ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009 **Tomáš Markovič**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ELEKTRONICKÉ ZAŘÍZENÍ „PUNČOCHA“

THE ELECTRONIC EQUIPMENT “PUNČOCHA”

Vedoucí práce

Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Autor

Tomáš Markovič

Praha 2009

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Tomáš Markovič**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (bakalářský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: **Elektronické zařízení "PUNČOCHA"**

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte a realizujte elektronické zařízení, které by v pravidelných intervalech nafukovalo a vyfukovalo manžetu o objemu cca 200ml, která bude umístěna na noze (na lýtku).
2. Elektronické zařízení bude umístěno v krabičce Ergo Case od firmy OKATEC, mělo by umožňovat volbu několika rychlostí nafukování a vyfukování manžety, pomocí přepínače volbu množství nafouknutého vzduchu, mělo by signalizovat stav akumulátorů. Součástí tohoto elektronického zařízení by měla být nabíječka akumulátorů a USB konektor pro připojení externího adaptéru nebo pro připojení k Notebooku.
3. Minimalizujte cenové náklady a navrhněte co nejjednodušší řešení z hlediska finální kompletace celého zařízení.
4. Vypracujte návod k použití (v českém a anglickém jazyce) k realizovanému elektronickému zařízení.

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2009/10

L.S.

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 27. 2. 2009

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Hlinovskému, Ph.D., za cenné rady a podporu při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině za všeobecnou podporu, která také umožnila vznik této práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne ……. …….

Anotace

Tato práce se zabývá návrhem a realizací elektronického zařízení pro prevenci vzniku krevních sraženin v dolních končetinách. Ty vznikají při dlouhé nehybnosti nohou, například při upoutání na lůžku, letu v letadle nebo cestě v autobuse. Zařízení bude nafukováním a vyfukováním manžety na lýtku nohy podporovat proudění krve v dolních končetinách a tím minimalizuje možnost vzniku krevních sraženin.

Annotation

This thesis deals with the design and construction of an electronic device which will be used as prevention from creation blood clots in legs. These blood clots are formed by a long immovability, i.e. confinement to bed, travelling by plane or by bus. The device will be supporting blood circulation by compressing and decompressing a cuff around the calf. By this will be minimized the creation of blood clots.

Obsah

Seznam obrázků ..... **VI**

Seznam tabulek ..... **VII**

1 Úvod **1**

2 Rozbor problému a výběr součástek **2**

2.1 Požadavky na zařízení 2

2.2 Volba použitých součástek 2

3 Analýza a návrh řešení **5**

3.1 Nafukování manžety 5

3.2 Vyfukování manžety 6

3.3 Měření tlaku v manžetě 7

3.3.1 Senzor tlaku SPD005G 7

3.3.2 Podpůrný obvod pro senzory UTI03 8

3.4 Řídicí obvod 11

3.4.1 Mikrokontrolér ATtiny2313V 12

3.5 Napájecí zdroj 13

3.5.1 Princip Step-up měniče 13

3.5.2 Step-up měnič L6920 14

3.6 Nabíječka akumulátorů 15

4 Realizace **17**

4.1 Použité hardwarové a softwarové prostředky 17

4.2 Realizace hardwarové části 18

4.2.1 Měřicí obvod 19

4.2.2 Řídicí obvod 20

4.2.3 Napájecí zdroj 22

4.2.4 Nabíječka akumulátorů 23

4.3 Obslužný program mikrokontroléru 25

4.3.1 Nafukování manžety 27

4.3.2 Vyfukování manžety 28

4.3.3 Měření tlaku ... 30
4.4 Plošný spoj ... 31

5 Testování a konstrukce ... 33
5.1 Zapojení ... 33
5.2 Konstrukce ... 34
5.3 Provoz zařízení ... 35
5.4 Nabíječka akumulátorů ... 36

6 Závěr ... 37

7 Zdroje ... 38
7.1 Literatura ... 38
7.2 Software ... 38

A Obsah přiloženého CD ... 40

B Příloha – Návod k použití (CZ) ... 41

C Příloha – Návod k použití (EN) ... 45

D Příloha – Celkové schéma zapojení ... 49

Seznam obrázků

Obrázek 3.1: Pohled na senzor SPD005G a jeho vnitřní zapojení 8
Obrázek 3.2: Způsoby připojení senzoru k UTI03 v módu 9 9
Obrázek 3.3: Blokové schéma UTI03 10
Obrázek 3.4: Příklad výstupního signálu UTI03 10
Obrázek 3.5: Princip step-up měniče 14
Obrázek 3.6: Blokové schéma L6920 14
Obrázek 4.1: Vývojová deska SDK2313 pro mikrokontrolér ATtiny2313 18
Obrázek 4.2: Blokové schéma obvodu 18
Obrázek 4.3: UTI03 19
Obrázek 4.4: Zapojení pro měření tlaku 20
Obrázek 4.5: ATtiny2313V 20
Obrázek 4.6: Zapojení řídicího obvodu 21
Obrázek 4.7: L6920 22
Obrázek 4.8: Zapojení napájecího zdroje 22
Obrázek 4.9: Zapojení nabíječky akumulátorů 23
Obrázek 4.10: Převodní charakteristika termistoru K164NK010 24
Obrázek 4.11: Vývojový diagram obslužného programu 26
Obrázek 4.12: Vývojový diagram pro nafukování manžety 28
Obrázek 4.13: Vývojový diagram pro vyfukování manžety 29
Obrázek 4.14: Vývojový diagram pro měření tlaku 30
Obrázek 4.15: Navržený plošný spoj; a) Strana součástek; b) Strana spojů 32
Obrázek 4.16: Osazený plošný spoj; a) Strana součástek; b) Strana spojů 32
Obrázek 5.1: Úpravy plošného spoje 33
Obrázek 5.2: Upravená krabička; a) Pohled zvenku; b) Vnitřní úpravy 34
Obrázek 5.3: Pohled na vnitřek osazené krabičky 35
Obrázek 5.4: Průběh teploty na akumulátoru během nabíjení 36

Seznam tabulek

Tabulka 3.1: Seznam použitých komponent 5
Tabulka 3.2: Parametry pumpy CMP17B 6
Tabulka 3.3: Parametry ventilu S070C-RAG-32 7
Tabulka 3.4: Parametry senzoru SPD005G 7
Tabulka 3.5: Parametry obvodu UTI03 8
Tabulka 3.6: Módy UTI03 pro senzory typu odporového můstku 9
Tabulka 3.7: Potřebný počet vývodů mikrokontroléru 12
Tabulka 5.1: Porovnání časů nafukování 35
Tabulka 5.2: Porovnání časů vyfukování 35

1 Úvod

Cílem této práce je navrhnout a realizovat elektronické zařízení, které bude v pravidelných intervalech nafukovat a vyfukovat manžetu, umístěnou na lýtku nohy. Tím by se mělo předcházet vzniku krevních sraženin, které mohou vznikat při dlouhodobé nehybnosti dolních končetin. Vznik sraženin v krevním oběhu může mít velmi vážné následky na zdraví člověka, a proto bude toto zařízení koncipováno pro mobilní použití například při dlouhých cestách v letadle, či autobuse. Bude umístěno v malé krabičce, která se vejde do kapsy, s výstupem pro připojení manžety. Napájeno bude dvěma akumulátory velikosti AAA a bude obsahovat integrovanou USB nabíječku, přes kterou je možné zařízení dobíjet například z notebooku, pokud není dostupná síťová zásuvka. Pomocí několika přepínačů si bude uživatel schopen přizpůsobit rychlost nafukování a tlak v manžetě svým požadavkům.

2 Rozbor problému a výběr součástek

2.1 Požadavky na zařízení

Seznam požadavků, které by mělo zařízení splňovat, byl vytvořen ze zadání této práce a rozšířen o skutečnosti, které vyplynuly během návrhu řešení a vytváření prototypu zařízení.

- umístění do krabičky Ergo Case (maximální rozměr plošného spoje 61 × 56 mm)
- napájení pomocí dvou akumulátorů typu AAA
- použití step-up měniče pro zvýšení napájecího napětí
- nabíjení akumulátorů přes USB z PC nebo s použitím externího adaptéru
- nafukování manžety tlakovou pumpou
- regulace rychlosti nafukování
- měření tlaku v manžetě
- vyfukování manžety elektromagneticky řízeným ventilem
- řízení pomocí mikrokontroléru
- dvě diody pro indikaci provozu a stavu akumulátorů
- tři přepínače pro ovládání
- minimální cenové náklady
- jednoduché řešení z hlediska finální kompletace

2.2 Volba použitých součástek

Vzhledem k rozměru krabičky a maximální velikosti DPS je nutné navrhnout co nejjednodušší zapojení s nutným minimem součástek, aby bylo možné vložit akumulátory, tlakovou pumpu a upouštěcí ventil. Musí tomu být přizpůsobena volba součástek, a proto budou všechny pasivní součástky a integrované obvody v SMD[1] provedení (pokud to bude možné).

