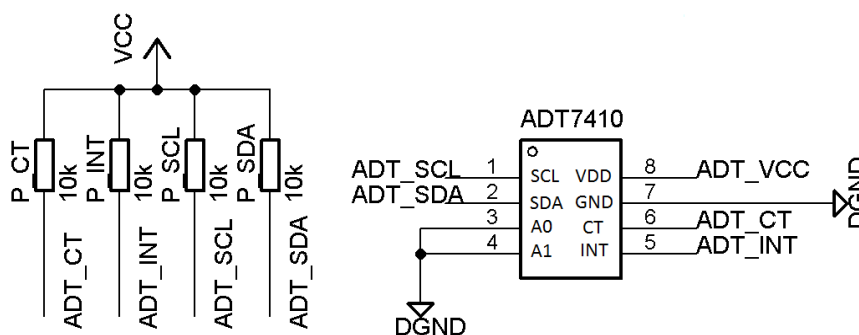
Zdroj hodinového signálu je zastoupen v podobě RTC obvodu DS1302, který je připojen přímo na baterii pinem Vcc1. Vývod Vcc2 je nezapojen, což při vybití baterie

znamená vymazání času. Nastavení času se musí tedy provést na hodinkách, přesněji na tachometru. S řídicí jednotkou komunikuje pomocí tří vývodového SPI rozhraní (SCLK, I/O, CE).



Obrázek 13. Schéma zapojení obvodu reálného času DS1302

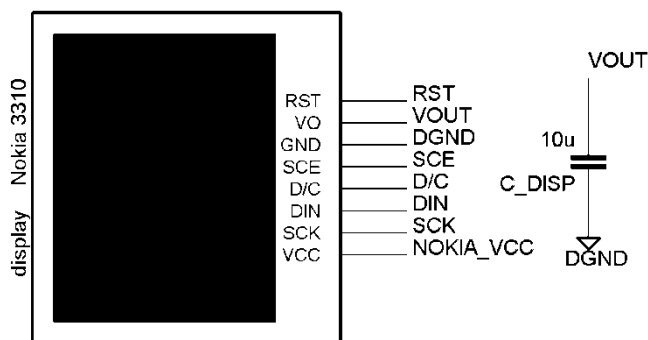
Přes sběrnici I²C (vývody SCL, SDA) komunikuje mikrokontrolérem s digitálním teploměrem ADT7410. Ten je napájen z výstupního pinu mikrokontroléru. Tím dosáhneme ještě menší spotřeby při uspání zařízení. Teploměr pracuje v režimu "one-shot". To znamená, že po dokončení převodu teploty do digitálního tvaru, se hodnota uloží do výstupního registru a teploměr se přepne do nízko - odběrového modu. V tomto modu vydrží do té doby, než si mikrokontrolér přečte data z registru. Rozlišení teploměru je z důvodu rychlosti výpočtu nastaveno z maximálních 16 bitů na 13. Vývody A₀ a A₁ můžeme nastavit adresu zařízení. Výstup CT indikuje překročení kritické teploty, která je nastavena v registru teploměru. Při překročení maximální nebo naopak minimální teploty může zařízení uvést vývod INT do úrovně log. 1.



Obrázek 14. Schéma zapojení digitálního teploměru ADT7410

Pro zobrazení hodnot byl vybrán displej s řadičem PCD8544, který byl často používán v mobilních telefonech Nokia 3310. Tento displej má rozlišení 84 x 48 bodů a je plně grafický. Zapisovat hodnoty lze přes SPI rozhraní a signálový vodič D/C, kterým uživatel definuje, zda-li se jedná o data nebo příkaz. Velkou výhodou je odběr displeje, který je okolo 90 uA v klidovém modu a 110 uA v průběhu překreslování aktivní plochy. Prahové napětí funkčnosti řadiče je 2,7 V. Z tohoto důvodu je možné fungovat v rozmezí baterie maximálně

do 2,7 V. Displej je též napájen z pinu mikrokontroléru a je plně vypnut, je-li mikrokontrolér v režimu spánku.



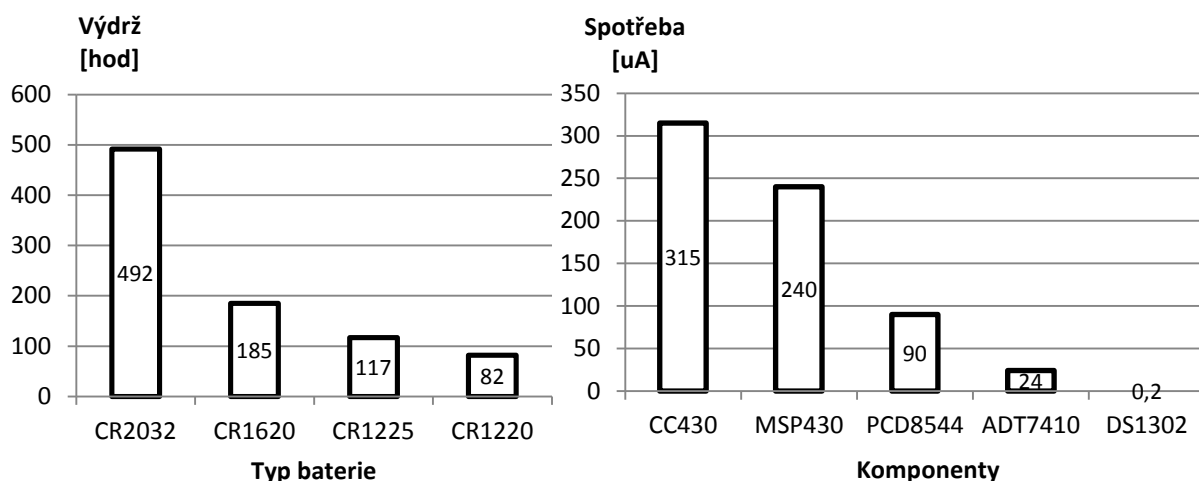
Obrázek 15. Schéma zapojení displeje z Nokie 3310

Pro ovládání je zde 5 tlačítek. Vedle tlačítek Potvrdit, Ukončit, Nahoru a Dolů je zde ještě tlačítko "Start měření". Tím se zapíná bezdrátová komunikace. Pokud je zařízení uspáno, je možné ho probudit pouze tímto tlačítkem.

3.4.2 Spotřeba

Napájení je zajištěno z baterie CR2032, která může mít dle typu kapacitu až 250 mAh. Napětí na baterii je měřeno pomocí odporového děliče, kdy hodnoty odporů jsou 10 MΩ. Pro menší spotřebu mikrokontroléru musí být určité vývody připojeny na zem. Jedná se o externí referenci AD převodníku a vstupní pin hodinového signálu.

V zapnutém režimu je měřeno napětí na baterii jednou za 5 s. Mezi touto periodou je vypnuto referenční napětí pro AD převodník. Stejná perioda je zvolena i pro komunikaci s teplotním senzorem ADT7410. Pro komunikaci s RTC obvodem je zvolena perioda 330 ms z důvodu problikávání vteřin na displeji. Po 20 vteřinové nečinnosti se mikrokontroléry MSP430F210 a CC430F5135 přepnou do úsporného režimu LPM3 a mikrokontrolér MSP430 vypne všechny ostatní komponenty. Pro probuzení musí být zmáčknuto tlačítko "Start měření". Poté se opět zapnou všechny periferie kromě vysílací části, která zůstane nadále v úsporném režimu, dokud se nevyžádá zapnutí komunikace od uživatele.

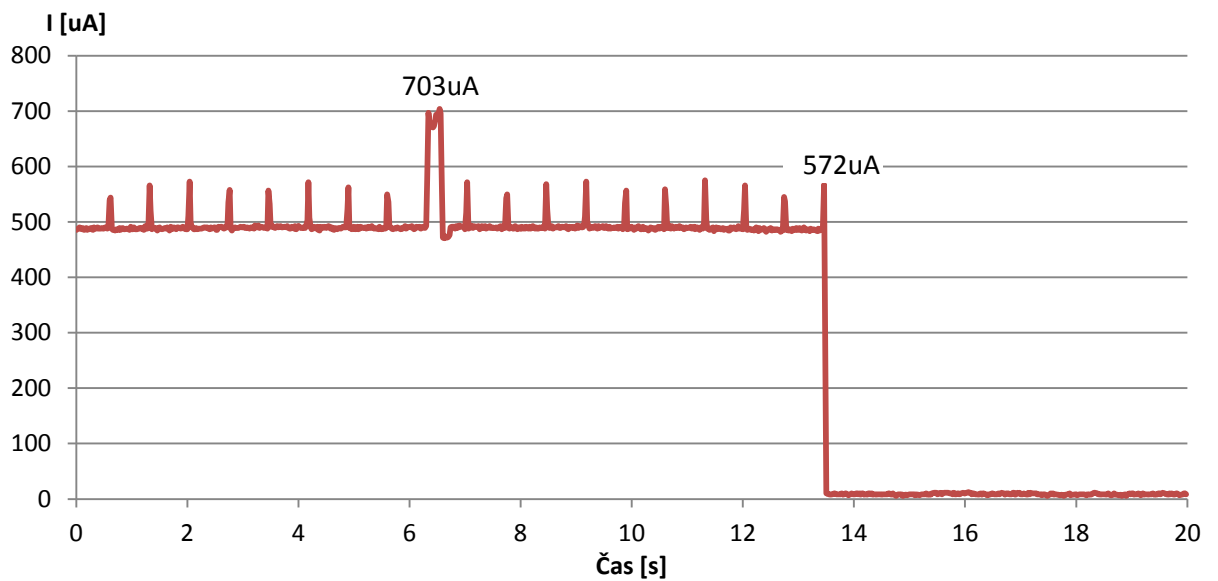


Obrázek 16. a) výdrž baterie v závislosti na typu b) spotřeby jednotlivých komponentů v aktivním režimu (bez zápisu, nebo čtení dat)

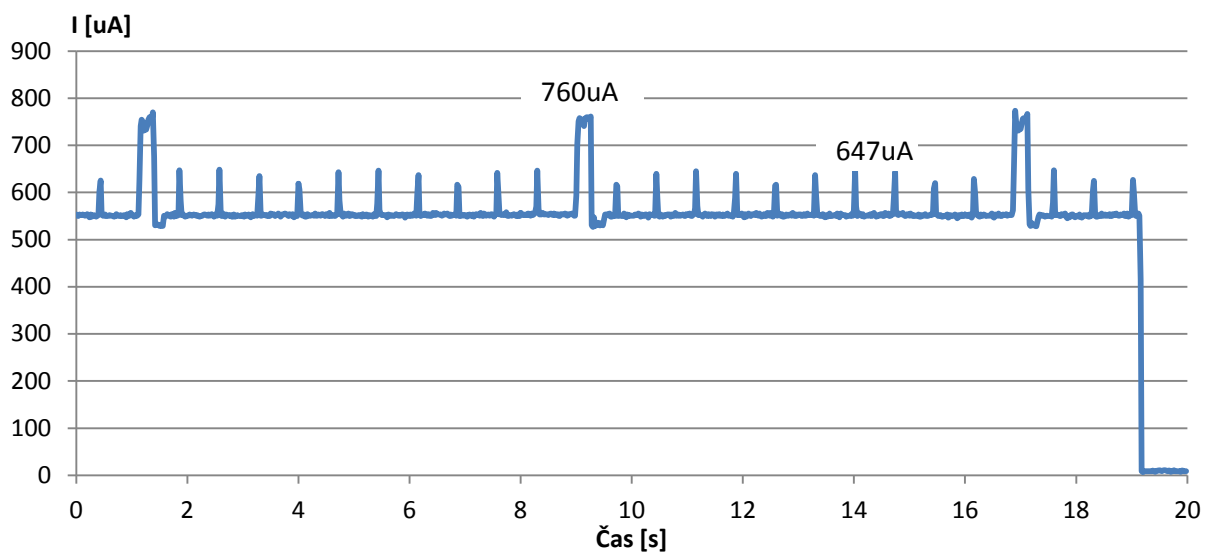
Napětí bylo měřeno na odporu 68Ω , který byl umístěn mezi společný zemnicí potenciál a záporný potenciál zdroje napětí. Offset kanálu, na kterém byla spotřeba měřena, byl $3,5 \text{ mV}$. Z grafického vyjádření na obrázku 16. jsou viditelné výkyvy proudové spotřeby při vzorkování napětí na baterii a čtení hodnot z teplotního čidla. V těchto případech může hodnota odběru vzrůst až na $I_{\text{MAX}} = 703 \mu\text{A}$. Menší špičky jsou tvořené čtením dat z RTC obvodu.

Při běžném provozu (CC430 v LMP3, ostatní komponenty jsou aktivní) je odběr průměrně roven $I_{\text{AVG}} = 485 \mu\text{A}$. Pro tuto hodnotu byla počítána výdrž baterie. Při úplném uspání zařízení se spotřeba rovná přibližně $I_{\text{SLEEP}} = 490 \text{ nA}$. Tato hodnota je způsobena stále fungujícím RTC obvodem a odporovým děličem u napájecí baterie. Mikrokontroléry mají v režimu LPM3 odběr okolo 140 nA .

Na obrázku 17. je možné vidět zvýšení nárůstu spotřeby při zvýšení kmitočtu jádra z hodnoty 1 MHz na hodnotu 8 MHz . Rozdíl proudů je průměrně $\Delta I = 70 \mu\text{A}$. Jádro mikrokontroléru běžící na frekvenci 1 MHz je plně dostačující pro obsluhu všech periférií a vykreslování dat na displej. Proto je tato frekvence nastavena při inicializaci.



Obrázek 17. Dynamická spotřeba zařízení - DCO 1MHz

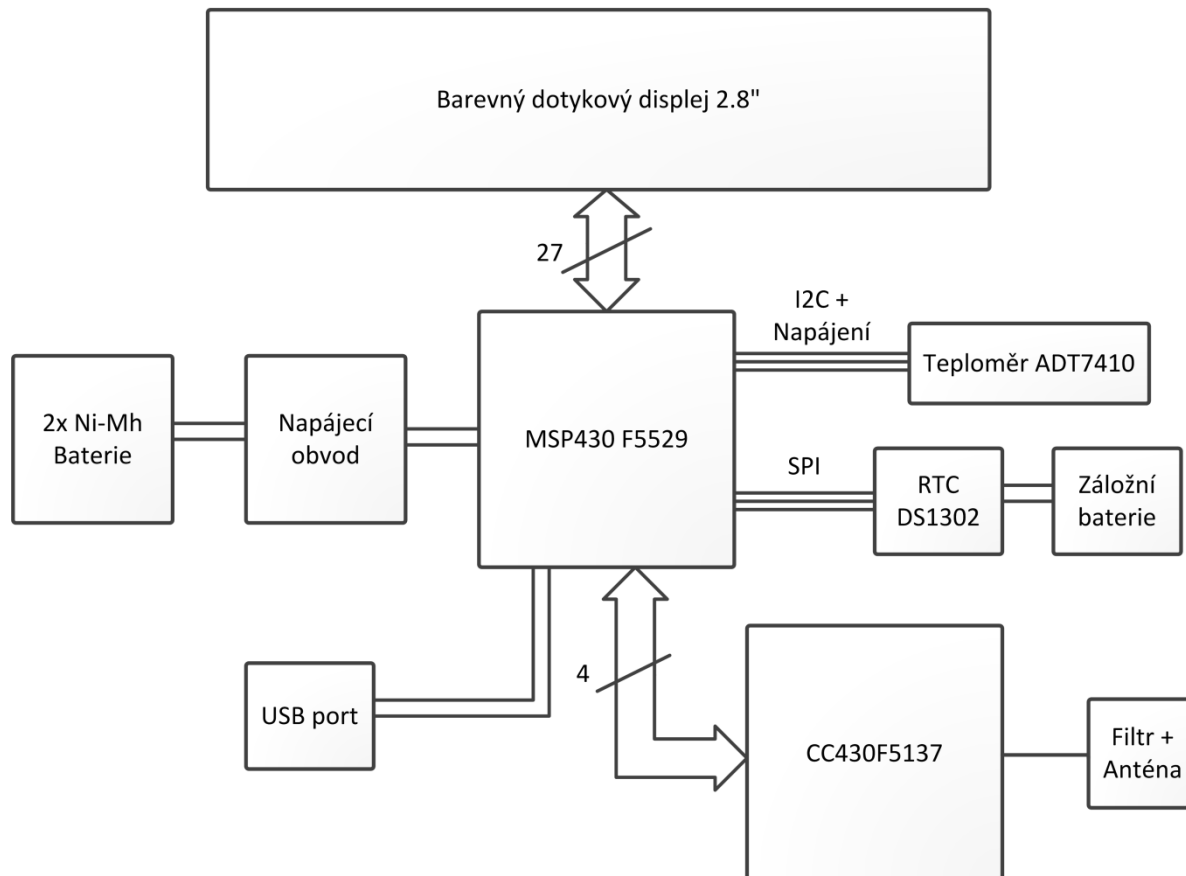


Obrázek 18. Dynamická spotřeba zařízení - DCO 8MHz

Frekvence vnitřních hodin lze u mikrokontroléru MSP430F2410 měnit za běhu mikrokontroléru a tím urychlit náročné operace. Tím lze i dynamicky měnit spotřebu zařízení.