[1] Součástky pro povrchovou montáž (Surface Mount Device)

Výběr součástek a jednotlivých komponent probíhal podle následujících kritérií, která vyplynula ze zadání této práce:

- napájecí napětí a proudová spotřeba
- rozměr
- vhodné pouzdro
- cena
- dostupnost a trhu
- předchozí zkušenosti

Krabička má pouzdro pouze na dva akumulátory typu AAA, čemuž musí být provoz celého zařízení přizpůsoben. Jelikož je jeden z požadavků v zadání integrovaná nabíječka akumulátorů, předpokládá se použití dvou nabíjecích článků (NiMH či NiCd) namísto klasických alkalických baterií. Napětí jednoho článku je běžně 1.2 V a při sériovém spojení obou článků získáme napětí 2.4 V. Vzhledem k tomu, že toto napětí není pro všechny obvody dostatečně velké a při vybíjení akumulátorů postupně klesá, je potřeba použít napájecí zdroj typu step-up, který napětí zvýší na požadovanou hodnotu a bude ho udržovat. Hodnota napájecího napětí byla zvolena 3.3 V. Toto napětí je dostačující pro většinu integrovaných obvodů a tím by nemělo omezit jejich volbu. U ostatních komponent, použitých pro nafukování a vyfukování manžety, již toto napětí částečně omezující je, ale přesto lze nalézt vhodné typy. Důležitá je také celková minimální spotřeba zařízení.

Pro napájecí zdroj byl vybrán step-up měnič L6920 od firmy STMicroelectronics. Tento obvod dokáže pracovat až do hodnoty vstupního napětí 0.6 V a jeho výstupní napětí lze nastavit libovolně v rozmezí (2 – 5.2) V. Omezení výstupního proudu je 1 A. Pro řízení celého obvodu byl zvolen nízkopříkonový 8bitový mikrokontrolér Atmel AVR ATtiny2313V v pouzdru SOIC. Tento obvod byl zvolen z důvodů předchozích zkušeností s architekturou AVR[1], jinak je možné použít téměř jakýkoliv mikrokontrolér disponující potřebnými periferiemi. Tlak v manžetě je vytvářen tlakovou pumpou CMP17B od firmy Alldoo Micropump, která dokáže vytvořit tlak 0.7 bar. Aby bylo možné nastavit požadovaný tlak v manžetě, měl být použit manometrický senzor tlaku SPD015G od firmy SMARTEC, který měří tlak v rozsahu (0 – 1) bar. Po praktických testech bylo ovšem zjištěno, že přípustná hodnota tlaku v manžetě zdaleka nedosáhne maximální hodnoty tlaku pumpy 0.7 bar. Proto

[1] Označení pro rodinu 8bitových RISC mikrokontrolérů od firmy Atmel

byl pro zvýšení citlivosti měření vybrán senzor SPD005G, který je stejného typu, ale s menším rozsahem, do 0.35 bar. Jako převodník mezi senzorem a mikrokontrolérem byl podle dokumentace k senzoru [5] použit podpůrný obvod pro senzory UTI03, rovněž od firmy SMARTEC. Pro upouštění tlaku z manžety byl vybrán miniaturní elektromagnetický ventil S070C-RAG-32 od firmy SMC Industrial Automation. Nabíječka akumulátorů byla, z důvodu úspory místa na plošném spoji, vyřešena jako jednoduchý obvod z běžných součástek.

3 Analýza a návrh řešení

V následujících podkapitolách jsou rozepsány možnosti, jakými lze řešit jednotlivé činnosti zařízení. Pro tyto činnosti jsou vybrány konkrétní komponenty, u kterých jsou detailně popsány vlastnosti a uvedeny specifikace. V tabulce 3.1 je uveden seznam použitých komponent důležitých k realizaci celého zařízení.

Činnost	**Komponenta**
Nafukování manžety	Tlaková pumpa CMP17B
Vyfukování manžety	Ventil S070C-RAG-32
Měření tlaku v manžetě	Senzor tlaku SPD005G
Zpracování údajů z tlakového senzoru	Podpůrný obvod UTI03
Řídicí obvod	Mikrokontrolér ATtiny2313V
Napájecí zdroj	Step-up měnič L6920
Nabíječka akumulátorů	Zapojení z běžných součástek

Tabulka 3.1: Seznam použitých komponent

3.1 Nafukování manžety

Možností, jak nafukovat manžetu na požadovaný tlak, příliš mnoho není. Musí se použít kompresor, v našem případě tlaková nebo-li vakuová pumpa. Protože finální zařízení nebude dosahovat příliš velkých rozměrů, je nutno zvolit pumpu dostatečně malou. Pro volbu z několika rychlostí nafukování, musí mít pumpa odpovídající průtok vzduchu. Další požadavek je, aby pumpa dokázala vyprodukovat tlak alespoň 0.3 bar. V neposlední řadě je také důležité napájecí napětí okolo 3 V a co nejmenší spotřeba (vzhledem k akumulátorovému provozu).

Podle výše uvedených požadavků bylo vybráno několik výrobců, z toho nejzajímavější nabídku (i s ohledem na cenu) měla firma Alldoo Micropump a firma Schwarzer. Vybrána byla pumpa CMP17B od firmy Alldoo Micropump. V tabulce 3.2 jsou uvedeny její parametry.

Pumpa obsahuje jeden vstup pro sání vzduchu a jeden výstup pro výfuk vzduchu. Dle zapojení lze vytvořit tlak nebo vakuum. V principu se jedná o jednopístovou pumpu poháněnou stejnosměrným motorkem. Pohybem pístu nahoru se nasaje vzduch na vstupu pro sání a pohybem pístu dolů se vzduch vyfoukne na výstupu pro výfuk. Při praktických testech bylo ovšem zjištěno, že po natlakování manžety a vypnuté pumpě, dochází zřejmě přes píst v pumpě k malému úniku tlaku. Je tedy nutné buď na vstup pro sání umístit zpětný ventil, který tak úniku tlaku zabrání a zároveň umožní nafukování, nebo kontrolovat případný pokles tlaku programově a manžetu při poklesu tlaku dofukovat.

Parametr	**Hodnota**
Průtok vzduchu	0.5 l/min
Maximální tlak	0.7 bar
Maximální vakuum	–0.4 bar
Napájecí napětí	3 V
Maximální proud	150 mA

Tabulka 3.2: Parametry pumpy CMP17B

3.2 Vyfukování manžety

Vyfukování manžety může být realizováno několika způsoby. Nejjednodušší je změnit polaritu napájecího napětí tlakové pumpy, která by díky tomu odčerpávala vzduch z manžety. To však umí jen některé pumpy a námi použitá to z principu činnosti neumožňuje. Je tedy nutné použít elektromagnetický ventil. Tyto ventily fungují jednak jako proporcionální (lze nastavit velikost otevření ventilu), nebo jako klasické pouze s funkcí „otevřít / zavřít“. Vzhledem k tomu, že proporcionální ventily jsou větších rozměrů a vyšší cenové kategorie, nehodí se pro tuto aplikaci. Ideální je tedy použít klasický miniaturní elektromagnetický ventil.

Ačkoli se podobné ventily používají například v lékařských tonometrech, nejsou běžně dostupné. Omezujícím faktorem, kromě velikosti, je také napájecí napětí 3 V. Jediná firma, kterou se podařilo nalézt, a která podobné ventily vyrábí, je SMC Industrial Automation. Jako vhodný byl vybrán miniaturní elektromagneticky ovládaný (solenoidový) ventil z řady S070, konkrétně S070C-RAG-32. Parametry tohoto ventilu jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Parametr	Hodnota
Maximální tlak	1 bar
Napájecí napětí	(0 – 3) V
Maximální proud	115 mA

Tabulka 3.3: Parametry ventilu S070C-RAG-32

3.3 Měření tlaku v manžetě

Existuje několik druhů tlaků:

- Absolutní – tlak vztažený k nulové hodnotě tlaku (vakuu).
- Atmosférický – tlak v okolí, opět vztažený k nulové hodnotě tlaku.
- Manometrický – tlak jiného prostředí vztažený k atmosférickému tlaku.

V naší aplikaci budeme měřit tlak uvnitř manžety, takže v úvahu připadá měření absolutního nebo manometrického tlaku.

3.3.1 Senzor tlaku SPD005G

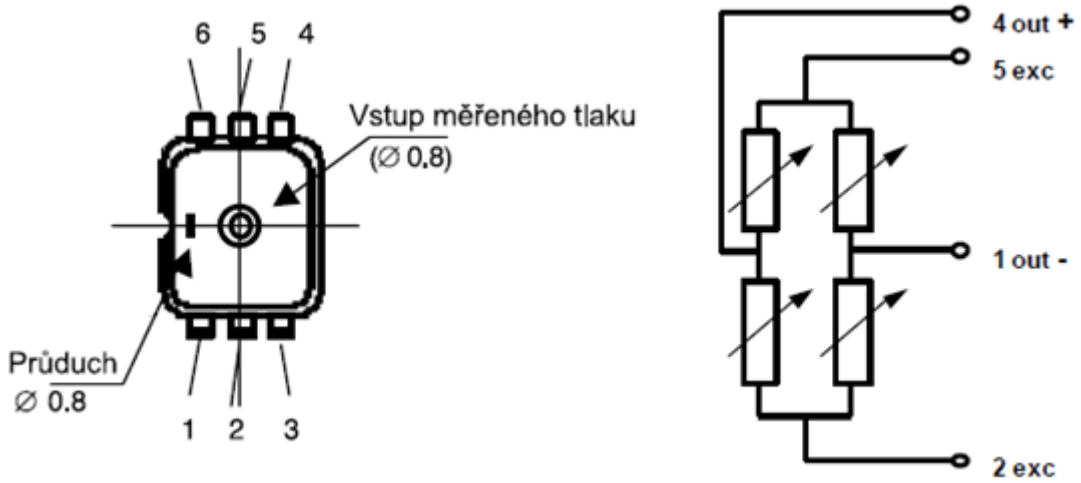
Jedná se o levný a dostupný manometrický senzor tlaku od firmy SMARTEC. Senzor porovnává přivedený tlak s tlakem v okolí (atmosférickým). Výstupem ze senzoru je napětí úměrné rozdílu přivedeného a atmosférického tlaku. Vnitřní zapojení senzoru je vidět na obrázku 3.1. Je realizováno jako odporový můstek, složený ze čtyř aktivních polovodičových tenzometrů na bázi piezorezistivního jevu. Hodnoty odporů v můstku jsou optimalizovány pro zpracování výstupu senzoru podpůrným obvodem UTI03 a jsou přibližně 3.3 kΩ. Základní parametry jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Parametr	Hodnota
Budící napětí	(0 – 10) V
Rozsah tlaku	(0 – 0.35) bar
Výstupní rozsah napětí (typ.)	(0 – 0.1) V

Tabulka 3.4: Parametry senzoru SPD005G

Pro rozeznání několika hodnot tlaku naměřených tlakovým senzorem, jsem původně zamýšlel použití A/Č převodníku nebo analogového komparátoru, který obsahuje většina

mikrokontrolérů. Jelikož je rozsah výstupního napětí senzoru okolo 100 mV a při praktických testech se ukázalo, že využitý rozsah je ještě o něco menší, nebyla by tato řešení příliš vhodná. Přestože požadavkem není nastavení konkrétní hodnoty tlaku, ale pouze volba několika úrovní tlaku, rozhodl jsem se použít podpůrný obvod, se kterým je možné hodnotu ze senzoru přesně změřit. Jedná se o obvod UTI03.



Obrázek 3.1: Pohled na senzor SPD005G a jeho vnitřní zapojení

3.3.2 Podpůrný obvod pro senzory UTI03

Jedná se o obvod rozhraní UTI (Universal Transducer Interface) od firmy SMARTEC. Tento obvod je uveden v datasheetu [5] k tlakovému senzoru SPD005G, jako univerzální rozhraní mezi senzory a mikrokontroléry. Umožňuje připojit řadu senzorů fyzikálních veličin, jako kapacitní senzory, odporové teploměry, odporové můstky. Jednou z jeho hlavních výhod je, že pracuje na principu modulace doby periody. Generuje tedy na výstupu pravoúhlý signál TTL nebo CMOS s proměnnou periodou, který je snadno slučitelný s mikrokontroléry. Dále umožňuje například multiplexní měření několika senzorů nebo automatickou kalibraci zisku a offsetu. V tabulce 3.5 jsou uvedeny základní parametry obvodu.

Parametr	**Hodnota**
Napájecí napětí	(2.9 – 5.5) V
Maximální proud	2.5 mA
Rozlišení, linearita	(13 – 14) bitů
Doba měření	(10 nebo 100) ms

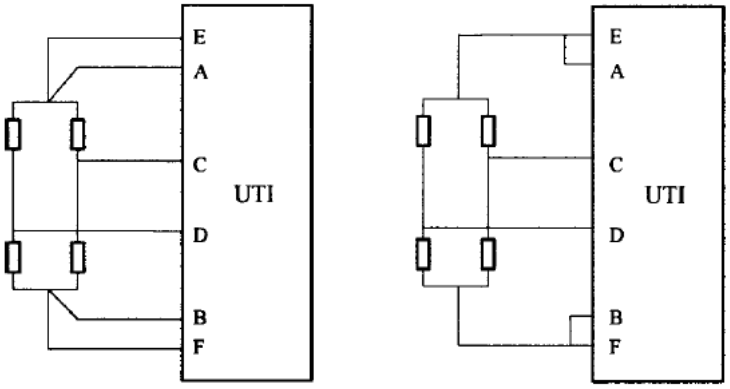
Tabulka 3.5: Parametry obvodu UTI03

Obvod disponuje celkem 16-ti módy činnosti pro různé druhy senzorů. V našem případě se jedná o senzor typu odporového můstku. Pro tento typ senzorů je k dispozici celkem 6 módů, které jsou vidět v tabulce 3.6. Kompletní seznam je uveden v datasheetu [4].

Mód činnosti	**Počet fází**	**Název**	**Číslo módu**
Odporový můstek, ref. je V_{bridge}, ± 200 mV	3	Ub2	9
Odporový můstek, ref. je V_{bridge}, ± 12.5 mV	3	Ub1	10
Odporový můstek, ref. je I_{bridge}, ± 200 mV	3	Ib2	11
Odporový můstek, ref. je I_{bridge}, ± 12.5 mV	3	Ib1	12
Odporový můstek a dva odpory, ± 200 mV	5	Brg2	13
Odporový můstek a dva odpory, ± 12.5 mV	5	Brg1	14

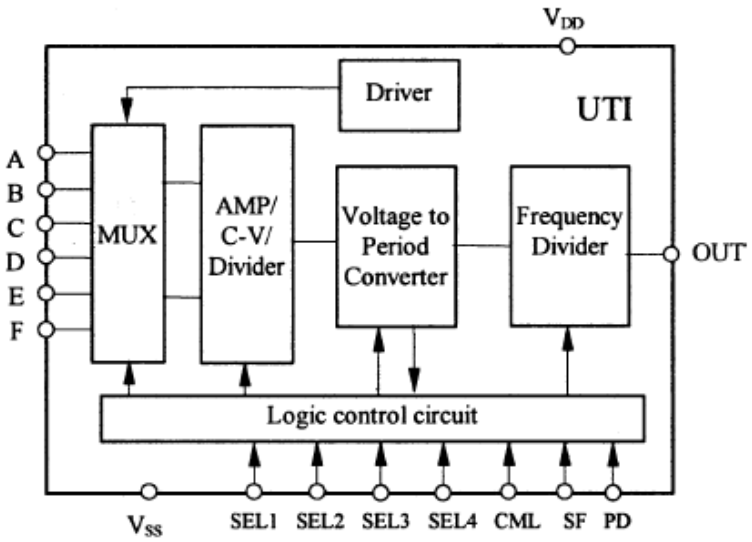
Tabulka 3.6: Módy UTI03 pro senzory typu odporového můstku

Použitý tlakový senzor má typický měřicí rozsah 100 mV. Krajní hodnoty jsou podle datasheetu [5] 70 mV a 130 mV. Tím pádem se musí vybrat mód, který dokáže měřit senzor v celém jeho rozsahu. Tomu odpovídají módy s výstupním napětím můstku ± 200 mV. Jelikož další referenční odpory připojovat nebudeme a jako referenci chceme napětí, nejvhodnější je použití módu číslo 9. Na obrázku 3.2 jsou vidět dva způsoby připojení senzoru ve vybraném módu k vývodům UTI03.



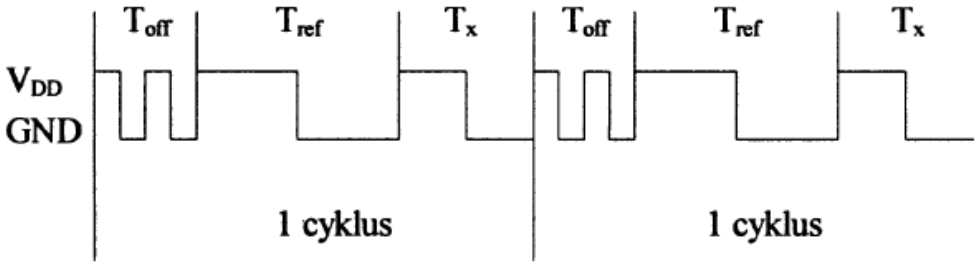
Obrázek 3.2: Způsoby připojení senzoru k UTI03 v módu 9

Na obrázku 3.3 je blokové schéma obvodu. Porty A – F slouží pro připojení senzorů. Porty SEL1 – 4 nastavují mód činnosti. Port SF určuje rychlost měření, která může být 10 ms nebo 100 ms. Rychlost měření je třeba zvolit s ohledem na metodu vyhodnocování výstupního signálu.



Obrázek 3.3: Blokové schéma UTI03

Příklad výstupního signálu je na obrázku 3.4. Signál má specifické vlastnosti, tj. že se skládá z několika fází, které se periodicky opakují v každém cyklu po celou dobu, kdy je obvod zapnutý. Počet fází pro jednotlivé módy je uvedený v tabulce 3.6. Pro mód číslo 9 je počet fází tři. Doba trvání každé fáze je úměrná hodnotě měřené veličiny.