3.5 Zařízení pro trenéra

Zařízení pro trenéra je koncipováno jako přenositelné zařízení, na kterém je možné sledovat hodnoty sportovců, ukládat naměřená data a přepínat mezi sportovci.



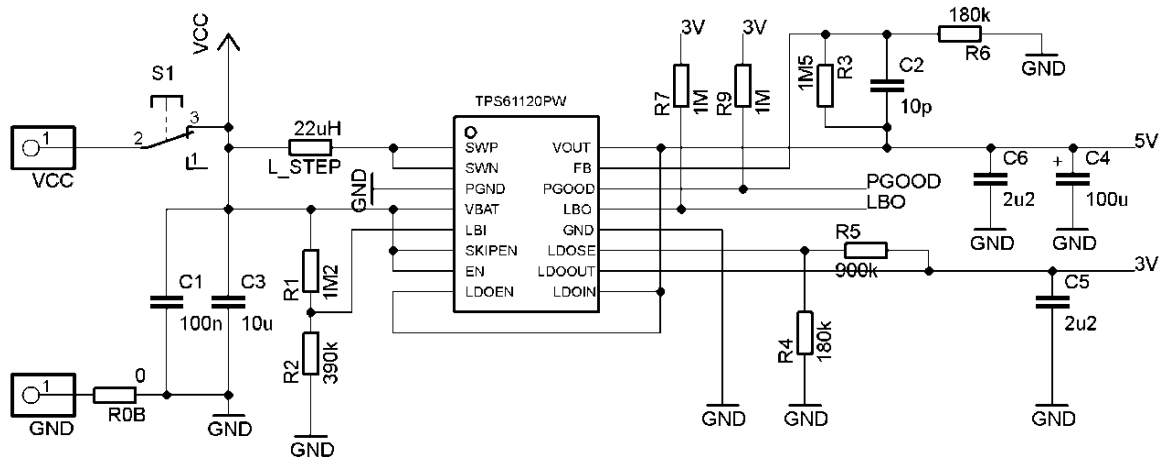
Obrázek 19. Blokové schéma zapojení zařízení pro trenéra

Jako u blokového schéma tachometru si můžete všimnout bloků teploměr ADT7410 a RTC DS1302. Tyto bloky jsou totožné s předešlymi, a proto již dále nebudou popisovány. Rozdíl je v podobě napájecího obvodu. Baterie CR2032 je použita jako záložní napětí pro RTC obvod. Je totiž zřejmé, že Ni - Mh baterie bude uživatel čas od času vyměnit a nebude chtít po každé výměně nastavovat znovu čas a datum. Podrobně jsou bloky popsány v následujících odstavcích.

3.5.1 Napájecí blok

Napájecí napětí dotykového displeje je 5 V, ale napájecí napětí mikrokontrolérů a ostatních periférií jsou 3 V. Z těchto údajů vychází požadavek na dvě napájecí napětí. Primární zdroj napětí je v podobě dvou Ni - Mh baterií typu AAA. Nominální napětí jednoho článku Ni - Mh baterie je 1,25 V. Tato hodnota je závislá na teplotě a stupni nabití baterie. V dnešní době je možné vyrobit baterie až s kapacitou 2 500 mAh. Nevýhodou baterií Ni - Mh

je poměrně velké samovybíjení, které dosahuje k 10% kapacity během prvních 24 hodin a poté se ustálí na 10% kapacity za měsíc.



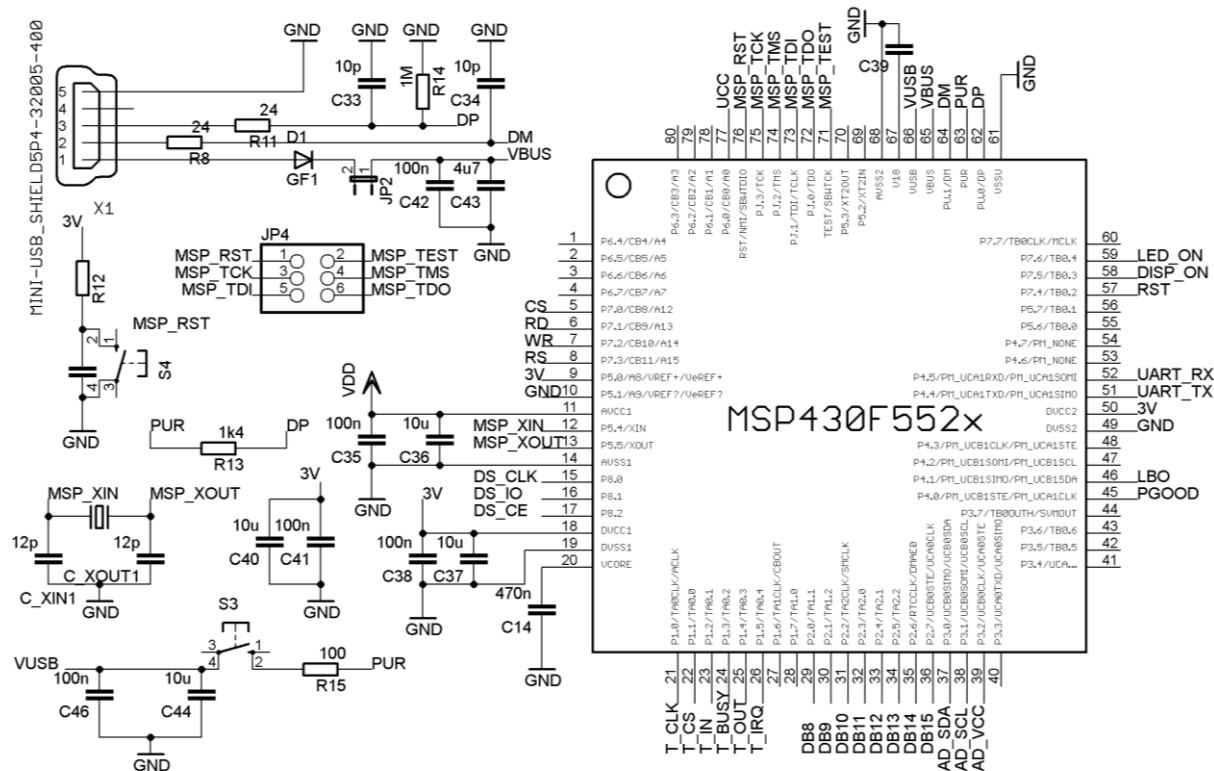
Obrázek 20. Schéma zapojení napájecí části

Je potřeba napětí baterie zvýšit na požadovanou hodnotu 5 V. K tomu slouží obvod TPS61120PW. Tento obvod má integrovaný zvyšovací měnič a LDO regulátor. Nastavení požadovaného výstupního napětí probíhá v podobě výpočtu odporů R3 a R6, který tvoří dělič na vývodu VOUT. Napětí na děliči je přivedeno na vstup FB, který označuje zpětnou vazbu. Tímto způsobem je zajištěna stabilita výstupního napětí. Pro snížení zvlnění na výstupu je doporučeno použít vyhlazovací kondenzátor s co nejmenším vnitřním odporem ESR. Napětí 3 V je na vývodu regulátoru LDOOUT. Na vstup regulátoru je přivedeno napětí právě 5 V z výstupu VOUT. Proudová zatížitelnost obou výstupů je závislá na vstupním napětí baterie a na hodnotě výstupního napětí. Z tohoto hlediska byl zvolen výstupní proud maximálně 300 mA. Napěťovým děličem R1 a R2 je nastaveno minimální možné napětí baterií tak, aby nedošlo k trvalému poškození. K indikaci překročení této hodnoty slouží výstup LBO, který je přiveden na vstup mikrokontroléru. Vývod PGOOD indikuje, zdali není výstup přetížen nebo ve zkratu a zdali je požadované napětí na výstupních pinech.

3.5.2 Řídicí blok

Řídicí jednotkou je mikrokontrolér MSP430F5529. Tento mikrokontrolér obsahuje 128 kB flash paměti, 8 kB SRAM paměti a má 63 vstupně/výstupních vývodů. Maximální možná frekvence, na které může běžet jádro mikrokontroléru, je 25 MHz. V rámci komunikačních rozhraní je v mikrokontroléru implementován USB řadič. Mikrokontrolér také oplývá 32 bitovou násobičkou a flexibilním power managementem. Mikrokontrolér má za úkol komunikovat s ostatními zařízeními na plošném spoji a obstarávat komunikaci s

řadičem grafického displeje. Komunikace probíhá z hlediska přenosu dat pro vykreslení, ale také i z hlediska indikace přerušení a načtení dat při dotyku displeje.



Obrázek 21. Schéma zapojení řídicí části s mikrokontrolérem MSP430F5529

Novinkou je implementace fyzického rozhraní USB protokolu uvnitř mikrokontroléru. Lépe řečeno se jedná o USB HID rozhraní. Zkratka HID znamená human interface device a jedná se o velmi časté rozhraní (prvotně vytvořeno pro myš a klávesnici), které je podporováno Windows HID API funkcemi. Pro běžné aplikace je lepší použít zařízení jako CDC (communication device class), která se v použití výrazně neliší od virtuálního COM portu. Firma Texas Instruments vytvořila knihovnu funkcí, které je možné použít ve Visual studiu při tvorbě programu pro PC, ale také na samotném mikrokontroléru.

Tabulka 2. Vývody USB řadiče a jejich popis

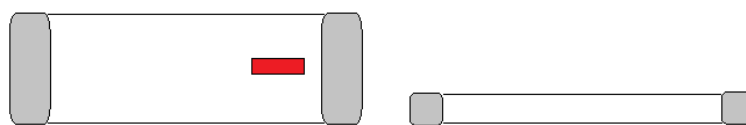
Název	PIN	Funkce
VUSB	66	Výstup z LDO regulátoru (maximálně zátěž do 100mA)
VBUS	65	Vstup LDO regulátor, nutno připojit k napájecímu napětí USB
DM	64	USB terminál data minus
DP	62	USB terminál data plus
PUR	63	USB pull-up resistor (obvod se otevřeným kolektorem)

V18	67	Výstup regulovaného napětí, jen pro interní účely, není možné ho zatěžovat
VSSU	61	Zem pro fyzickou vrstvu USB řadiče

3.5.3 Vysílací blok - popis

Součástky vysílacího bloku jsou u všech vyvíjených zařízení stejná. Rozdílné jsou pouze antény. V případě měření srdečního tepu, rychlosti kola a tachometru byla použita keramická anténa firmy Johanson Technology 0868AT43A0020. Tato anténa byla vybrána z důvodu velikosti a ceny.

W	7.00 +/- 0.20
L	2.00 +/- 0.20
T	0.8 +0.1 -0.2
a	0.5 +/- 0.3



Obrázek 22. Rozměry keramické antény 0868AT43A0020

Dosah komunikace mezi sběrnou stanicí (trenérem) a jednotlivými měřicími stanicemi (sportovci) byl požadován minimálně 100 metrů. Teoreticky je možné dosáhnout mnohem vyšších hodnot. Ze vzorečku pro parametr FSPL, který je:

$$FSPL = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \quad (3.5.3.1)$$

Kde d je vzdálenost a λ je vlnová délka vlnění.

Tento vzorec se dá přepsat tak, aby výsledná hodnota vycházela v poměrové jednotce dB.

$$FSPL = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi}{c} \cdot d \cdot f \right) \text{ [dB]} \quad (3.5.3.2)$$

c - rychlost světla ve vakuu = $2,997924 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

d - vzdálenost dvou bodů [m]

f - frekvence na které jsou vysílána data [Hz]

Je nutné znát několik parametrů, které jsou potřebné k výpočtu maximální vzdálenosti. První je zesílení vysílače a_{cc430} . Mikrokontrolér CC430 je schopný zesílit signál až o 23 dBm. Z důvodu rychle rostoucí spotřeby spolu se zesílením byla maximální hodnota zvolena $a_{cc430} = 10 \text{ dBm}$. Dále je nutné znát zisk vysílací antény. V našem případě jde hlavně o komunikaci tachometr - trenér. V opačném případě jsou parametry jiné. Proto je počítáno se ziskem keramické antény, který může nabývat hodnoty maximálně $a_{ant} = -4,1 \text{ dBm}$. Nutné je znát citlivost přijímače i s útlumem antény a přizpůsobovacího filtru. Hodnota útlumu přizpůsobovacího filtru hodnotu nebyla změřena, a proto s ní není počítáno. Citlivost přijímače je dle katalogového listu -110 dBm. Z důvodu rezervy pro útlum antény a filtru byla

vzata hodnota **citlivosti -100 dBm**. Zjednodušení vzorečku je v podobě absence útlumu prostředí, ztrát způsobených nepřesným zaměřením antény, polarizačních ztrát a poměru nosná/šum. Do útlumu prostředí můžeme počítat útlum vzduchu, jakýkoli překážek, stínění spolujezdce, ale hlavně odrazy při kterých může docházet k destruktivní interferenci. Odrazům se neubráníme a v případě výpadku komunikace je programově ošetřeno opětovné zaslání dat. Obvykle se volí **rezerva od 10 do 20 dBm**.

$$FSPL = a_{cc430} + a_{ant} + \text{citlivost} + \text{rezerva [dBm]} \tag{3.5.3.3}$$

$$FSPL = 10 - 4.1 + 100 - 20 = 85.9 \text{ dBm}$$

Nyní dosadíme do vzorečku se vzdáleností:

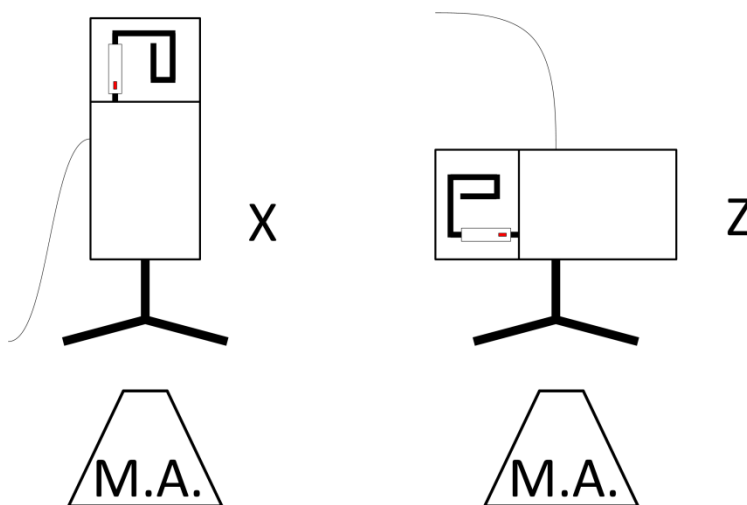
$$85.9 = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi}{2.97 \cdot 10^8} \cdot d \cdot 868 \cdot 10^6 \right)$$

$$10^{\frac{85.9}{20}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 8.68}{2.97} d$$

$$d = 537 \text{ m}$$

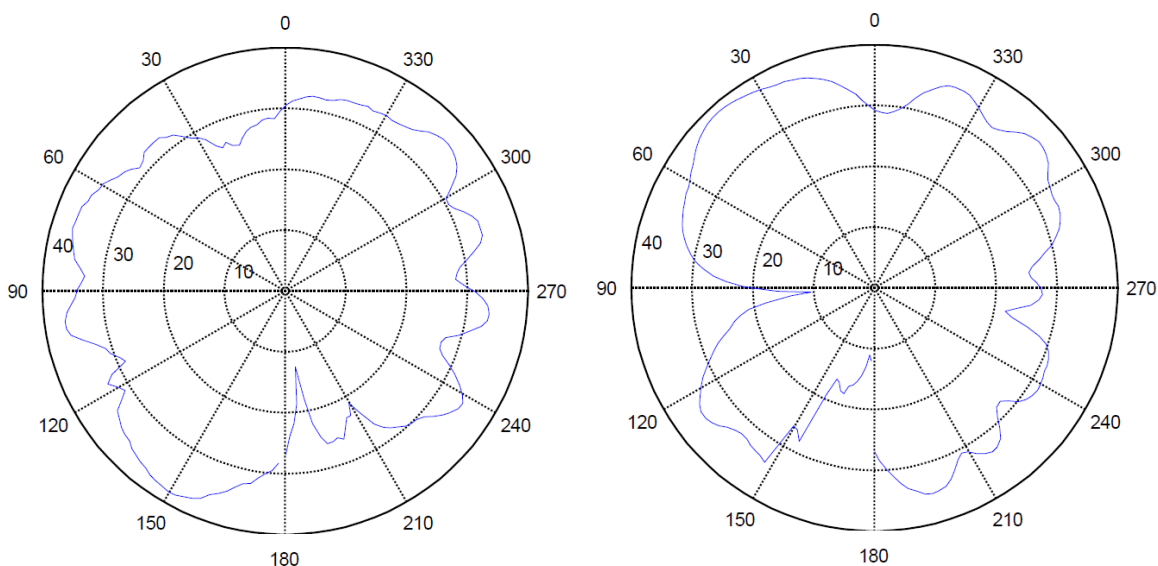
Při snížení zesílení vysílače na 0 dBm, který je nastaven automaticky po resetu zařízení, se snižuje vzdálenost na 169 metrů. Při reálném používání však byly zjištěny jiné problémy. Bez pohybu sportovce bylo možné dosáhnout vzdálenosti trenér - sportovce až 250 metrů. Jestliže se sportovec pohyboval, docházelo k chybování v přenosu. Zařízení trenéra sice přijalo data, ale většina z nich nebyla správná.

Další z důležitých údajů je směrová, vyzařovací charakteristika. Vyzařovací diagram v rovině Z odpovídá přenosu tachometr - trenér a zařízení pro měření rychlosti - trenér. Vyzařovací diagram v rovině X přenosu mezi zařízením pro měření srdečního tepu a tachometrem. Na obrázku 23. je možné vidět náskres situace při měření.

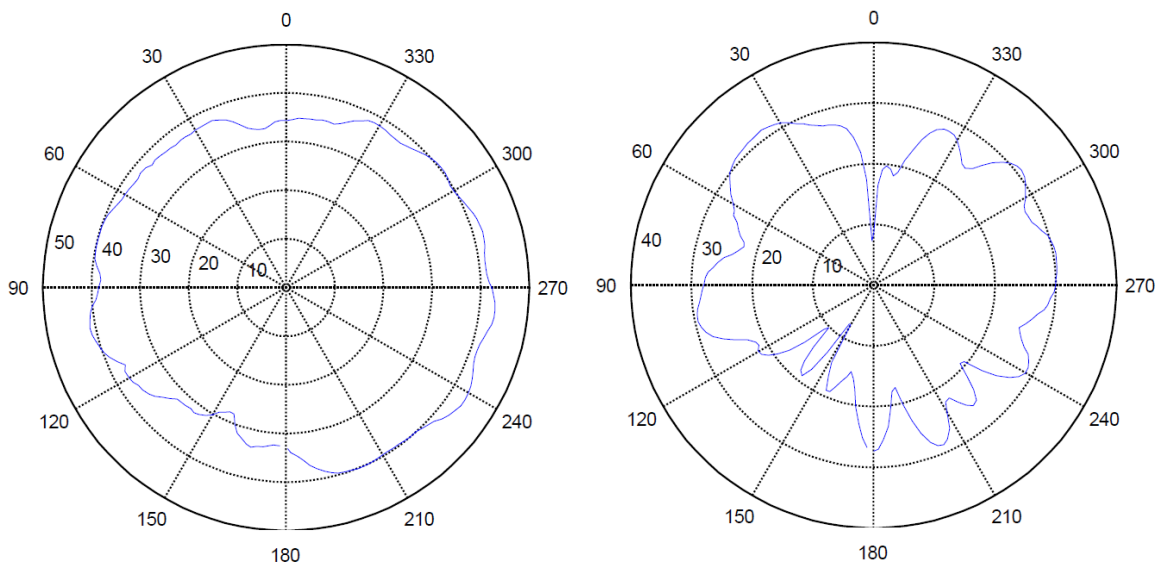


Obrázek 23. Náskres situace při měření. Umístění měřící antény.

Data byla naměřena za podmínek uvedených v příloze D a byla k dispozici z předešlých měření na katedře. Obrázek 24. a) vykresluje do polárních souřadnic směrovou charakteristiku v rovině Z při vertikální polarizaci, kdežto obrázek 24. b) vykresluje směrovou charakteristiku v rovině Z při horizontální polarizaci. Obrázek 25. poté vykresluje směrové charakteristiky pro obě polarizace v rovině X.

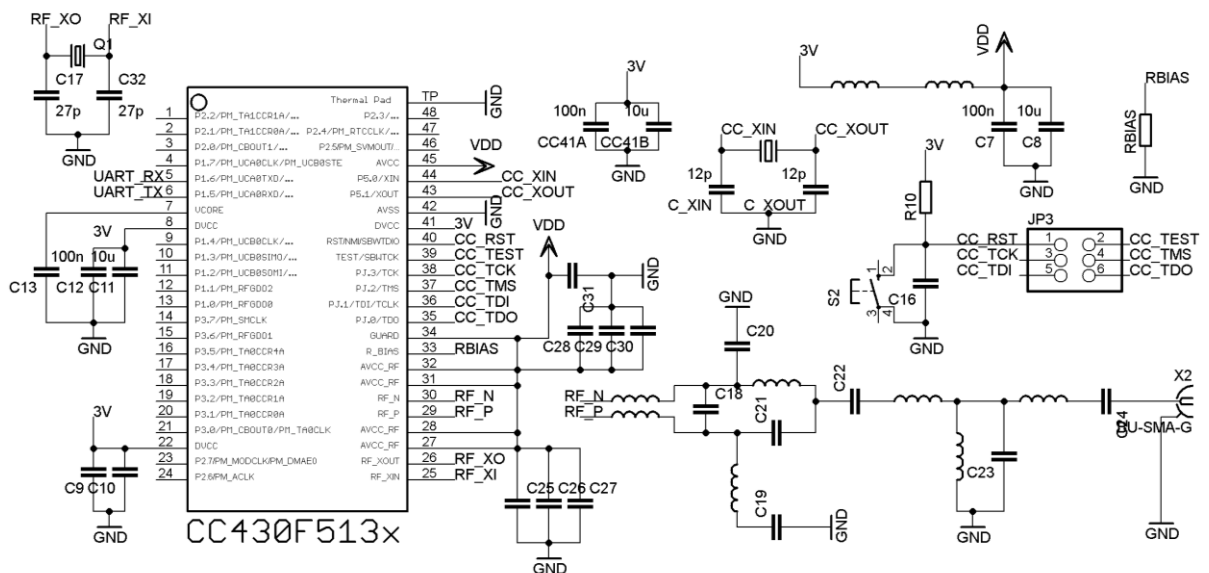


Obrázek 24. Směrová vyzářovací charakteristika v rovině Z a) horizontální polarizace b) vertikální polarizace



Obrázek 25. Směrová vyzářovací charakteristika v rovině X a) horizontální polarizace b) vertikální polarizace

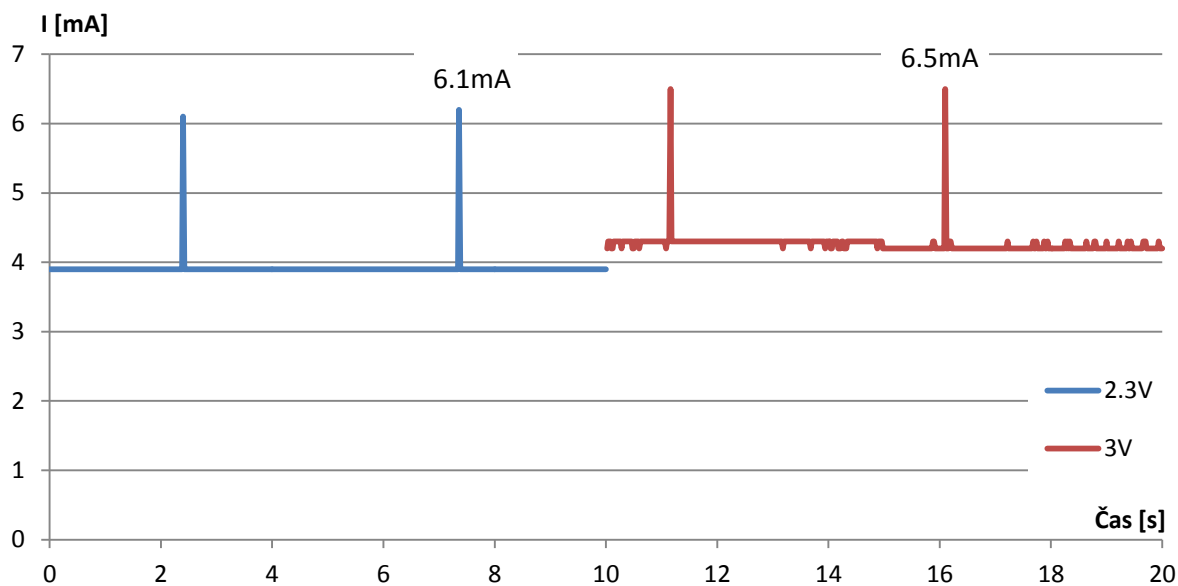
Na obrázku 25. je možné vidět schéma zapojení vysílací části s mikrokontrolérem CC430F5137. Jsou zde vidět vývody RF_N A RF_P, na které je připojen filtr a následně SMA konektor nebo rovnou keramická anténa. Dále je dobré si všimnout odděleného napájení analogové a digitální části. K tomuto oddělení slouží cívka o velikosti 6,2 nH a feritové jádro pro odrušení vysokofrekvenční složky. U každého napájecího vývodu jsou umístěny blokovací kondenzátory o velikosti 100 nF a 10 uF. Jsou zde dva krystaly, které slouží jako přesné zdroje kmitočtu. SMD krystal připojený na vývody RF_XO a RF_XI osciluje na kmitočtu 26 MHz. Tento kmitočet je potřebný pro správnou funkci jádra RF modulu. Krystal o velikosti 32,768 kHz je připojen na vývody CC_XIN a CC_XOUT a je možné ho například využít jako zdroj kmitočtu pro čítač/časovač a další periférie.



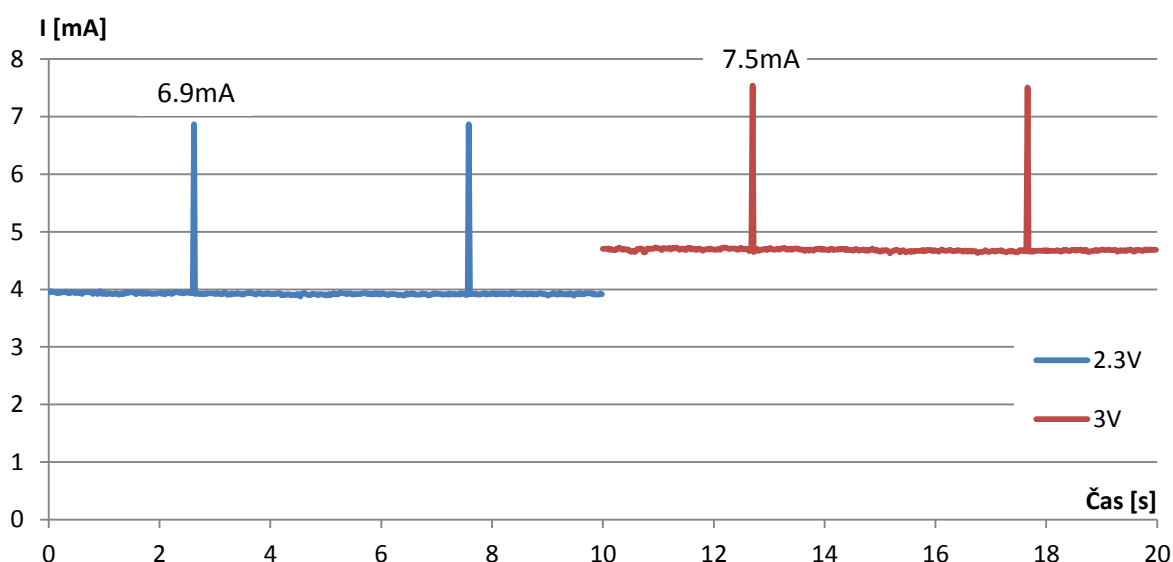
Obrázek 26. Schéma zapojení vysílací části s mikrokontrolérem CC430F5137

3.5.4 Vysílací blok - spotřeba

Spotřeba byla měřena na 4. kanálu osciloskopu, který měl offset 4,25 mV. Pro porovnání jsou na jednotlivých grafech vyneseny hodnoty proudů při napájení 2,3 V (napětí, kterým je v této práci zařízení napájeno) a 3 V. Měření bylo provedeno pro zesílení 0 dBm (obrázek 22.) a 10dBm (obrázek 23.). Pro přehlednost byly uloženy hodnoty z osciloskopu vyneseny do společných grafů.



Obrázek 27. dynamická spotřeba zařízení (vysílací výkon 0dBm)



Obrázek 28. dynamická spotřeba zařízení (vysílací výkon 10dBm)

Naměřené hodnoty jsou v příloze na CD ve formátu CSV, ale také ve vygenerovaných obrázcích ve formátu PNG. Spotřeba byla měřena na odporu 10 Ω .

3.5.5 Displej s řadičem IL254 - popis

Pro zobrazování naměřených hodnot byl vybrán grafický, dotykový displej. Displej lze ovládat 16 bitově (DB0 - DB15), nebo 8 bitově (DB8 - DB15). Zvolena byla 16bitová komunikace kvůli zrychlení zápisu hodnoty a případného vykreslení dat. Dále je nutné řídit zápis hodnot mikrokontrolérem, a to je možné pomocí těchto vývodů:

RS - výběr data nebo instrukce - log.0 pokud se jedná o data, log. 1 v případě instrukcí

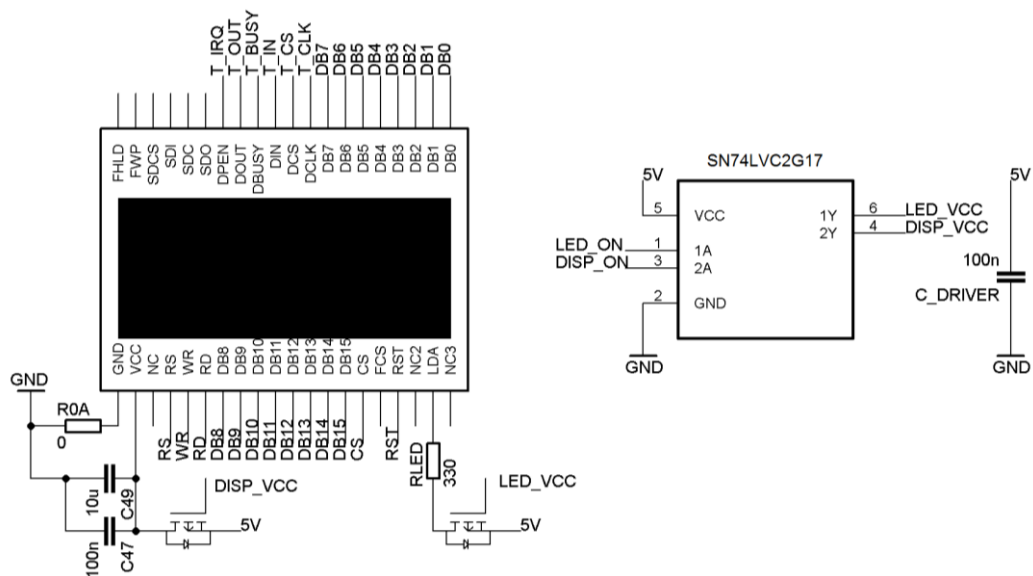
WR - zapiš data - musí být při potvrzení platných dat na úrovni log. 1

RD - přečti data - při čtení dat z řadiče musí být v úrovni

CS - chip select

RST - reset - aktivní v log. 0

Protože se jedná o dotykový displej, je nutno použít další vývody pro komunikaci s řadičem pro obsluhu dotyku. Jedná se o piny, které začínají na písmeno T. Vývod T_IRQ je v log.1, pokud se dotýkáme displeje. Při dotyku displeje se provede výpočet souřadnic dotyku. V průběhu tohoto výpočtu je vývod T_BUSY v log. 1. Ve chvíli, kdy je na vývodu T_BUSY úroveň log.0, je možné vyčíst souřadnice z řadiče. To je možné pomocí SPI rozhraní, lépe řečeno vývodů T_OUT, T_IN, T_CS, T_CLK.