Obrázek 3.4: Příklad výstupního signálu UTI03

- První fáze se vždy skládá ze dvou krátkých impulzů, což usnadní nalezení počátku měřícího cyklu. Délka těchto impulzů určuje offset systému (posuv nuly).
- Druhá fáze měří odezvu na referenční veličinu.
- Třetí fáze měří odezvu na měřenou veličinu.

Měření doby trvání jednotlivých fází lze provést jednoduše vzorkováním výstupního signálu mezi náběžnými hranami pomocí čítače / časovače obsaženého v každém mikrokontroléru. Podle počtu načítaných impulzů mezi jednotlivými hranami a vzorkovací frekvence, dostaneme dobu trvání konkrétní fáze. Pokud známe doby trvání jednotlivých fází,

můžeme jednoduše vypočítat poměr měřené veličiny k referenční, podle rovnice 3.1 a ten posléze přepočítat na konkrétní hodnotu měřené veličiny (teplota, tlak, aj.).

$$M = \frac{T_x - T_{off}}{T_{ref} - T_{off}} \tag{3.1}$$

3.4 Řídicí obvod

Jako řídicí prvek celého zařízení je vhodné použít mikrokontrolér, který by měl na základě stavu ovládacích prvků obstarávat řízení a regulaci nafukování a vyfukování manžety. Činnost zařízení spočívá v tom, že podle navolené rychlosti je nafukována manžeta a zároveň je uvnitř měřen tlak. Pokud dojde k překročení navoleného tlaku, nafukování je zastaveno a manžeta zůstane natlakovaná. Po uplynutí určitého časového intervalu se aktivuje ventil, který navolenou rychlostí upouští vzduch z manžety. Po vypuštění vzduchu z manžety se opět čeká určitý časový interval a poté se celý cyklus opakuje.

Z předchozích informací a z požadavků uvedených v kapitole 2.1 lze vyvodit nároky, především na periferie a počet vývodů, které musí mikrokontrolér splňovat. Ve shrnutí se jedná o:

- 2x PWM[1] generátor
- 2x čítač / časovač (alespoň jeden 16bitový)
- dostatečný počet vstupů a výstupů
- dostatečný počet vývodů s podporou externího přerušení
- interní oscilátor
- napájecí napětí 3.3 V
- nízký příkon
- malé pouzdro
- nízkou cenu

V tabulce 3.7 je rozepsán počet potřebných vývodů a počet vývodů, které musí podporovat generování externího přerušení jako reakce na vnější událost. Celkem je potřeba 12 vývodů pro ovládání a funkčnost zařízení. K tomu je potřeba přičíst dva vývody pro napájení a zem. Externí krystalový oscilátor připojovat nebudeme, protože pro naši aplikaci

[1] Pulzně-šířková modulace (Pulse Width Modulation)

není nutná přesnost oscilátoru. Vystačíme si tedy s interním oscilátorem, díky čemuž ušetříme trochu místa na DPS.

Funkce	**Vývody**	**Externí přerušení**
Řízení tlakové pumpy	1	0
Řízení elektromagnetického ventilu	1	0
Nastavení rychlosti nafukování / vyfukování	3	3
Nastavení požadovaného tlaku	3	3
Zpracování signálu ze senzoru	1	1
Ovládání LED a indikace stavu akumulátorů	3	1
Celkem	**12**	**8**

Tabulka 3.7: Potřebný počet vývodů mikrokontroléru

Všechny výše zmíněné požadavky splňuje mikrokontrolér ATtiny2313V od firmy Atmel, který bude popsán v následující podkapitole. Jedním z důvodů pro výběr právě této architektury a tohoto typu mikrokontroléru, byly předchozí osobní zkušenosti.

3.4.1 Mikrokontrolér ATtiny2313V

Jedná se o nízkopříkonový 8bitový mikrokontrolér z rodiny ATtiny, založený na AVR RISC[1] architektuře. AVR architektura vychází z koncepce rychle přístupného registrového pole. Jádro AVR obsahuje 32 pracovních registrů. Přístup k registrům je proveden v jediném hodinovém cyklu, takže instrukce se dvěma operandy jsou vykonány stejně, jako jednooperandové. Tím, že se provádí výkonné instrukce v jediném hodinovém cyklu, dokáže dosáhnout výkonu až 1 MIPS[2] při taktu 1 MHz.

Zde je shrnutí technických údajů a vlastností tohoto mikrokontroléru:

- 120 výkonných instrukcí
- 32x 8bitových pracovních registrů
- frekvence interního oscilátoru (0 – 10) MHz (v závislosti na napájení)
- programová paměť 2 KB Flash

[1] Architektura s redukovaným instrukčním souborem
[2] Milion instrukcí za sekundu

- datová paměť 128 B SRAM
- datová paměť 128 B EEPROM
- 1x 8bitový čítač / časovač
- 1x 16bitový čítač / časovač
- 4x PWM kanály
- analogový komparátor
- 18 použitelných vývodů
- 10 vývodů s externím přerušením
- USI a USART rozhraní
- malé pouzdro SOIC
- široký rozsah napájecího napětí (1.8 – 5.5) V

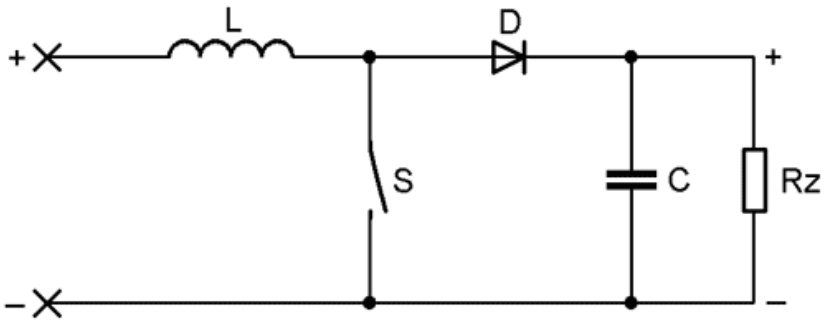
Důležité periferie pro naši aplikaci jsou čítač / časovač a PWM generátor. Ty spolu úzce souvisí, protože čítač/časovač je používán v určitých módech jako PWM generátor. Druhý čítač / časovač bude použit ke vzorkování signálu z obvodu UTI03 popsaného v kapitole 3.3.2.

3.5 Napájecí zdroj

Jak bylo zmíněno v kapitole 2, pro napájení celého zařízení budou použity pouze dva akumulátory typu AAA. Jejich celkové napětí je 2.4 V, což by většině použitých součástek stačilo. Pro optimální chod tlakové pumpy a elektromagnetického ventilu je však potřeba napětí okolo 3 V. Navíc napětí na akumulátorech není stabilní a s jejich vybíjením a větší zátěží rychle klesá. Proto je nutné použít spínaný zdroj typu step-up, který umožní odebírat stabilní napětí, větší než 2.4 V.

3.5.1 Princip Step-up měniče

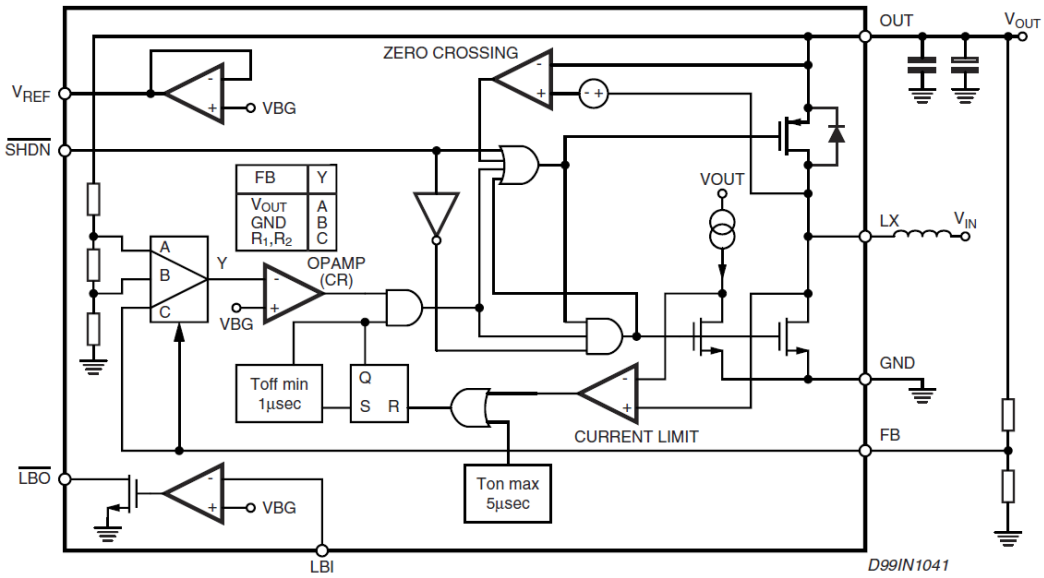
Step-up měnič, nebo-li boost regulátor, dokáže mít na výstupu obvodu větší napětí než je vstupní. Princip je vidět na obrázku 3.5 a to, že po dobu sepnutého spínače S se indukuje energie v induktoru L a zároveň se vybíjí kondenzátor C, který dodává proud do zátěže. V okamžiku rozepnutí spínače S se změní polarita napětí na induktoru L a to se přičte ke vstupnímu napětí. Tímto napětím je dobíjen kondenzátor C a napětí na vstupu je nyní vyšší než původní. Díky tomu je možné dosáhnout toho, že střední hodnota napětí na výstupu obvodu je vyšší než vstupní napětí do obvodu.