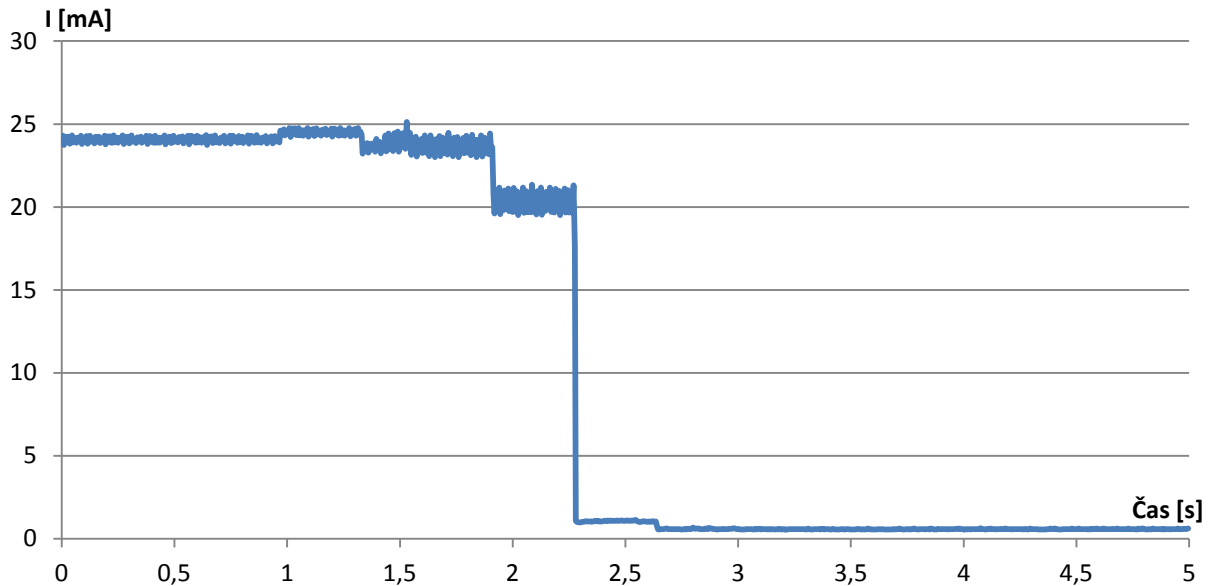
Obrázek 29. Zapojení displeje a Schmittova klopného obvodu

Řadič displeje je nutno napájet 5 V, avšak na plošném spoji se nachází LDO regulátor, který snižuje napětí na 3,3 V, na kterých komunikuje řadič displeje s mikrokontrolérem. Pro vypínání displeje nebo podsvícení jsou použity P-MOS tranzistory FDN432P, výhodou je větší proudová zatížitelnost a malé $R_{ds(on)}$ (při $U_{ds} = 5\text{ V}$ okolo 80 m Ω). Napětí U_{gs} tranzistorů je řízeno z výstupu Schmittova klopného obvodu SN74LVC2G17. Na vstup klopného obvodu je přivedeno napětí z vývodů mikrokontroléru. Tímto zapojením docílíme plného vypnutí tranzistoru, protože může dosáhnout napětí U_{gs} až napětí napájecímu. Do země byl přidán nulový odpor, a to z důvodu možnosti měření spotřeby zařízení.

3.5.6 Displej s řadičem IL254 - spotřeba

Největší pokles spotřeby je viditelný při vypnutí podsvícení displeje. Tento pokles je o 20 mA. Samotný řadič displeje má odběr okolo 4mA. Při používání se ukázalo, že displej nelze používat bez podsvícení. Bez podsvícení nelze na displeji téměř nic vidět i za velmi

dobrych svetelných podmínek. Tím bohužel degradujeme odběr celého zařízení. Možnost použít jiný druh displeje se ukázala jako nevhodná. Zkušenost s inkoustovými displeji je pozitivní, avšak problém nastává při snižování provozní teploty a rychlosti překreslování displeje.



Obrázek 30. Spotřeba grafického TFT displeje s radiem IL254

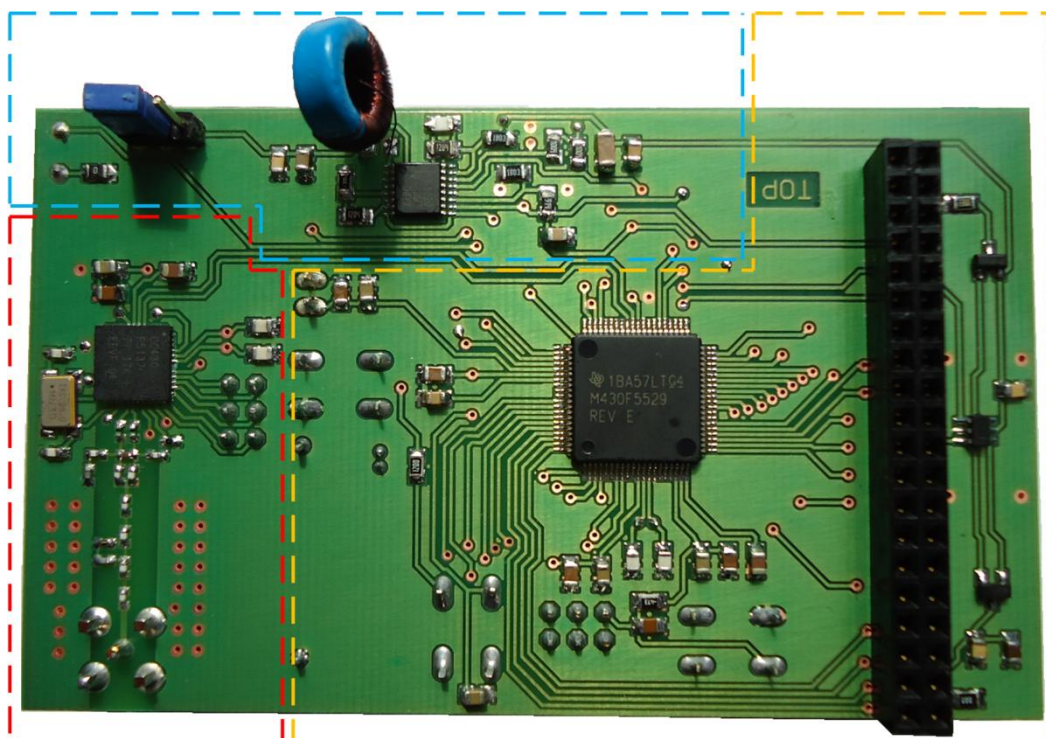
3.5.7 Oživení a celková spotřeba zařízení

Při oživování je výhodné dodržovat následný postup.

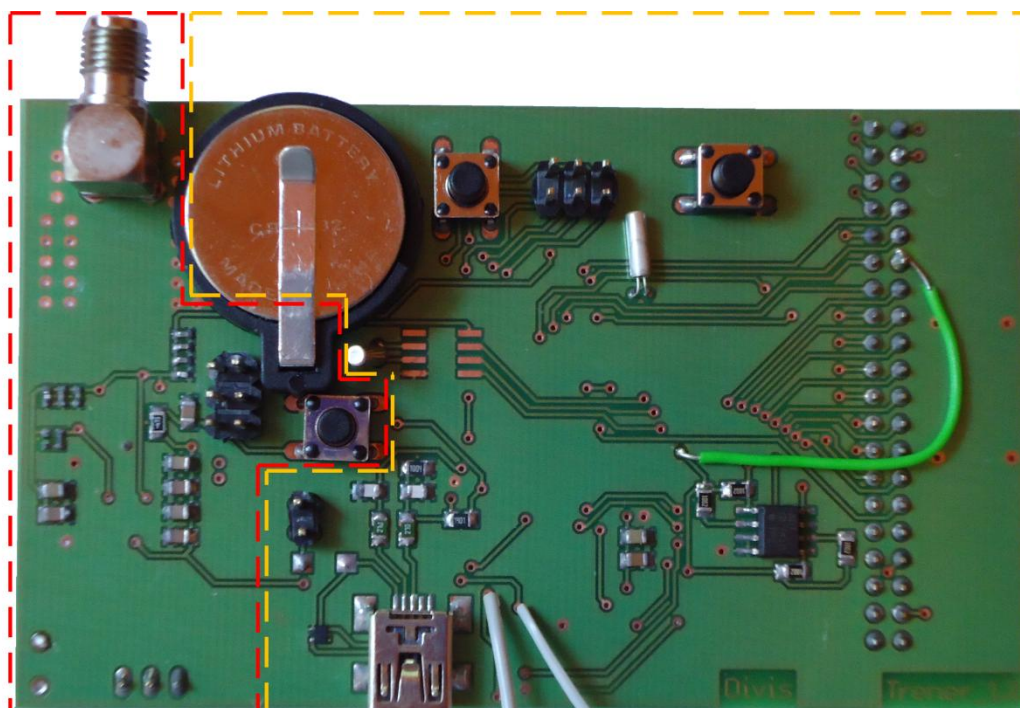
Jako první je vhodné zaletovat pasivní součástky **napájecího bloku**. Následně pak obvod TPS62110. Je doporučeno zkontrolovat zkraty na výstupech obvodu a také na vstupních konektorech. Jako zátěž stačí použít LED diody v sérii s odpory tak, aby výstupní proud nepřesáhl 20 mA. Těmito diodami zatížíme oba výstupy. Zvlnění na výstupu by nemělo překročit 50 mV.

Poté doporučuji zaletovat **řídící obvod MSP430F5529**, který je vidět v příloze C na listu 2. Zde je nutné ještě přiletovat oddělovací filtr analogového a digitálního napájení. Tento mikrokontrolér má 3 vývody pro napájení, které je nutné řádně přiletovat. Pro ozkoušení je na příloženém CD testovací program, který mění na výstupu P1.0 periodou 0,5 s logické úrovně. Dále je možné mikrokontrolér připojit k USB portu počítače. Při správném fungování obvodu by měl být zhlášen správcem zařízení nový hardware a začít instalování ovladače. V dalším kroku je možné dopájet patici pro grafický displej, spínací tranzistory a ostatní periférie jako ADT7410 a DS1302. Po tomto kroku je možné nahrát na mikrokontrolér kompletní verzi programu, a tak ozkoušet funkčnost periférií a displeje.

Na závěr doporučuji zapájet **vysílací blok** s filtry a pomocnými součástkami. Jeho funkčnost lze již poté snadno ozkoušet.



Obrázek 31. TOP vrstva osazeného, plošného spoje zařízení trenér



Obrázek 32. BOTTOM vrstva osazeného, plošného spoje zařízení trenér
Chybějící součástka je DS1302. Drátová propojka je nalezená chyba.

4. Softwarové řešení

Pro funkčnost zařízení je nutné napsat řídicí kód pro jednotlivé mikrokontroléry. V této práci byla dána přednost psaní programu v jazyce C++. Z několika hledisek se tento jazyk hodí více než jazyk C. Programy jsou v případě jazyku C++ poměrně rozsáhlé, např. program pro tachometr obsahuje 2 tisíce řádků kódu.

Nicméně tento jazyk nabízí mnoho výhod, které byly využity. U jazyka C++ můžeme využít vlastností vyšších jazyků, například definování `public` a `private` proměnných. Nevýhodou je naopak výtěžnost kódu, která nemůže být taková, jako když napíšete program v jazyku C nebo jazyku Asembler. Proto byl při implementaci FIR filtru kód napsán v jazyce C a upravován v Asembleru. Pokud chceme mít výsledný program v jazyce C++ bez nadbytečných funkcí, musíme mít v nastavení projektu zapnutý překladač určený pro MSP430.

V následujících odstavcích budou popsány programy pro jednotlivá zařízení. Protože se jedná o rozsáhlé kódy, nebudou zde popisovány knihovny pro komunikaci s digitálním teploměrem ADT7410 a obvodem reálného času RTC DS1302.

4.1 Program pro komunikaci s CC430

Při tvorbě programu bylo využito knihoven od firmy Texas Instruments. Jedná se o předdefinované funkce pro inicializaci a běh RF modulu. Programy byly prvotně napsány v jazyce C, ale některé byly přepsány do jazyka C++. Jedná se o:

RF.cpp - definice funkcí, inicializace proměnných

RF.h - hlavičkový soubor, v kterém jsou připojeny další knihovny

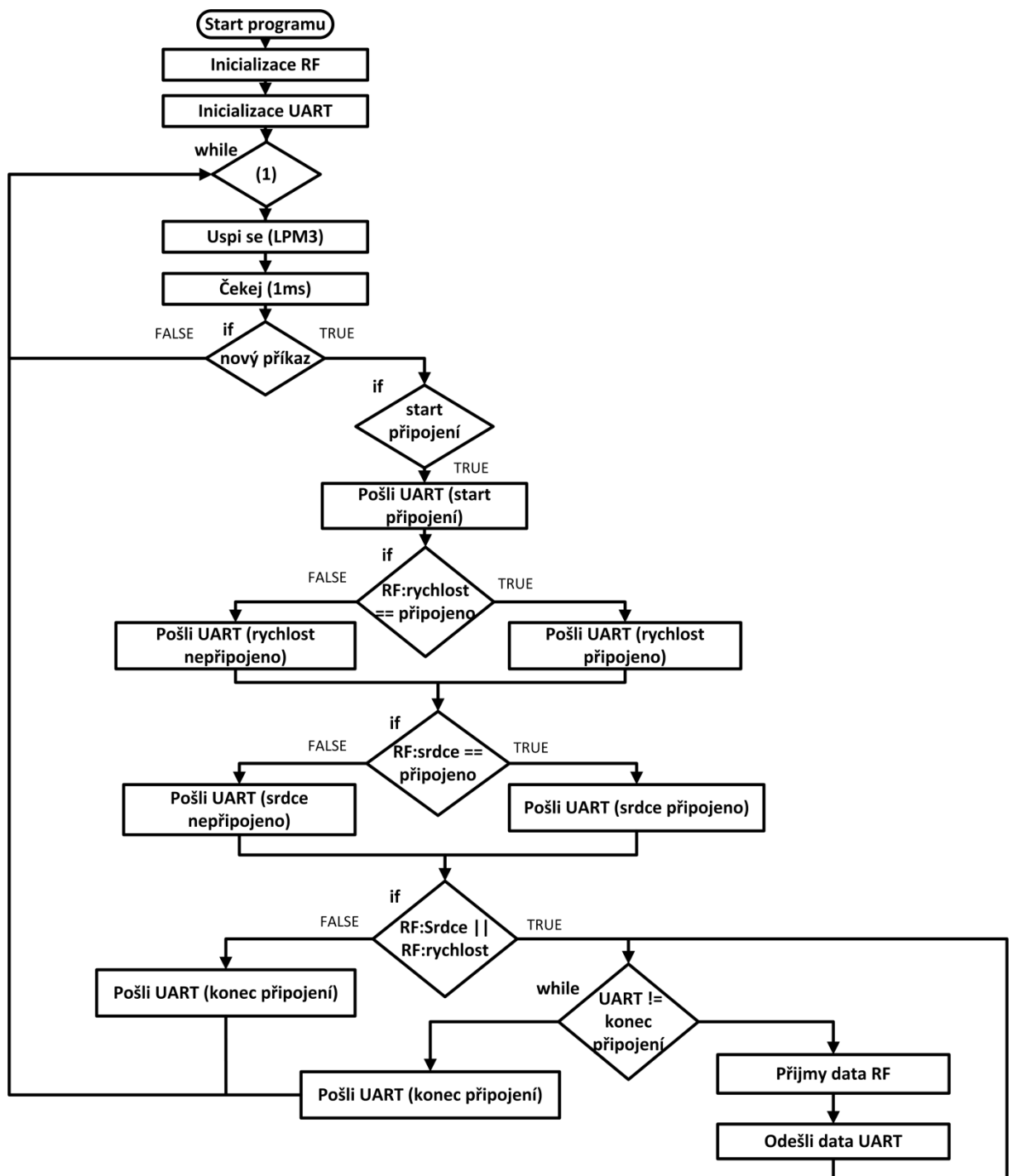
V tomto hlavičkovém souboru jsou definovány adresy stanic, s kterými má RF modul dovoleno komunikovat. V případě přijetí zprávy od cizí stanice, je zpráva ihned zahozena. Pro lepší přehlednost je zde vytvořen vývojový diagram.

RfRegSetting.c - zde je nutné nastavit na jaké frekvenci bude přenos probíhat, také na jakém kanálu, jak dlouhý bude přenášený packet, kolik synchronizačních bitů bude vysíláno a v neposlední řadě adresa zařízení

RF1A.c + .h - definice funkcí k nastavení RF jádra, zápisu hodnot do výstupního bufferu a čtení dat z vstupního bufferu

hal_UCS.c + .h - definice funkcí pro práci s hodinovým systémem mikrokontroléru a také definice funkcí pro inicializaci a kontrolu bloku fázového závěsu

hal_pmm.c + .h - funkce pro nastavení jádra mikrokontroléru



Obrázek 33. Vývojový diagram programu pro komunikaci s CC430

Z vývojového diagramu je vidět, že po inicializaci RF části a řadiče UART pro komunikaci s řídicím mikrokontrolérem MSP430F2410 se mikrokontrolér CC430 nastaví do úsporného režimu LPM3. Z tohoto režimu může být probuzen pouze prostřednictvím UART řadiče. Poté proběhne kontrola, zdali byl přijat nový příkaz a zdali se jedná o příkaz "Start připojení". Další průběh je již zřetelný z vývojového diagramu. Takto napsaná třída je univerzální a dá se při správné inicializaci použít v jakémkoli zařízení v naší práci.

Z praktického hlediska by byl lepší ale postup jiný. Protože bezdrátová část má největší odběr, bylo by vhodné naměřené hodnoty ukládat a po určitém čase je odeslat najednou. V tomto případě by se musely odesílat i časové záznamy. Další zlepšení spolehlivosti by mohlo být v metodě skenování síly signálu a následného odeslání dat. CC430 by se například za 1 sekundu probouzelo z LPM3 a navázalo by spojení. Pokud by získané údaje o síle signálu byly vyhodnoceny jako dostačující, data by byla odeslána. Problém by mohl nastat, pokud by úroveň signálu nebyla dlouhodobě dostačující a načtených dat by bylo příliš mnoho. Vše by šlo ale programově ošetřit tak, aby nedošlo k přetečení paměti a možné kolizi programu.

4.2 Program pro tachometr

Program pro mikrokontrolér MSP430F2410 je poměrně rozsáhlý, a tak by bylo vhodné ho popsat několika vývojovými diagramy. Nejdůležitější je však hlavní spouštěcí soubor main, a tak se zaměříme jen na jeho vývojový diagram. Nejdříve je však nutné popsat jednotlivé knihovny, které byly použity.

ADT7410.cpp + .h - obsahují inicializaci I²C portu, reset zařízení, zápis příkazu, zápis hodnoty (např. pro překročení max. teploty teploměr vyvolá přerušení), čtení hodnoty z teplotního registru, převod hodnoty z hexadecimálního čísla do typu s plovoucí řádovou čárkou a uspání zařízení

DS1302.cpp + .h - inicializace portu, reset zařízení, zápis hodnot do zařízení, čtení hodnot ze zařízení a převod hodnot z hexadecimálního čísla do formátu datum a název dne

PCD8544.cpp + .h - zde je mnoho funkcí od inicializace řadiče, vymazání displeje po vykreslení grafů, hodnot, číslic, písmen a celých slov

ASCIIchar.c - zde jsou uloženy v polích obrázky a také potřebné písmena, číslice a znaky

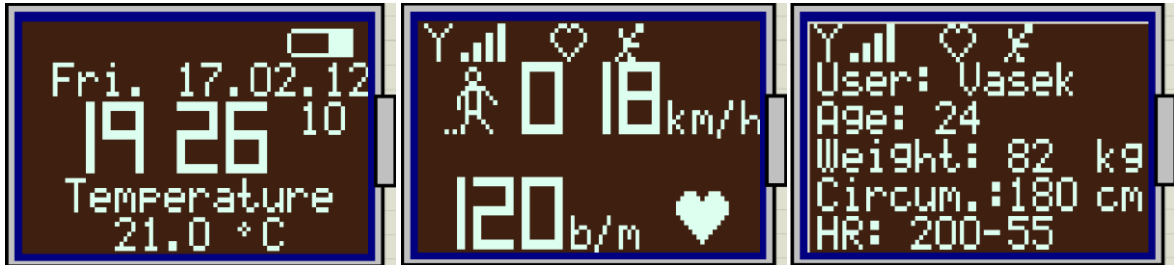
Buttons.cpp + .h - inicializace portu kde jsou připojeny tlačítka a zjištění zda-li bylo tlačítko zmáčknuto. Na tachometru je umístěno pět tlačítek.

Baterie.cpp + .h - inicializace AD převodníku a převod hodnoty ve formátu integer do unsigned char, která se předává dále k vykreslení

UART.cpp + .h - inicializace UART řadiče, posli byte, posli hodnoty, načti hodnoty, posli data srdečního tepu, posli data o rychlosti

USER.cpp + .h - zde jsou uloženy hodnoty o uživateli a také funkce pro výpočet a průměrování hodnot srdečního tepu, výpočet a průměrování hodnot rychlosti, výpočet denních údajů, totálních údajů a jsou zde tzv. sety a gety na hodnoty, které jsou privátní.

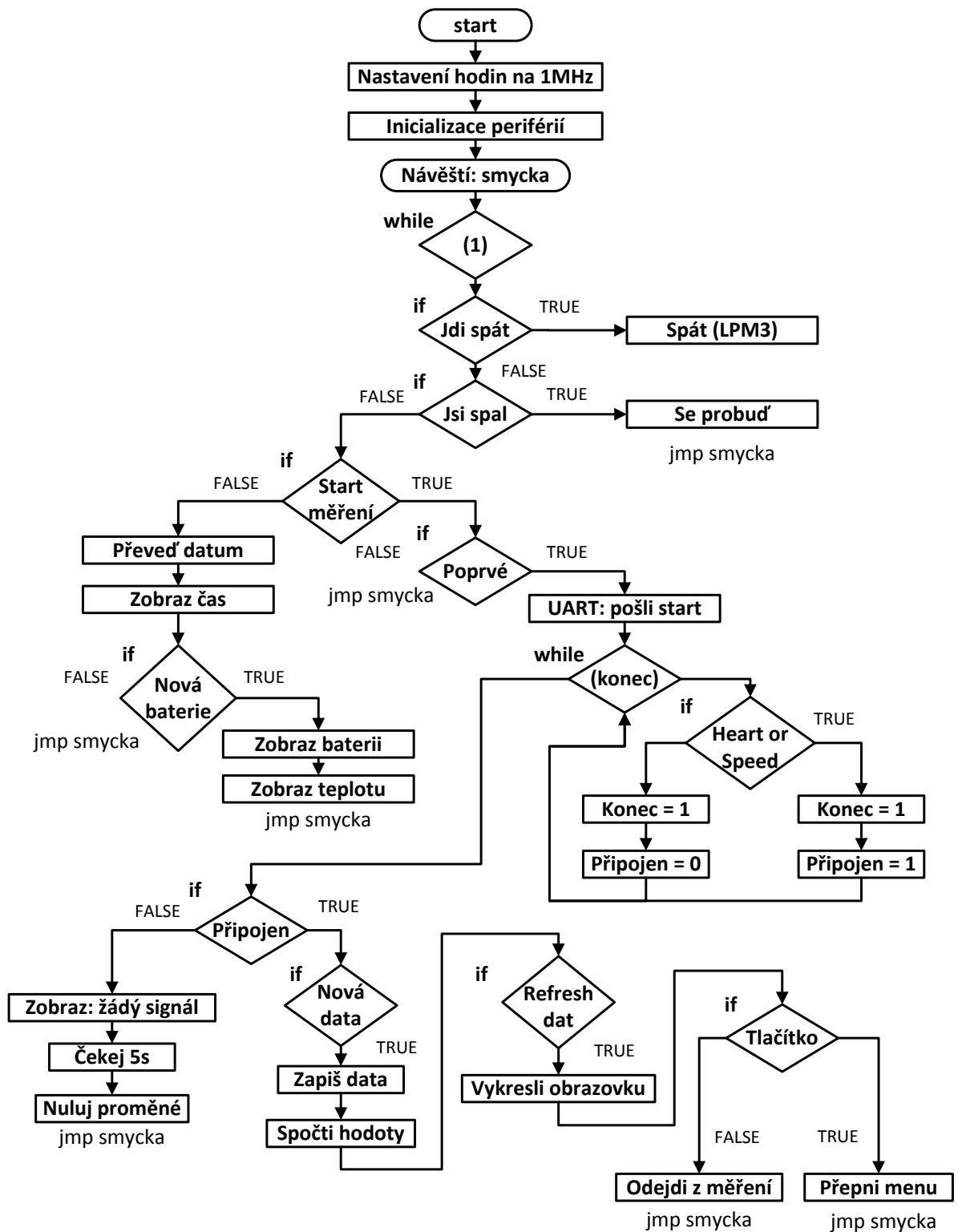
Pomocí těchto knihoven je možné komunikovat s ostatními periferiemi, ovládat zařízení, přijímat data a vykreslovat je na displej. Na obrázku č. 22. jsou vidět ukázky jednotlivých položek v menu.



Obrázek 34. a) úvodní obrazovka b) obrazovka s údaji o tepu a rychlosti c) obrazovka s údaji o uživateli

Pro snížení spotřeby jsou v prvotní inicializaci nastaveny vnitřní hodiny na 1MHz. Tento takt stačí na obsluhu všech periférií a vykreslování dat na obrazovku. Pokud není uživatel v menu měření, je po 20 vteřinách vypnut displej a všechny periférie (kromě RTC obvodu). Mikrokontrolér nastaví na výstupy všech bran úroveň log. 0, nastaví možnost přerušení od portu 1, vývodu 1 a přepne se do režimu LPM3.

Zde je vložen jen redukovaný vývojový diagram hlavního programu main.cpp.



Obrázek 35. Vývojový diagram programu main.c u projektu tachometr

4.3 Program pro zařízení trenér

Při tvorbě bylo nutné myslet na možnost komunikace až se 16 zařízeními. Z tohoto důvodu byla poupravena knihovna pro komunikaci pomocí CC430. Přibylo pole adres

komunikujících zařízení. Z komunikujících zařízení byla přeposlána data o uživateli. Trenér se poté může orientovat mezi sportovci podle jmen a nikoliv podle identifikačních čísel. Protože maximální počet sportovců může být jen 16, je při startu programu alokována paměť pro ukládání dat sportovců. Mohla by být využita metoda dynamické alokace paměti v průběhu připojování sportovců, ale v tomto případě je dána přednost metodě statické. Při odpojení sportovce jsou data smazána a nelze je přenést do počítače. Přenášení dat do počítače a ukládání je možné jenom v případě připojení zařízení pro trenéra k PC. V tomto případě jsou data načítána do položky záznam a je možné je exportovat do textové souboru.

Pro komunikaci s USB portem je výhodné použít napsané knihovny pro komunikaci s fyzickou vrstvou USB. Každé USB zařízení má vendor ID (VID) a product ID (PID). Počítač podle těchto identifikačních znaků rozezná připojené zařízení a zasocijuje je s příslušnou třídou USB zařízení. Dále si vytvoří tabulku jednotlivých zařízení připojených pomocí USB a sám je i indexuje. Pomocí těchto indexů poté může uživatel na straně PC komunikovat. Na straně mikrokontroléru je ovládání poměrně komplikované. Je zde využito předpřipravených knihoven od výrobce, které lze najít přiložené na CD. Jedna z těchto knihoven je i **usb.h** a **.c**, která se stará o veškerou komunikaci a nastavení rozhraní. Jsou zde definované jednotlivé událostní podprogramy a obsluhy přerušení.

Další knihovny budou stručně popsány nyní:

ITDB02.h + .cpp - zde je možné použít funkce pro inicializaci řadiče, který vykresluje na displej. Jsou zde definovány funkce pro vykreslení grafů, písmen a geometrických útvarů.

ITDB02_Touch.h + .cpp - jedná se o knihovnu pro komunikaci s řadičem, který komunikuje s dotykový senzorem. V první řadě je nutné řadič inicializovat a je možné si vybrat ze 3 různých citlivostí. S tím souvisí i následný výpočet souřadnic a délky přijatého slova.

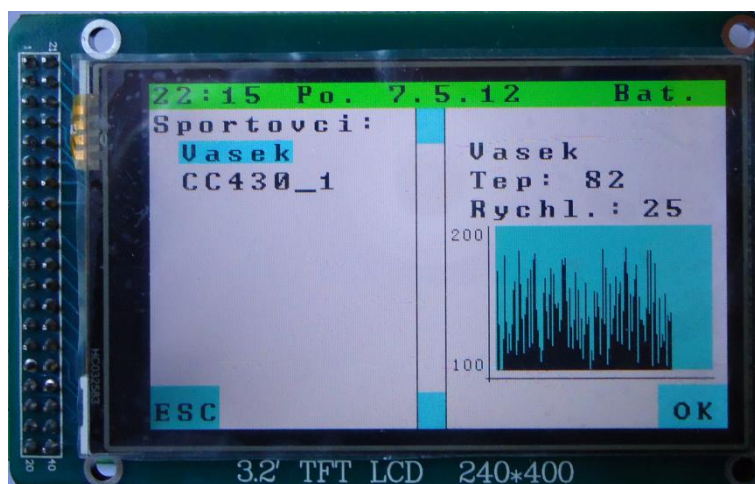
Fonts.c - pole hexadecimálních hodnot, které vyjadřují po vykreslení na displej písmena nebo číslice. Jsou zde definovány dva druhy znaků, velké (zabírají 32 bodů osy x) a malé (zabírají 12 bodů osy x).

USER.h + .cpp - zde jsou definovány všechny parametry o právě připojených uživateli. Je zde možné najít předdefinovaná pole parametrů jednotlivých sportovců. Najdeme zde funkce pro průměrování příchozích hodnot, počítání ujeté vzdálenosti, projetého času, tepové hranice a údaje o sportovci. Hodnoty jako ujetá vzdálenost, čas, tepové hranice a údaje o sportovci se po odpojení uživatele nesmažou.

UART.h + .cpp - knihovna je použita pro komunikaci s CC430.

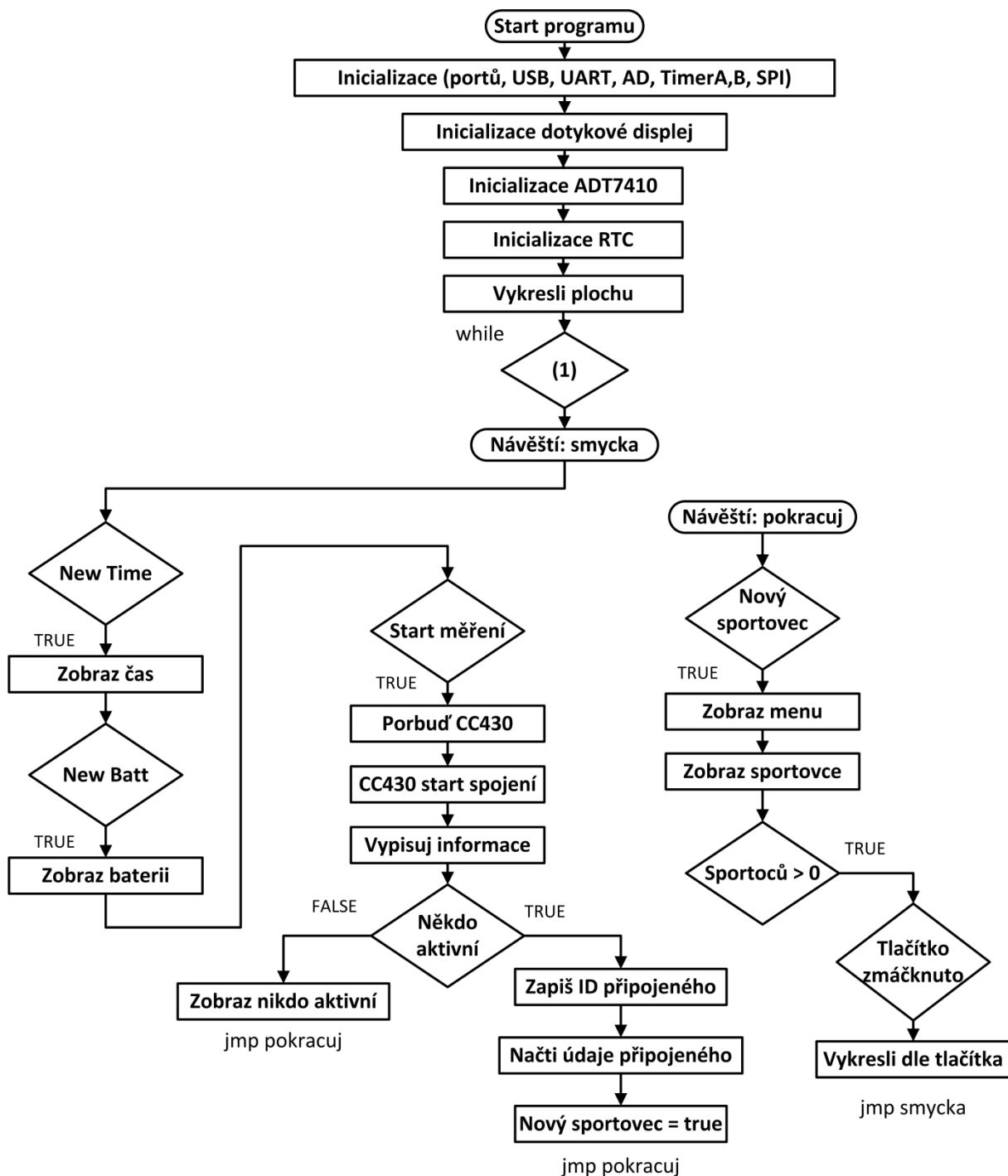
Dále byly použity stejné knihovny jako v předešlých případech pro komunikaci s RTC obvodem DS1302 (**DS1302.h** + **.cpp**) a digitálním teploměrem ADT7410 (**ADT7410.h** + **.cpp**).