Obrázek 3.5: Princip step-up měniče

3.5.2 Step-up měnič L6920

Integrovaný obvod L6920 je vysoce účinný step-up měnič, který dosahuje účinnosti až 94 %. Často se používá v zařízeních, jako jsou mobilní telefony, PDA, GPS, fotoaparáty atd.



Obrázek 3.6: Blokové schéma L6920

Na obrázku 3.6 je vidět blokové schéma vnitřního zapojení obvodu. Vstupní napětí se přivádí na vstup LX a výstupní napětí je na vývodu OUT. Pro spuštění obvodu je potřeba vstupní napětí alespoň 1 V, ale dále dokáže pracovat až do vstupního napětí 0.6 V. Výstupní napětí může být 3.3 V nebo 5 V, a nebo po použití napěťového děliče plynule v rozsahu (2 – 5.2) V. Výstupní proud je omezen na maximálně 1 A. Volba výstupního napětí se ovládá pinem FB. Obvod nabízí na pinech LBI, LBO také kontrolu poklesu vstupního napětí. Pokud napětí na vstupním pinu LBI bude nižší než interní reference obvodu 1.23 V (lze opět upravit použitím napěťového děliče), přepne se výstupní pin LBO do log. 0. Tuto funkci lze využít pro

sledování stavu akumulátorů. Posledním pinem SHDN lze obvod zapínat (odpovídá přivedenému napětí vyššímu, než 0.6 V, než 0.6 V) a vypínat (napětí menší, než 0.2 V). Užitečná vlastnost tohoto obvodu také je, že disponuje kontrolou polarity napájecího napětí, takže při opačné polarizaci akumulátorů nemůže dojít ke zničení obvodu nebo samotných akumulátorů.

3.6 Nabíječka akumulátorů

Posledním požadavkem na zařízení je integrovaná USB nabíječka akumulátorů. Předpokládané je použití dvou článků typu NiMH[1] nebo starších NiCd[2], velikosti AAA. NiCd typy nejsou příliš ekologické a jejich kapacita dosahuje menších hodnot než u typu NiMH. Proto budou v zařízení použity akumulátory typu NiMH. Pro výše uvedené typy se používá nabíjení konstantním proudem. Velikost nabíjecího proudu záleží na druhu nabíječky. Pomalé nabíječky nabíjejí proudem okolo 100 mA a přibližná doba nabíjení je 14 – 16 hodin. Rychlonabíječky nabíjí proudem, až okolo 1 A a doba potřebná pro nabití je 1 – 5 hodin. Rychlost nabíjení je tedy závislá na použitém nabíjecím proudu a kapacitě použitých akumulátorů. Běžně jsou dostupné akumulátory velikosti AAA s kapacitou zhruba 800 mAh – 1100 mAh, takže budeme uvažovat kapacitu 1100 mAh.

Konstrukce nabíječky je poněkud omezena použitím USB portu. Ten podle specifikací poskytuje stejnosměrné napájecí napětí 5 V a připojené zařízení může odebírat proud 100 mA. V případě potřeby si může zařízení vyžádat proud až do 500 mA. Jelikož je napájení USB portů často propojeno přímo se zdrojem, je možné v těchto případech odebírat i vyšší proud. Při použití externího adaptéru většinou maximální hodnota proudu dosahuje hodnoty (0.8 – 1) A. My budeme při konstrukci nabíječky uvažovat nabíjecí proud okolo 400 mA, což odpovídá podle předchozího odstavce rychlonabíječce.

Na trhu je několik často používaných rychlonabíjecích obvodů. Tyto obvody mají řadu výhod, např. kompaktní rozměry celé nabíječky, jednoduchost zapojení a hlavně několik možností, jak vyhodnotit konec nabíjecího cyklu. Ten lze určit jednoduše uplynutím nastaveného časového intervalu. Druhý (lepší) způsob je vyhodnocení podle teploty akumulátorů. Při nabíjení se totiž akumulátory pozvolně zahřívají a po jejich nabití, se začnou přebíjet a daleko rychleji zahřívat. Asi nejlepší a také nejnáročnější způsob vyhodnocení

[1] Nikl-metal hydridový akumulátor
[2] Nikl-kadmiový akumulátor

nabíjecího cyklu je tzv. *„Delta-Peak“*. Využívá poklesu napětí na akumulátorech po jejich plném nabití. Tento pokles je pouze o (10 – 20) mV, takže není vždy jednoduché ho přesně změřit. Nejlepšího výsledku lze tedy dosáhnout kombinací alespoň dvou těchto způsobů vyhodnocování.

Původním záměrem bylo použití rychlonabíjecího obvodu MC33340 od firmy ON Semiconductor. Později se ale ukázalo, že jeho doporučené zapojení není vhodné pro napájecí napětí 5 V, ale je potřeba vyšší. Z tohoto důvodu bylo pro jednoduchost vybráno zapojení z běžných součástek, které sice nemá takové možnosti jako specializované obvody, ale pro naše použití je dostačující. Řídicím prvkem této nabíječky bude komparátor, který bude porovnávat napětí na dvou napěťových děličích. Vyhodnocení nabíjecího cyklu bude prováděno měřením teploty akumulátorových článků pomocí termistoru, který bude zapojen v jednom z děličů. Komparátor podle úrovně napětí na děličích bude spínat výkonový tranzistor, kterým bude procházet nastavený nabíjecí proud. Tímto proudem se budou akumulátory nabíjet, a po jejich nabití dojde k rozepnutí tranzistoru. Poté do nich bude proudit udržovací proud v řádu jednotek mA, který zaručí, aby nedošlo k jejich samovolnému vybíjení.

4 Realizace

V této kapitole budou vypsány hardwarové a softwarové prostředky, použité při realizaci zařízení. Dále budou zobrazena a popsána schémata zapojení jednotlivých bloků obvodu a výběr doplňujících obvodových součástek, včetně popisu obslužného programu mikrokontroléru, kterým je celý obvod řízen. Nakonec bude krátce popsána výroba plošného spoje.

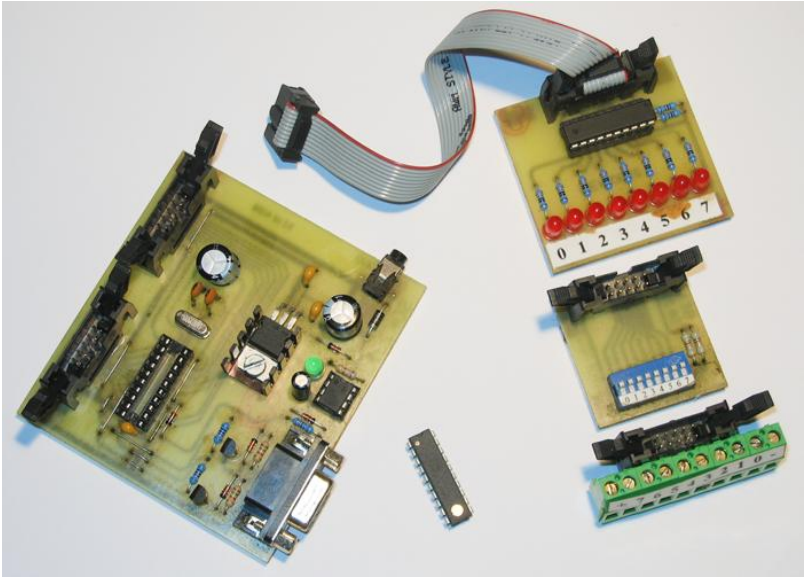
4.1 Použité hardwarové a softwarové prostředky

Návrh a testování prototypu zařízení probíhal jednak na papíře, ale hlavně na nepájivém kontaktním poli, kde lze jednoduše dělat jakékoli změny v návrhu obvodu. Finální otestovaný obvod byl poté přenesen do návrhového systému Eagle 5.6.0 [11].

Tento systém má výhodu, že je s několika omezeními[1] distribuován jako freeware. Skládá se z několika modulů, které umožňují hlavně tvorbu schémat a návrh plošných spojů. Pro tvorbu schémat disponuje obsáhlou knihovnou součástek. Tu bylo nutné pro naše účely obohatit o několik nestandardních typů. Při tvorbě plošného spoje je možné využít modul autorouter nebo funkce pro kontrolu pravidel návrhu. Generování podkladů pro výrobu plošného spoje je možné do běžně používaných formátů, případně uživatelsky definovaných.

Pro tvorbu obslužného programu mikrokontroléru bylo zvoleno zdarma dostupné vývojové a ladící prostředí AVR Studio 4.16 [10] od firmy Atmel. Jelikož byl jako programovací jazyk použit jazyk symbolických adres (někdy milně označován jako Assembler[2]), nebylo nutné instalovat další překladač, např. pro jazyk C. Vývojová deska, na které probíhalo programování mikrokontroléru je vidět na obrázku 4.1. Je připojitelná přes sériový port (nebo za použití redukce přes USB) a je k ní dodávána jednoduchá aplikace pro programování a nastavení mikrokontroléru. Byla zhotovena podle návodu uvedeného v knize D. Matouška [3] a její přesné označení je „SDK2313“.

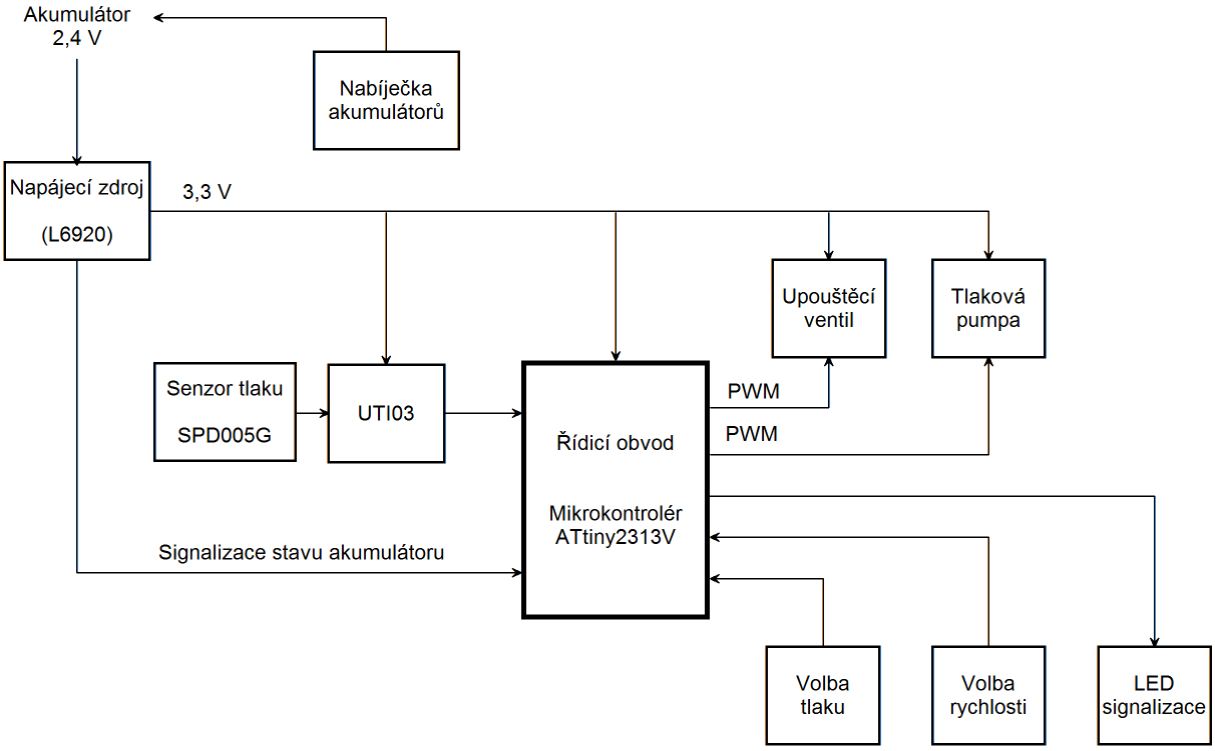
[1] Hlavní omezení je v maximální velikosti plošného spoje 10 × 10 cm, což je pro naši aplikaci dostačující.
[2] Assembler je překladač z jazyka symbolických adres do strojového kódu



Obrázek 4.1: Vývojová deska SDK2313 pro mikrokontrolér ATtiny2313

4.2 Realizace hardwarové části

Realizace zařízení odpovídá blokovému schématu na obrázku 4.2, které bylo vytvořeno na základě informací a návrhu řešení v kapitolách 2 a 3. V následujících podkapitolách bude popsáno reálné zapojení jednotlivých bloků.



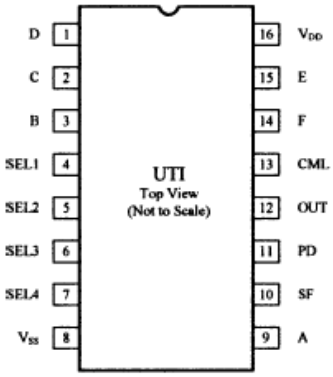
Obrázek 4.2: Blokové schéma obvodu

Pro ovládání zařízení slouží trojice třípolohových posuvných přepínačů a trojice LED (jedna LED je dvoubarevná). Jejich význam je následující:

Přepínač 1 – zapnutí / vypnutí zařízení, zapnutí nabíjení akumulátorů
Přepínač 2 – nastavení tří úrovní tlaku v manžetě
Přepínač 3 – nastavení tří úrovní rychlosti nafukování / vyfukování
LED 1 – indikace zapnutí zařízení (zelená)
LED 2 – indikace nabíjení akumulátorů (zelená)
– indikace vybitých akumulátorů (červená)
LED 3 – indikace dosažení nastaveného / nulového tlaku (oranžová)

4.2.1 Měřicí obvod

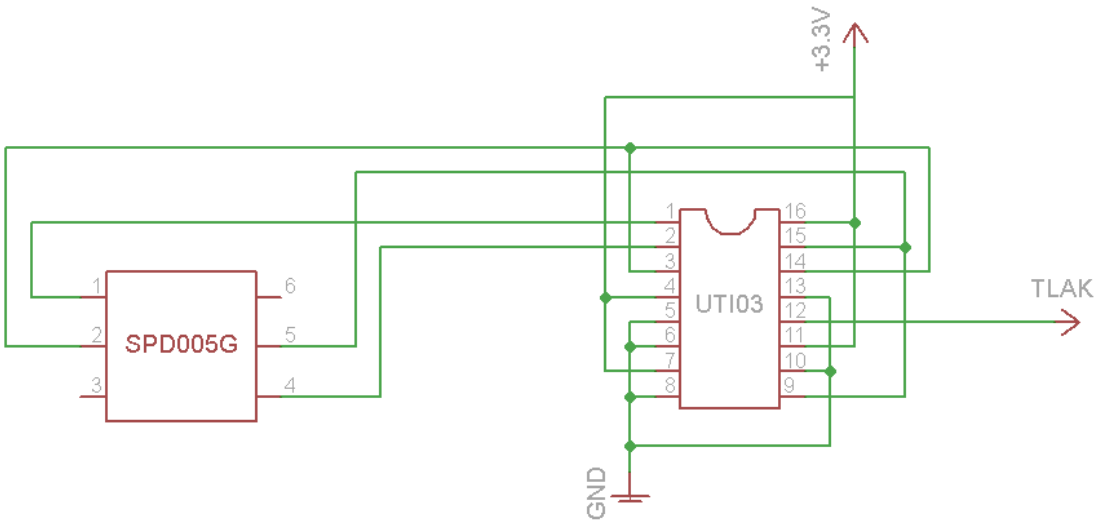
Pro měření tlaku byl zvolen senzor SPD005G, realizovaný jako odporový můstek. Pro snadné získání hodnot tlaku bylo potřeba připojit také obvod UTI03, který generuje signál přímo do mikrokontroléru. Schéma zapojení měřicího obvodu je na obrázku 4.4.



Obrázek 4.3: UTI03

Obvod UTI03 disponuje 16-ti módy činnosti, z nichž 6 je pro připojení odporových můstků. Pro nás je nejvhodnější mód číslo 9. Volba módu se provádí piny SEL1 – 4, přičemž v módu 9 jsou piny SEL1 a 4 připojeny na napájení a SEL2 a 3 uzemněny. Pinem SF se nastavuje doba trvání jednoho měřicího cyklu na 10 ms nebo 100 ms. Pro větší přesnost měření bylo zvoleno 100 ms, takže pin SF je připojen na zem. Pinem PD je možné obvod zapínat a vypínat, takže připojením k napájení docílíme zapnutí obvodu. Posledním ovládacím pinem je CML, který v použitém módu není využit a je proto připojen na zem.

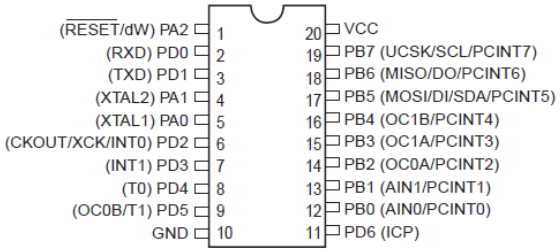
Senzor je s obvodem propojen pomocí pinů A – F a zapojení odpovídá obrázku 3.2. OUT je výstupním pinem, na kterém je generován signál s proměnnou periodou. Je propojen přímo s mikrokontrolérem.