Ve spouštěcím souboru main.c jsou definovány potřebné proměnné pro chod programu, přerušovací rutiny USB řadiče, čítače časovače a AD převodníku. V době odevzdání nebyl plně dopsán program pro komunikaci po USB. Z tohoto důvodu není ve vývojovém diagramu viditelný popis. Důležité je nastavení čítačů/časovačů a příkazů uvnitř přerušovací rutiny. Je doporučeno využívat pro komunikacemi s perifériemi integrovaných rozhraní. Takto nastavená komunikace je mnohem pohodlnější a rychlejší, než uživatelem napsaná funkce. V případě rutiny přerušování čítače/ časovače A a B je zapisování do proměnných, které povolují jednotlivé procesy v bloku main.c. Po vykonání procesu je proměnná nulována a celý cyklus může začít znovu.



Obrázek 36. Obrazovka s měřením a seznamem připojených sportovců

Hlavní program je naznačen na blokovém schématu. Pro přehlednost jsou zde naznačeny pouze splněné podmínky označené návěštím TRUE. V případě nesplnění podmínky program skočí na další rozhodování. V některých případech bylo nutné, z hlediska principu, nesplněnou podmínku uvést.



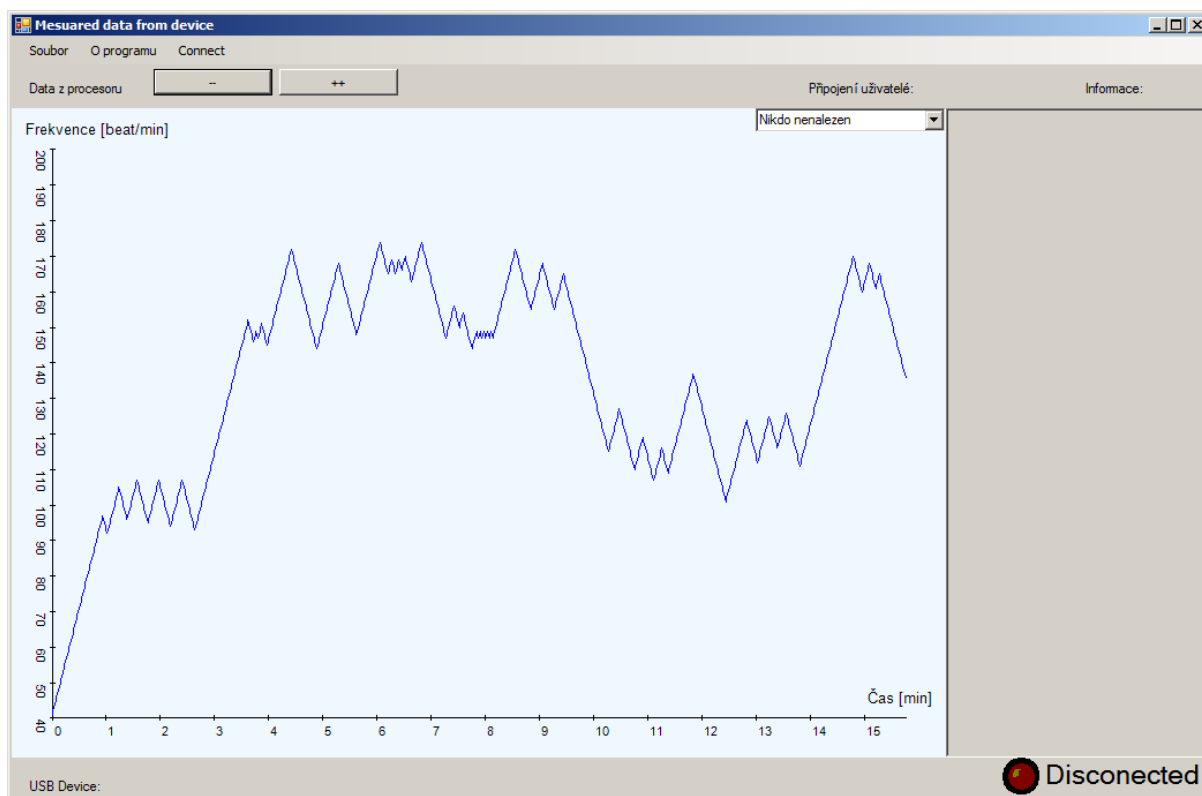
Obrázek 37. Zjednodušený vývojový diagram procesu main u zařízení trenér

4.4 Program pro PC

Program z důvodu časové tísně nebyl v době odevzdání plně dodělán a ozkoušen. Program byl psán v prostředí Microsoft Visual studio 2010 v jazyce .NET. Jak již bylo zmíněno, pro toto prostředí vyvinula firma Texas Instruments knihovnu API funkcí ke komunikaci s USB zařízením. Použité API funkce vyžadují nainstalování balíčku ovladačů

Windows Driver Kit (WDK). Tyto balíčky jsou lehce dohledatelné na stránkách firmy Microsoft Windows.

Po grafické stránce byl program navržen dle obrázku 34. Je zde menu pro ovládání, načítání uložených dat, ukládání načtených data, výběru připojeného zařízení a navázání komunikace se zařízením. Pro vykreslování dat byla využita třída `class System.Windows.Forms.UserControl`, kde lze definovat prázdný ovládací prvek, který lze použít k vytvoření dalších ovládacích prvků. V tomto objektu jsou vykreslovány pomocí předdefinovaných funkcí jednotlivé body v závislosti na čase. Hodnoty které jsou vykreslovány se ukládají do položky záznam. Na obrázku je vidět verze při odevzdání diplomové práce. Jsou zde vidět vykreslena testovací data, která byla uložena v textovém dokumentu.



Obrázek 38. Obrazovka ovládacího programu pro počítač

Další popis neodpovídá reálné situaci, ale je pouhou domněnkou pro započtou tvorbu. Po připojení zařízení trenér k počítači pomocí USB portu je automaticky detekováno zařízení a pomocí tlačítka start data transfer je zahájen přenos dat. Dále je možné automaticky ovládat zařízení trenér pomocí počítače. Je možné sledovat reálné hodnoty sportovců, nebo si stáhnout uložená interní data a uložit je na pevný disk počítače.

5. Závěr

V této části kapitoly budou zhodnoceny dosažené výsledky experimentální realizace, které byly naměřeny, nebo zjištěny praktickou realizací.

Všechny body zadání byly splněny. První bod zadání byl popsán v úvodu. Z uvedených metod měření byly principiálně použitelné dvě. Akustická metoda a elektrická metoda. Při měření a testování zapojení se ukázaly obě metody použitelné v praxi, ale jen metoda elektrická je vhodná pro účel této práce. Akustická metoda by při použití digitální filtrace dat a následného zesílení mohla sloužit jako elektrický stetoskop.

Pro bezdrátový přenos muselo být zvoleno frekvenční pásmo a modul pro přenos dat. Modulů s možností bezdrátového přenosu je v dnešní době mnoho. Zkušenosti s mikrokontroléry MSP430 a jejich nízký odběr se již dříve ukázaly jako vhodná volba. Proto byly využity kontroléry řady CC430, u kterých se jedná o sloučení MSP430 jádra a vysílacího prvku C1101. Protože se uživatel nemusí starat o vnitřní komunikaci mezi jádrem kontroléru a vysílací částí byla vhodnost použití namístě. Jako většina novějších čipů i tento je možné zakoupit pouze v pouzdře QFN. Tento fakt znepríjemňuje uživateli letování. Ostatních problémů se dá vyvarovat řádným přečtením aplikačních poznámek výrobce a dodržení doporučeného zapojení.

Pro reálnou konstrukci zařízení pro měření tepu byla vybrána metoda elektrická. Na trhu je těchto zařízení mnoho. Jedna z nejlepších firem, která tyto takzvané sportestry vyrábí, je firma Polar. Jejich bezdrátový přenos je kódovaný a jejich pásy, se alespoň dříve, mohly kombinovat. Výrobce tvrdí, že výdrž pásu by měla být nejméně rok bez výměny baterie. Tento fakt byl vyvrácen vlastní zkušeností s pásem. Lze říci, že při téměř denním používání se baterie musí vyměnit již po půl roce. Pro dosažení co nejmenší spotřeby je nutno v této práci pozměnit algoritmus bezdrátové komunikace. Návrh změny byl popsán v programovém vybavení pro zařízení tachometr.

Z hlediska spotřeby pouze měřící části si myslím, že bylo dosaženo velmi kvalitních výsledků. S použitím digitálního potenciometru je toto zařízení i adaptabilní vůči intenzitě signálu. Obrázek dynamické spotřeby měřící části nemá žádný vypovídající údaj, a proto nebyl do práce umístěn. Z grafického vyjádření byla ale určena průměrná hodnota spotřeby, a to pro dvě napájecí napětí. S výsledkem 85 μA při napájecím napětí 2,1 V můžeme být spokojeni. Snížením napětí na hodnotu 2,1 V se dosáhne i menší spotřeby vysílací části.

Při návrhu desky plošných spojů nebylo myšleno na uchycení zařízení na těle sportovce. Při takovémto návrhu by bylo vhodnější plošný spoj o malou část zmenšit a přidat montážní otvory pro uchycení.

V zadání není přímo udána tvorba tachometru, nebo hodinek pro příjem naměřených hodnot, ale po konzultaci bylo takové zařízení navrženo a zkonstruováno. Jedná se o mezičlánek mezi měřicími zařízeními a zařízením trenéra. V tomto případě se naměřená data nejdříve ukládají na tomto tachometru a v případě zapnutí trenérského zařízení se přepošlou. Uživatel tak může vidět svá data a podle nich se zachovat. Spotřeba takového zařízení je v aktivním módu (bez vysílání) 440uA. Při použití baterie CR2032 s kapacitou 250mAh je předpokládána výdrž 568 hodin. Ale protože se zařízení automaticky uvede do režimu LPM3 po 20 vteřinách nepoužívání, můžeme očekávat mnohem větší délku výdrže.

U zařízení pro trenéra muselo být myšleno na přehledné menu a přenositelnost zařízení. Proto byl použit dotykový displej a napájení z baterie přes DC/DC měnič. Takovéto zařízení nebylo zatím na trhu nalezeno. Přitom většina trenérů potřebuje vidět hodnoty svěřenců mnohem více než sportovci samotní. V tomto případě nejde jen o aktuální velikost srdečního tepu ale o výpočet a vizualizaci aerobního a anaerobního prahu. Z těchto hodnot lze odvozovat forma sportovce. O aktuální formě sportovce například vypovídá klidová tepová frekvence, která se měří několik dní za sebou po probuzení, nebo před spánkem. K tomu abychom mohli vzorce pro výpočet implementovat potřebujeme znát několik údajů:

Maximální srdeční frekvence (SF max.): 220 – věk

Klidová srdeční frekvence (SF klid): ráno po probuzení, před tím než vstaneme z postele si změříme tepovou frekvenci. Nejlépe palpační metodou na zápěstí, popřípadě na krční tepně. Měříme počet tepů za jednu minutu. Pro vyrovnání případných výkyvů, měříme tři dny za sebou a uděláme průměr. Rychlejší metoda je pomocí hrudního pásu. (Dovalil, 2002)

Vzorec pro výpočet:

$$\mathbf{Aerobní\ práh} = SF_{max} - SF_{klid} \cdot (0.6) + SF_{klid} [\text{tepů za minutu}] \quad (5.1)$$

$$\mathbf{Anaerobní\ práh} = SF_{max} - SF_{klid} \cdot (0.9) + SF_{klid} [\text{tepů za minutu}] \quad (5.2)$$

Tyto vzorce byly implementovány do zařízení a trenér může z těchto hodnot vyvozovat závěr.

Důležitým údajem pro reálné použití je také maximální dosah komunikace mezi zařízením pro trenéry a tachometrem. Tento údaj byl experimentálně změřen na poli ve výšce jednoho metru nad zemí. Jedná se o komunikaci tachometr - trenér, kdy při zesílení 0 dBm bylo dosaženo vzdálenosti 89 metrů. Při teoretickém uvažování vycházela hodnota 169 metrů. Tato odchylka mohla být způsobena nepřesností výpočtu (neuvažoval se útlum prostředí a

možné odrazy) a také připojením antény u tachometru. Avšak při zvýšení zisku vysílače na hodnotu 10 dBm nám začínalo být pole malé. Vzdálenost na které jsme přestali měřit byla okolo 160 metrů. Při testování pohybu zařízení se chybovost přenosu nezvětšovala. Hodnota nad 100 metrů se dala považovat za úspěch a naměřené hodnoty byly více než pozitivní.

Horších parametrů bylo dosaženo při měření spotřeby zařízení. Největší podíl na tom má spotřeba dotykového displeje, která vyšplhala s podsvícením na 25 mA. Vzhledem k této poměrně velké spotřebě se na grafech dynamické spotřeby neprojevovalo načítání hodnot z teploměru a RTC obvodu. Proto zde byl uveden pouze graf dynamické spotřeby displeje. Maximální hodnoty odběru se můžeme dočkat při zapnutém displeji a zapnuté bezdrátové komunikace. V tomto případě lze naměřit až 34 mA (průměrně však 29 mA). Při použití Ni - Mh baterií s kapacitou 2600 mAh je tedy možné dosáhnout výdrže 89 hodin. Protože trenér musí hodnoty svých svěřenců neustále kontrolovat, nepředpokládá se častější vypínání displeje. Je však ale možné nechat zařízení měřit a vypnout podsvícení. Tímto bychom dosáhli spotřeby okolo 9 mA a výdrže až 288 hodin. Při vývoji byl použit 3,2" displej namísto 2,8" z důvodu reklamace displeje.

Při simulaci více připojených zařízení byl použit modul EM-CC430F5137-900, který je možné zakoupit na stránkách výrobce. Tento modul využívá stejných mikrokontrolérů a je možné k němu připojit prutové antény pomocí SMA konektoru.

Protože větší část času byla kladena na vývoj měřících zařízení a programování bezdrátového přenosu, nebyl plně odladěn program pro komunikaci s počítačem přes USB port. Předpřipravená verze programu je v příloze na CD.