Obrázek 4.4: Zapojení pro měření tlaku

4.2.2 Řídicí obvod

Mikrokontrolér je jako řídicí obvod propojen se všemi obvody a důležitými součástkami. Obsahuje 18 vstupně / výstupních pinů, které mohou mít i různé alternativní funkce. Piny jsou slučovány maximálně po 8 do portů (bran), které jsou označovány PA, PB a PD. Schéma zapojení je na obrázku 4.6.

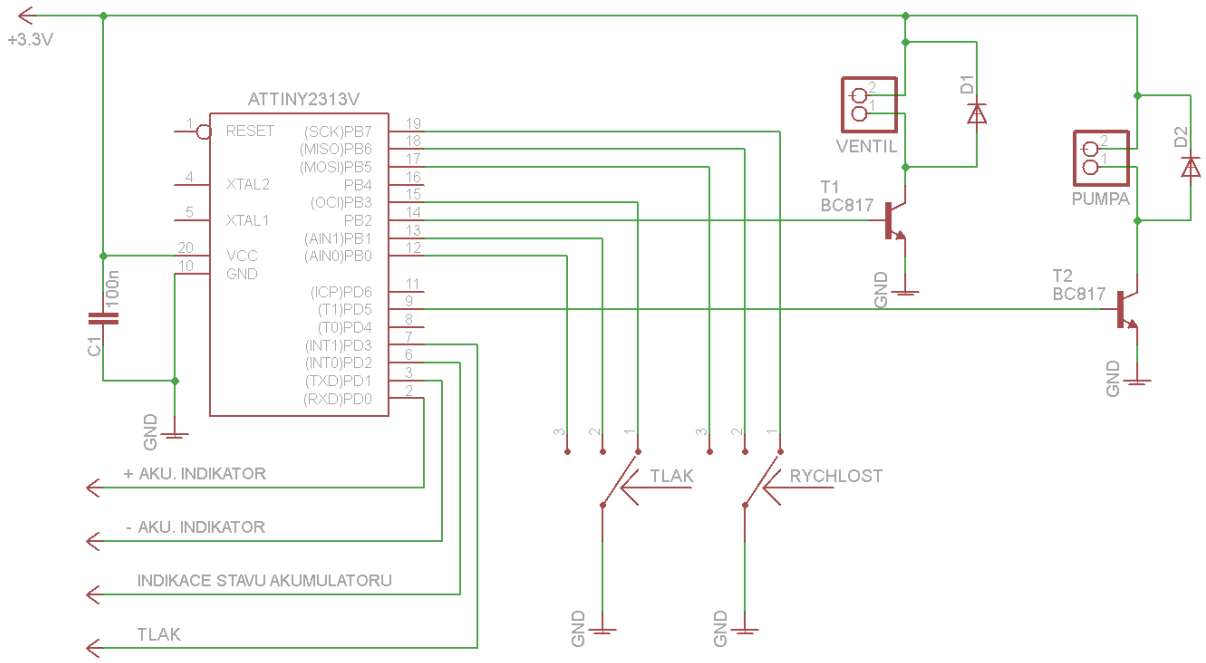


Obrázek 4.5: ATtiny2313V

Pro ovládání zařízení jsou použity dva třípolohové, posuvné přepínače. Aby se dalo ihned reagovat na změnu nastavení, jsou tyto přepínače připojeny na šestici pinů portu PB, které podporují externí přerušení. Při přepínání je zvolený pin uzemněn a zbylé jsou ve stavu vysoké impedance. Aby vlivem těchto nepřipojených pinů nedocházelo k náhodným událostem, jsou na všech šesti pinech připojeny interní pull-up rezistory. Pokud je tedy pin uzemněn, přečteme na něm hodnotu „log. 0“. Pokud je ve stavu vysoké impedance, uplatní se pull-up rezistor a přečtená hodnota odpovídá napájecímu napětí, tedy „log. 1“.

Spínání tlakové pumpy a vypouštěcího ventilu je realizováno pomocí bipolárních tranzistorů typu NPN, které jsou spínány mikrokontrolérem. Jsou proto použity piny, které

jsou také schopné generovat PWM signál od čítače / časovače 0. Jedná se o piny PB2 (OC0A) pro ventil a PD5 (OC0B) pro pumpu. Pokud je na pinu hodnota „log. 1“, je tranzistor otevřen a prochází jím proud. Ventil je v tomto stavu otevřen (prochází jím vzduch), případně je zapnuta pumpa (nafukuje). Při „log. 0“ je tranzistor zavřen a ventil či pumpa jsou vypnuty. Protože je pumpa i ventil zátěž induktivního charakteru, je k nim paralelně připojena dioda, která při vypínání odvádí napěťové špičky.



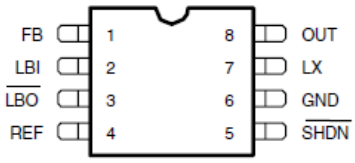
Obrázek 4.6: Zapojení řídicího obvodu

Měření tlaku probíhá na pinu PD3, který dokáže generovat externí přerušení s citlivostí na několik druhů událostí. V našem případě je nastavena citlivost na náběžnou hranu a za předpokladu, že má signál průběh podle obrázku 3.4, je měřena doba mezi dvěma náběžnými hranami. Pin PD2 je opět s pomocí interního pull-up rezistoru připojen na výstup LBO obvodu L6290. Ten je ve stavu vysoké impedance a při poklesu napětí na akumulátorech pod nastavenou úroveň se přepne do stavu „log. 0“. Piny PD0 a PD1 slouží k ovládání dvou stavových LED. Ty jsou obě připojeny přes rezistor k těmto vývodům, ale v opačné polarizaci vůči sobě. Tím lze docílit, že při kombinaci stavů pinů PD0 a PD1 svítí pouze jedna z LED nebo žádná.

Zbylých 6 pinů není použitých, takže by bylo možné zařízení relativně snadno rozšířit o další funkce, ovšem nad rámec této práce.

4.2.3 Napájecí zdroj

Napájecí zdroj je realizován s použitím step-up měniče L6920 a napájí všechny obvody a součástky kromě nabíječky akumulátorů, která je realizovaná odděleně. Při návrhu se vycházelo ze schématu, uvedeném v datasheetu [7] a z požadavků, popsaných v kapitolách 2 a 3.5. Na obrázku 4.8 je použité schéma zapojení.

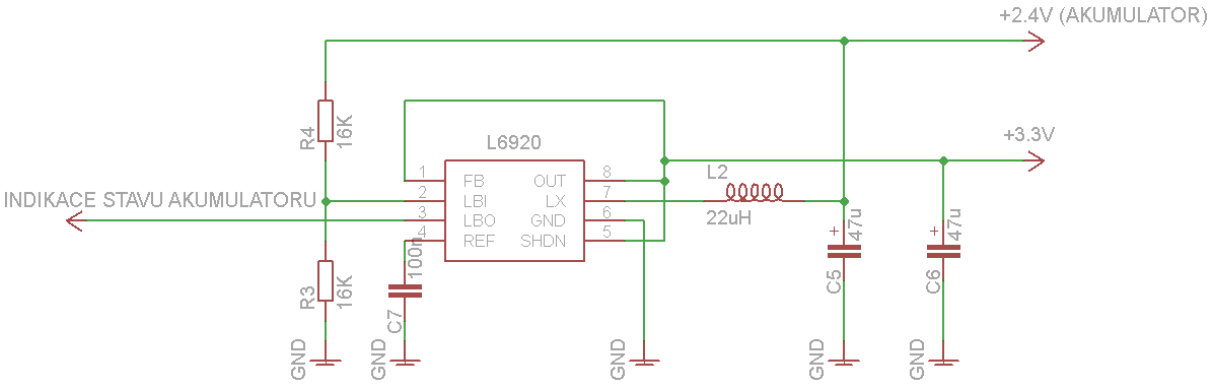


Obrázek 4.7: L6920

Pro správnou funkci je nutné nastavit vhodnou volbou obvodových součástek pouze tyto parametry:

- Výstupní napětí
- Hranice pro indikaci vybitých akumulátorů

Výstupní napětí se nastavuje pinem FB a to v rozsahu (2 V – 5.2 V) s použitím odporového děliče. Požadované napětí 3.3 V je ovšem možné zvolit pouhým propojením pinu FB s výstupem OUT. Nejsou tedy nutné žádné další součástky.