Obrázky desek plošných spojů zde nejsou vloženy. V příloze na CD je možné najít kompletní projekty v programu EAGLE. Důvod proč zde nejsou nafoceny je, že v průběhu osazování a testování první verze desek bylo zjištěno několik nesrovnalostí s návrhem. Tyto nesrovnalosti byly opraveny a předělány v projektech.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Katalogové listy firmy Texas Instruments, <http://www.ti.com/>
- [2] Katalogové listy firmy Analog devices, <http://www.analog.com/en/index.html>
- [3] Katalogové listy firmy Maxim Integrated Products, <http://www.maxim-ic.com/>
- [4] Katalogové listy firmy iTeaStudio, <http://iteadstudio.com/>
- [5] Katalogové listy firmy TXC, <http://www.txc.com.tw/>

- [6] BORSKÁ, Lenka: EKG desatero, Brno : MSD, 2010, ISBN 9788073921224
- [7] A designer's guide to instrumentation amplifiers 3RD Edition, Charles Kitchin a Lew Counts, 2006, http://www.analog.com/static/imported-files/design_handbooks/5812756674312778737Complete_In_Amp.pdf
- [8] Jednodimenzionální nelineární digitální filtry, Doc. Ing. Milan Štok
- [9] SLAA357 - Efficient MSP430 Code Synthesis for an FIR Filter, Kripasagar Venkat, 2007, <http://www.ti.com/lit/an/slaa357/slaa357.pdf>
- [10] Katalogový list firmy Allegro - A3213 and A3214, May 7, 2012, <http://www.allegromicro.com/Products/Magnetic-Digital-Position-Sensor-ICs/Micropower-Switches-Latches/A3213-4.aspx>
- [11] ČSN ETSI EN 302 208-2 V1.3.1- Elektromagnetická kompatibilita a rádiové spektrum (ERM)- Vysokofrekvenční identifikační zařízení pracující v pásmu 865MHz až 868MHz s úrovněmi výkonu do 2W, Český normalizační institut, Praha 2010
- [12] Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/09.2010-11 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu, Český telekomunikační úřad, Praha 2010
- [13] Application Note AN058- Antenna Selection Guide, Richard Wallace, SWRA161B, 2010-10-05, <http://www.ti.com/lit/an/swra161b/swra161b.pdf>
- [14] RF Link Budget Calculator, AFAR Communications, Květen 2012, <http://www.afar.net/rf-link-budget-calculator/>
- [15] Free-space path loss, From Wikipedia, the free encyclopedia, 17. března 2012, http://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss
- [16] MSP430™ USB HID Windows API Programmer's Guide, William Goh, Keith Quiring, Leden 2011 <http://www.ti.com/general/docs/lit/getliterature.tsp?literatureNumber=slaa453&fileType=pdf>

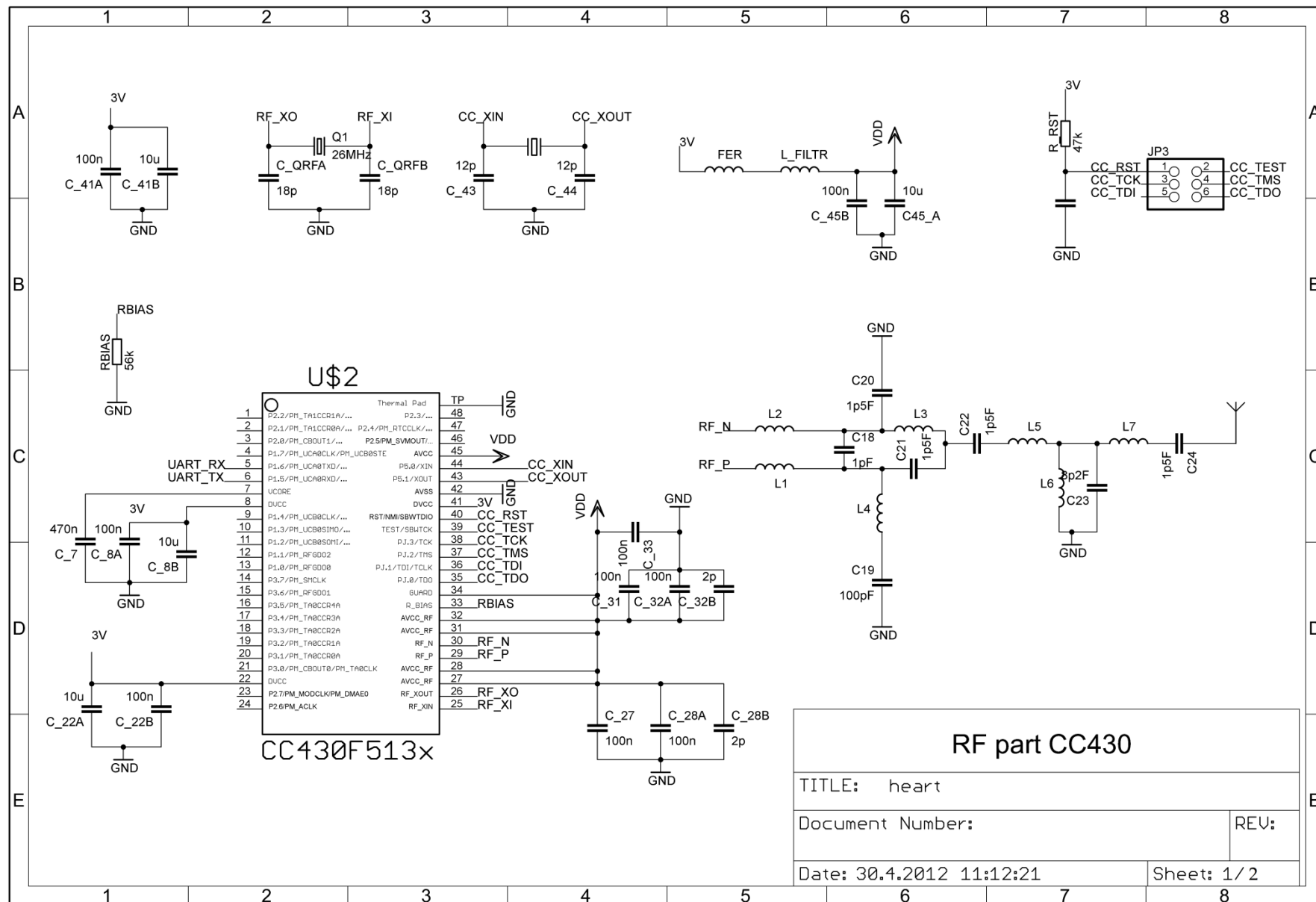
- [17] Knihovna .NET Framework 4, společnost Microsoft, květen 2012,
<http://msdn.microsoft.com/cs-cz/library/system.windows.forms.usercontrol.aspx>
- [18] ITDB02-2.4 display with Arduino, ITEAD Studio, 6. května, 2010,
<http://iteadstudio.com/application-note/itdb02-2-4-display-with-arduino/>
- [19] 2.8" TFT Color LCD 240x320 pixel, Gravitech, květen 2012,
<http://www.gravitech.us/2tftcolcd240.html>
- [20] Josef Dovalil a kolektiv: Výkon a trénink ve sportu, Praha 2002, Olympia, ISBN 80-7033-760-5

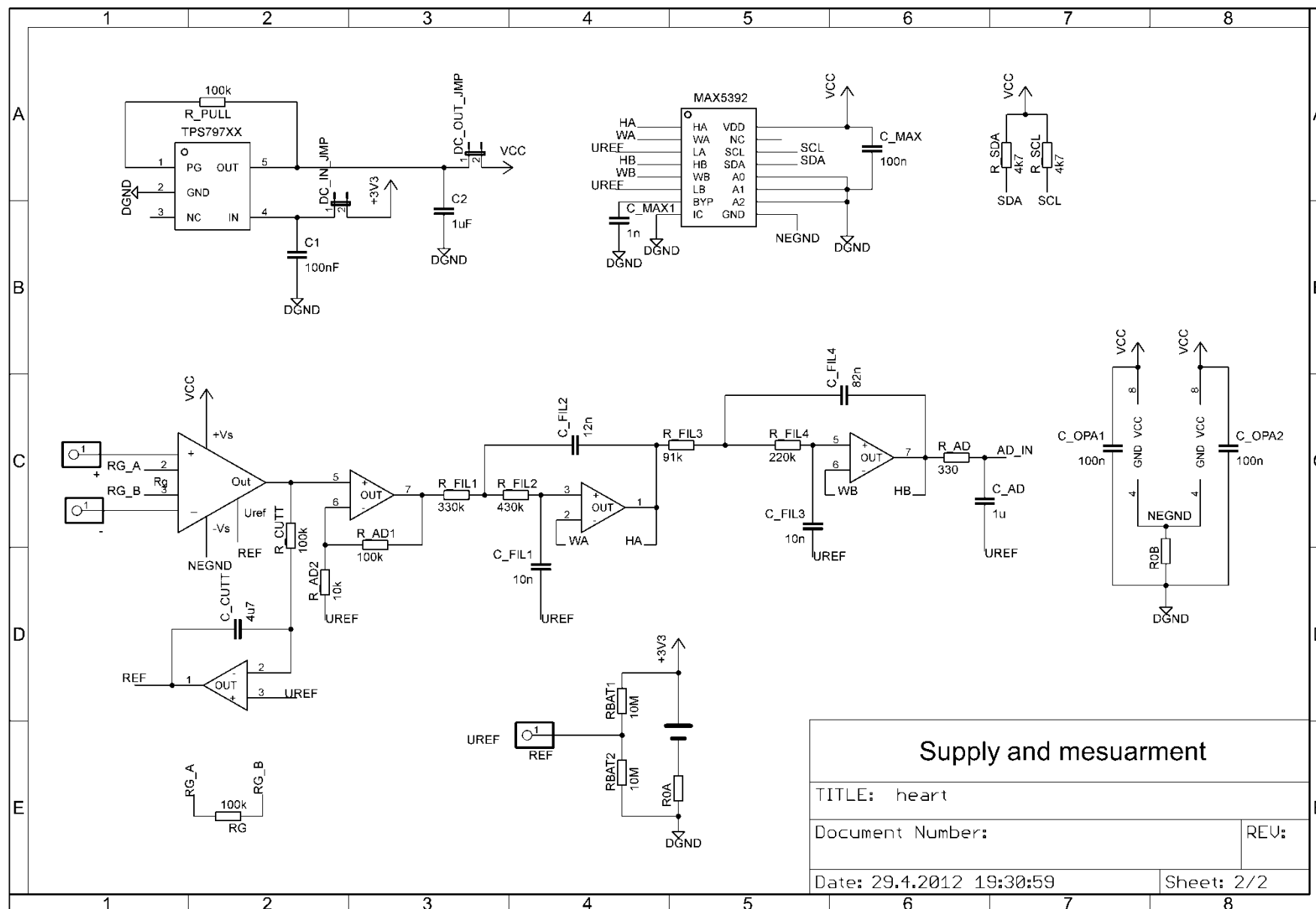
Přílohy

Příloha A - seznam součástek zařízení měření tepu a celkové schéma

Part	Value	Package	Sheet	Poznámka
AD8326	AD8236	MSOP8	2	
C1	100nF	C0805	2	
C2	1uF	C0805	2	
C8	1p5	C0402K	1	
C9	1pF	C0402K	1	
C10	1p5	C0402K	1	
C10_CRYSTAL25	27p	C0603	1	hodnota záleží na použitém krystalu
C11	100pF	C0402K	1	
C12	1p5	C0402K	1	
C13	8p2	C0402K	1	
C14	1p5	C0402K	1	
C18_CRYSTAL_26	27p	C0603	1	hodnota záleží na použitém krystalu
C_7	470n	C0805	1	
C_8A	100n	C0805	1	umístit co nejbliže DVcc CC430 (8)
C_8B	10u	C0805	1	umístit co nejbliže DVcc CC430 (8)
C_22A	100n	C0805	1	
C_22B	10u	C0805	1	
C_27	100n	C0402	1	
C_28A	2p	C0402	1	
C_28B	100n	C0402	1	
C_31	100n	C0402	1	
C_32A	2p	C0402	1	
C_32B	100n	C0402	1	
C_33	100n	C0402	1	
C_43	12p	C0805	1	
C_44	12p	C0805	1	
C_45A	100n	C0805	1	umístit co nejbliže AVcc CC430 (45)
C_45B	10u	C0805	1	umístit co nejbliže AVcc CC430 (45)
C_AD	1u	C0805	2	
C_CUTT	4u7	C0805	2	
C_FIL1	10n	C0805	2	
C_FIL2	12n	C0805	2	
C_FIL3	10n	C0805	2	
C_FIL4	82n	C0805	2	
C_MAX	100n	C0805	2	umístit co nejbliže Vcc MAX5392

C_MAX1	1n	C0805	2	
C_OPA1	100n	C0805	2	umístit co nejbliže Vcc OPA1
C_OPA2	100n	C0805	2	umístit co nejbliže Vcc OPA2
C_RST	100n	C0805	1	
DC_IN_JMP		JP1	2	
DC_OUT_JMP		JP1	2	
FER	L0402	C0402	1	
JP3	JTAG	2X04	1	
L	L0402	C0402	1	
L1	12nH	C0402K	1	
L2	12nH	C0402K	1	
L3	18nH	C0402K	1	
L4	18nH	C0402K	1	
L5	15nH	C0402K	1	
L6	15nH	C0402K	1	
L7	2n2H	C0402K	1	
OPA1	OPA2369	MSOP8	2	
OPA2	OPA2369	MSOP8	2	
Q1		CTS406	1	
ROA		R0805	2	
ROB		R0805	2	
RBAT1, RBAT2	10M	R0805	2	
REF		1X01	2	
RG	100k	R0805	2	
R_33	56k	R0402	1	
R_AD	330	R0805	2	
R_AD1	100k	R0805	2	
R_AD2	10k	R0805	2	
R_CUTT	100k	R0805	2	
R_FIL1	330k	R0805	2	
R_FIL2	430k	R0805	2	
R_FIL3	91k	R0805	2	
R_FIL4	220k	R0805	2	
R_PULL	100k	R0805	2	
R_RST	47k	R0805	1	
R_SCL	4k7	R0805	2	
R_SDA	4k7	R0805	2	
U\$1	ANTENNE	0868AT43A0020	1	
U\$2	CC430F5137	RGZ48	1	
U\$3	CRYSTAL	CRYSTAL	1	
U\$7	BAT_2032	BAT_2032	2	baterie CR2032 250mAh
U\$10	TPS79723	SC70-5L	2	
U\$11	MAX5392	TSSOP16	2	

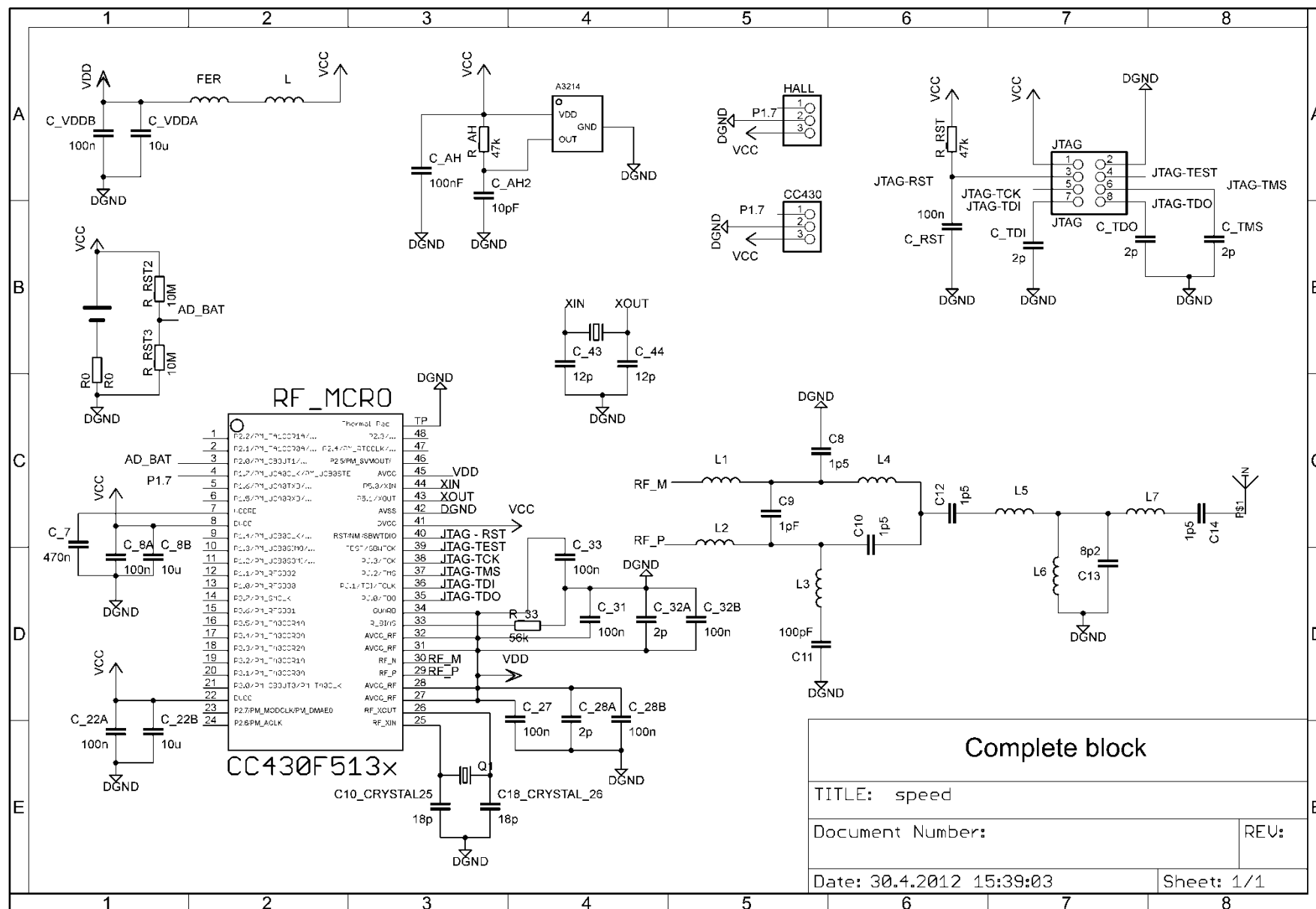




Příloha B - seznam součástek zařízení měření rychlosti a celkové schéma

Part	Value	Package	Sheet	Poznámky
C8,10,12,14	1p5	C0402K	1	4x anténí filtr
C9	1pF	C0402K	1	
C_25,C_26	18p	C0603	1	
C11	100pF	C0402K	1	
C13	8p2	C0402K	1	
CC430		1X03	1	
CR2032	BAT_2032	BAT_2032	1	
C_7	470n	C0805	1	
C_8A	100n	C0805	1	
C_8B	10u	C0805	1	
C_22A	100n	C0805	1	
C_22B	10u	C0805	1	
C_27	100n	C0402	1	
C_28A	2p	C0402	1	
C_28B	100n	C0402	1	
C_31	100n	C0402	1	
C_32A	2p	C0402	1	
C_32B	100n	C0402	1	
C_33	100n	C0402	1	
C_43	12p	C0805	1	
C_44	12p	C0805	1	
C_AH	100nF	C0805	1	
C_AH2	10pF	C0805	1	
C_RST	100n	C0805	1	
C_TDI	2p	C0805	1	
C_TDO	2p	C0805	1	
C_TMS	2p	C0805	1	
C_VDDA	10u	C0805	1	
C_VDDB	100n	C0805	1	
FER	FER	C0402	1	
HALL		1X03	1	
JTAG	JTAG	2X04	1	
L	6n2H	C0402	1	
L1	12nH	C0402	1	
L2	12nH	C0402	1	
L3	18nH	C0402	1	
L4	18nH	C0402	1	
L5	15nH	C0402	1	

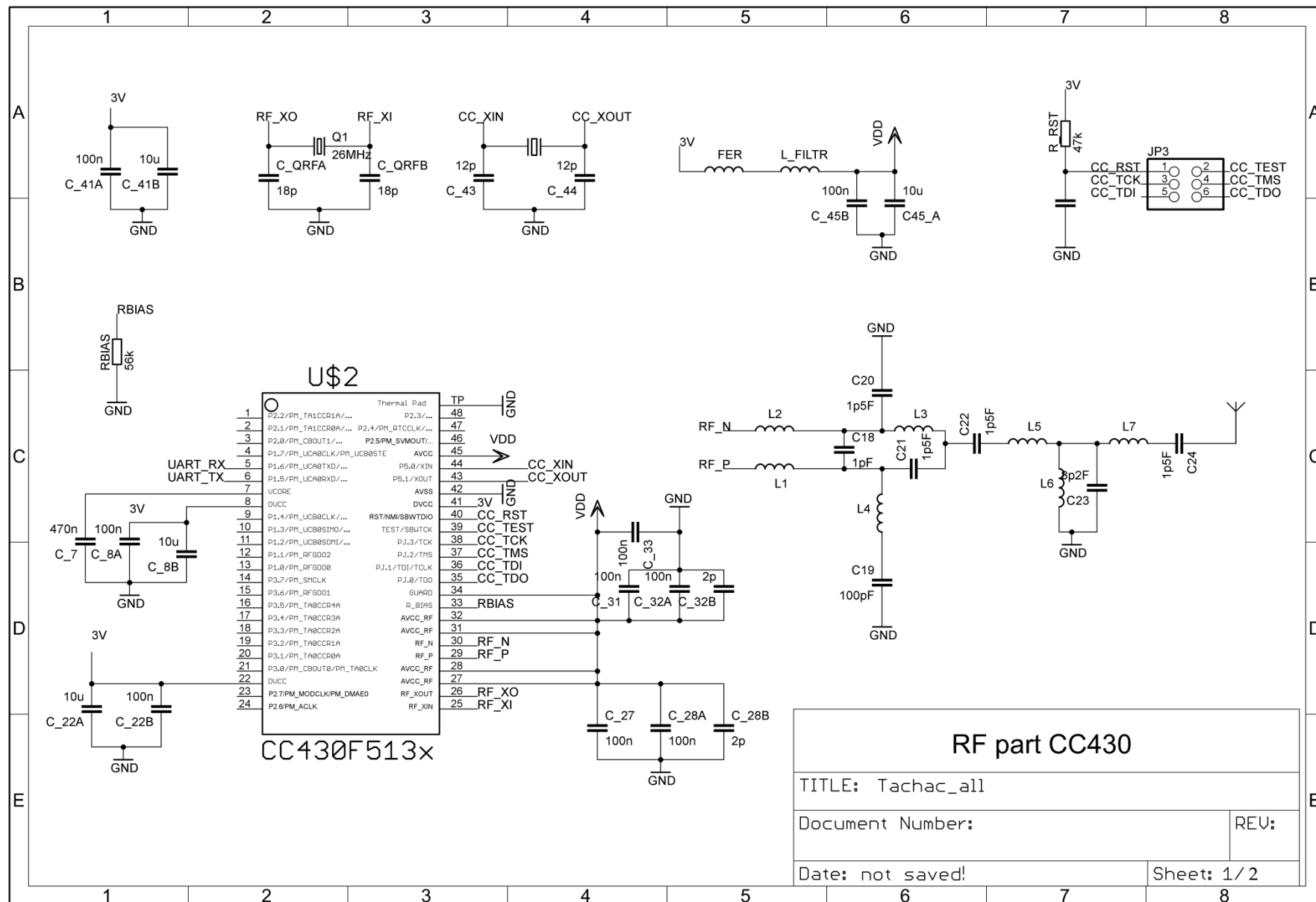
L6	2n2H	C0402	1	
L7	15nH	C0402	1	
Q1		CTS406	1	
Q2	CRYSTAL	CRYSTAL	1	
R0	R0	R0805	1	
RF_MCRO	CC430F5135	RGZ48	1	
R_33	56k	R0402	1	
R_AH	47k	R0805	1	
R_RST	47k	R0805	1	
R_RST2	10M	R0805	1	
R_RST3	10M	R0805	1	
U\$1	ANTENNE	ANTENNE	1	
U\$4	AH314-HALL	SOT23-W	1	

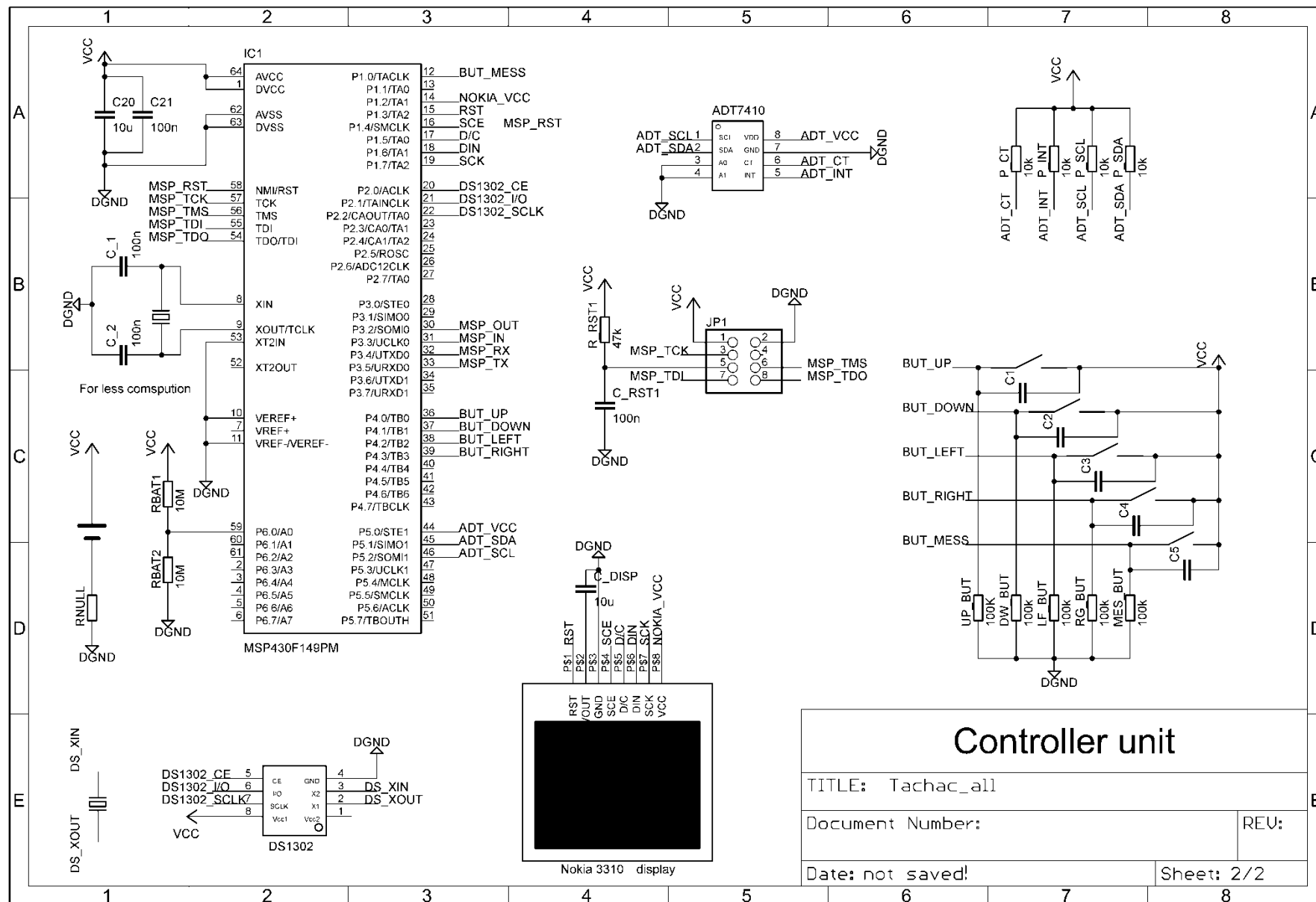


Příloha C - seznam součástek zařízení tachometr a celkové schéma

Part	Value	Package	Sheet	Poznámka
ADT7410	ADT7410	SOIC8	2	
C1		C0805	2	
C2		C0805	2	
C3		C0805	2	
C4		C0805	2	
C5		C0805	2	
C8	1p5	C0402K	1	
C9	1pF	C0402K	1	
C10	1p5	C0402K	1	
C11	100pF	C0402K	1	
C12	1p5	C0402K	1	
C13	8p2	C0402K	1	
C14	1p5	C0402K	1	
C20	10u	C0805	2	
C21	100n	C0805	2	
CC430F137	CC430F5137	RGZ48	1	
C_1	100n	C0805	2	
C_2	100n	C0805	2	
C_7	470n	C0805	1	
C_8A	100n	C0805	1	
C_8B	10u	C0805	1	
C_22A	100n	C0805	1	
C_22B	10u	C0805	1	
C_27	100n	C0402	1	
C_28A	2p	C0402	1	
C_28B	100n	C0402	1	
C_31	100n	C0402	1	
C_32A	2p	C0402	1	
C_32B	100n	C0402	1	
C_33	100n	C0402	1	
C_43	12p	C0805	1	
C_44	12p	C0805	1	
C_45A	100n	C0805	1	
C_45B	10u	C0805	1	
C_DISP	10u	C0805	2	
C_QRFA	18p	C0603	1	
C_QRFB	18p	C0603	1	
C_RST	100n	C0805	1	

C_RST1	100n	C0805	2
DISPLAY	NOKIA3310	NOKIA3310	2
DOWN	BUTTON	BUTTON	2
DS1302	DS1302	SO8	2
DW_BUT	100k	R0805	2
FER	L0402	C0402	1
IC1	MSP430F2410	S-PQFP64-G64	2
JP1		2X04	2
JP3	JTAG	2X04	1
L	L0402	C0402	1
L1	12nH	C0402K	1
L2	12nH	C0402K	1
L3	18nH	C0402K	1
L4	18nH	C0402K	1
L5	15nH	C0402K	1
L6	15nH	C0402K	1
L7	2n2H	C0402K	1
LEFT	BUTTON	BUTTON	2
LF_BUT	100k	R0805	2
MESS	BUTTON	BUTTON	2
MES_BUT	100k	R0805	2
P_CT	10k	R0805	2
P_INT	10k	R0805	2
P_SCL	10k	R0805	2
P_SDA	10k	R0805	2
Q1		CTS406	1
RBAT1	10M	R0805	2
RBAT2	10M	R0805	2
RG_BUT	100k	R0805	2
RIGHT	BUTTON	BUTTON	2
RNULL		R0805	2
R_BIAS	56k	R0402	1
R_RST	47k	R0805	1
R_RST1	47k	R0805	2
U\$2	BAT_2032	BAT_2032	2
U\$3	CRYSTAL	CRYSTAL	1
U\$7	CRYSTAL	CRYSTAL	2
U\$8	CRYSTAL	CRYSTAL	2
UP	BUTTON	BUTTON	2
UP_BUT	100K	R0805	2





Controller unit

TITLE: Tachac_all

Document Number: _____ REV: _____

Date: not saved! Sheet: 2/2

Příloha D - seznam součástek zařízení pro trenéra a celkové schéma

Part	Value	Package	Sheet	Komentář
C1,7,10,12,15,16,25,26,28,29	100n	C0805	2	
C2	10p	C0805	2	
C3,8,9,11,36,37,40,43,44,49	10u	C0805	2	
C4	100u	C0805	2	
C5	2u2	C0805	2	
C6	2u2	C0805	2	
C31,35,38,41,42,46,47,41A	100n	C0805	1	
C13,14	470n	C0805	1	
C17	18p	C0603	1	
C18	1pF	C0402	1	
C19	100pF	C0402	1	
C20,21,22,24	1p5F	C0402	1	
C23	8p2F	C0402	1	
C27, C30	2p	C0402	1	
C32	18p	C0603	1	
C33, C34	10p	C0805	3	
C39	220n	C0805	3	
C43	4u7	C0805	3	
CR_MSP	32k768 Hz	CRYSTAL	3	
C_DRIVER	100n	C0805	2	
C_XIN	12p	C0805	1	
C_XIN1	12p	C0805	3	
C_XOUT	12p	C0805	1	
C_XOUT1	12p	C0805	3	
D1	GF1	SMA-DO214AC	3	
FERIT	L0402	C0402	1	
GND		1X01	2	
JP2		JP1	3	
JP3		2X03	1	
JP4		2X03	3	
L	6n2H	C0402	1	
L1	12nH	C0402	1	
L2	12nH	C0402	1	
L3	18nH	C0402	1	
L4	18nH	C0402	1	
L5	15nH	C0402	1	
L6	2n2H	C0402	1	
L7	15nH	C0402	1	

L_STEP	22uH	R0805	2	
Q1	26MHz	CTS406	1	
Q2	32k768 Hz	CRYSTAL	1	
Q3	32k768 Hz	CRYSTAL	2	
R0A	0	R0805	2	
R0B	0	R0805	2	
R1	1M2	R0805	2	
R2	390k	R0805	2	
R3	1M5	R0805	2	
R4	180k	R0805	2	
R5	900k	R0805	2	
R6	180k	R0805	2	
R7	1M	R0805	2	
R8	24	R0805	3	
R9	1M	R0805	2	
R10	47k	R0805	1	
R11	24	R0805	3	
R12	47k	R0805	3	
R13	1k4	R0805	3	
R14	1M	R0805	3	
R15	100	R0805	3	
R16,17,18,19	10k	R0805	2	
RBIAS	56k	R0402	1	
RLED	330	R0805	2	
S1		9077-1	2	
S2		B3F-10XX	1	
S3		B3F-10XX	3	
S4		B3F-10XX	3	
T_DIS	FDN342P	SOT23	2	
T_LED	FDN342P	SOT23	2	
U\$1	TPS61120PW	TSSOP16	2	
U\$2	CC430F513X	RGZ48	1	
U\$3	F552X	PN80	3	
U\$4	TPD2E001	SOT-533	3	
U\$7	2.8_DISP	DISP	2	
U\$8	ADT7410	SOIC8	2	
U\$21	DS1302	SO8	2	
U\$22	BAT_2032	BAT_2032	2	
U1	SN74LVC2G17DBVR	SOT95P280X145	2	
VCC		1X01	2	
X1	MINI-USB_SHIELD		3	
X2	BU-SMA-G	BU-SMA-G	1	