Obrázek 4.8: Zapojení napájecího zdroje

Pro indikaci vybitých akumulátorů je potřeba napěťový dělič připojený přímo k akumulátorům, jehož výstup je přiveden na pin LBI. Zde je napětí na děliči porovnáváno s interní referencí 1.23 V. Pokud napětí klesne, je výstupní pin LBO přepnut ze stavu vysoké impedance do „log. 0“. Tento výstup je propojen s mikrokontrolérem, kde je připojen interní pull-up rezistor. Výpočet odporů napěťového děliče pro žádanou napěťovou hranici se provádí podle rovnice 4.1.

$$V_{LBI} = 1.23 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \tag{4.1}$$

Plně nabité akumulátory mají napětí naprázdno téměř 2.8 V. Při vybíjení se jejich napětí pohybuje dlouhou dobu v rozmezí (2.5 – 2.6) V. Při poklesu na hodnotu přibližně 2.4 V začne napětí rychle klesat a akumulátory jsou již skoro vybité. Jako hranice pro vybité akumulátory (V_{LBI}) tedy bylo zvoleno napětí 2.45 V. Pro výpočet se použila řádová hodnota rezistorů 10 kΩ a po zaokrouhlení hodnot na použitou řadu vyšly hodnoty:

$R_1 = 16\ k\Omega$ (ve schématu odpovídá rezistoru R_4)

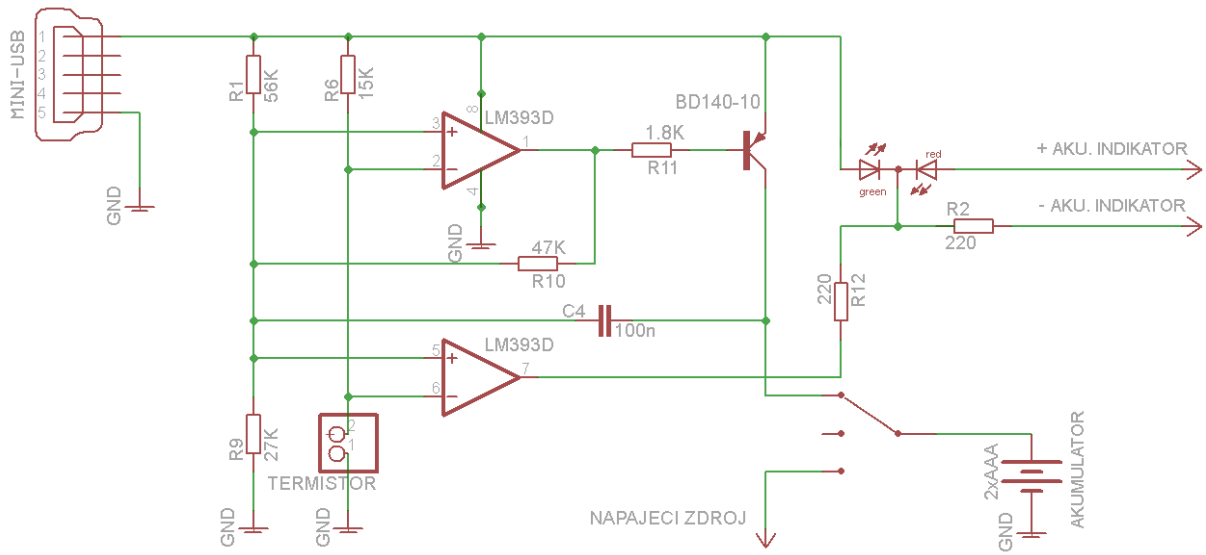
$R_2 = 16\ k\Omega$ (ve schématu odpovídá rezistoru R_3)

$V_{LBI} = 2.46\ V$

Zbylé důležité součástky, jako cívka L_2 a tantalové kondenzátory C_5, C_6, byly zvoleny spolu s dalšími součástkami podle doporučených hodnot v datasheetu a snadné dostupnosti.

4.2.4 Nabíječka akumulátorů

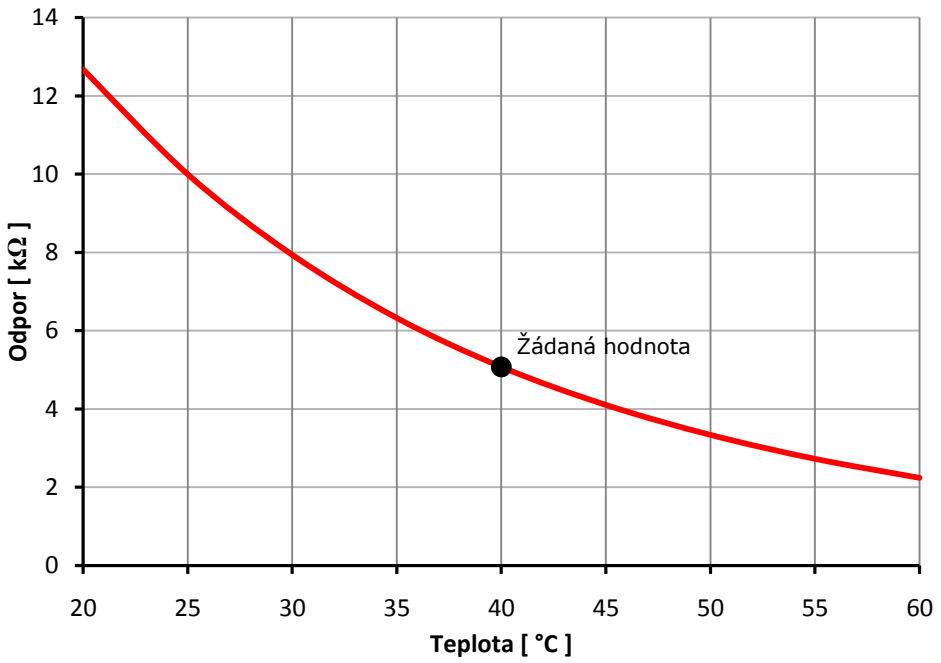
Jednoduchá konstrukce USB nabíječky byla převzata z webové stránky stefanv.com [9] a mírně upravena pro naše potřeby. Jednou ze změn bylo použití dvoubarevné LED2 se společnou katodou, která bude použita pro signalizaci stavu nabíjení a vybitých akumulátorů. Ostatní úpravy spočívaly pouze ve volbě vhodných hodnot součástek. Zapojení je na obrázku 4.9.



Obrázek 4.9: Zapojení nabíječky akumulátorů

Celý obvod je napájen z USB konektoru a akumulátory jsou připojeny přes přepínač. Tím se zajistí, že nelze nabíjet akumulátory při zapnutém zařízení a odpojení napájecího zdroje zařízení. Hlavním prvkem obvodu je napěťový komparátor LM393. Ten porovnává napětí na dvou napěťových děličích D_1 $(R_1 + R_9)$ a D_2 $(R_6 + TERMISTOR)$. Při probíhajícím nabíjení je napětí na referenčním děliči D_1 přibližně 1.25 V. Napětí na děliči D_2 je vyšší a výstupy komparátoru 1 a 7 jsou tedy ve stavu „log. 0“. Tím vzniká rozdíl napětí na LED2 a ta během nabíjení zeleně svítí. Nízkou úrovní napětí je také plně otevírán výkonový tranzistor BD140-10, kterým prochází nabíjecí proud. Po ukončení nabíjení LED2 zhasne a přes mírně otevřený tranzistor prochází udržovací proud v řádu jednotek mA.

Vzhledem k tomu, že nabíječka musí být součástí zařízení, bude celý obvod umístěn ve stísněném prostoru krabičky. Znamená to, že výkonový tranzistor bude vlivem ztrátového výkonu vyhřívat celou krabičku, což může dost ovlivňovat vyhodnocení konce nabíjecího cyklu termistorem. Na základě rozboru v kapitole 3.6 bude nabíjecí proud (300 – 400) mA, což umožní relativně rychlé nabíjení při menším ztrátovém výkonu. Hodnota nabíjecího proudu závisí na velikosti bázového proudu a proudovém zesilovacím činiteli tranzistoru h_{FE}. Tranzistor BD140-10 má podle katalogu hodnotu h_{FE} v rozmezí (63 – 160) a při měření vycházela přibližně v rozmezí (130 – 140). Potřebný bázový proud tedy vychází přibližně 2.5 mA a nastavení se provádí bázovým rezistorem R_{11}. Velikost R_{11} byla zvolena 1.8 kΩ, čemuž odpovídá podle měření nabíjecí proud zhruba 310 mA.



Obrázek 4.10: Převodní charakteristika termistoru K164NK010

Teplota akumulátorů, při které dojde k ukončení nabíjecího cyklu, bude nastavena na 40 °C z důvodu vyšší teploty uvnitř krabičky. Podle převodní charakteristiky termistoru uvedené na obrázku 4.10 odpovídá teplotě 40 °C odpor termistoru 5 kΩ. Požadavkem pro ukončení nabíjení je, aby napětí na děliči D_2 bylo v tento okamžik nižší nebo rovno napětí na referenčním děliči D_1, tj. 1.25 V. Požadovanou hodnotu rezistoru R_6 vypočítáme podle rovnice 4.2.

$$\left(\frac{TERM_{40}}{TERM_{40} + R_6}\right) \cdot U_{cc} = 1.25\ V \tag{4.2}$$

Z rovnice jednoduše vyjádříme R_6 a po dosazení odporu termistoru při 40 °C a napájecího

$$R_6 = \left(\frac{TERM_{40} \cdot U_{cc}}{1.25}\right) - TERM_{40} = \left(\frac{25}{1.25}\right) - 5 = 15\ k\Omega \tag{4.3}$$

napětí z USB konektoru (5 V) dostaneme potřebnou hodnotu R_6, 15 kΩ. Tato hodnota je dostupná v použité řadě rezistorů, takže ji nemusíme nijak zaokrouhlovat.

4.3 Obslužný program mikrokontroléru

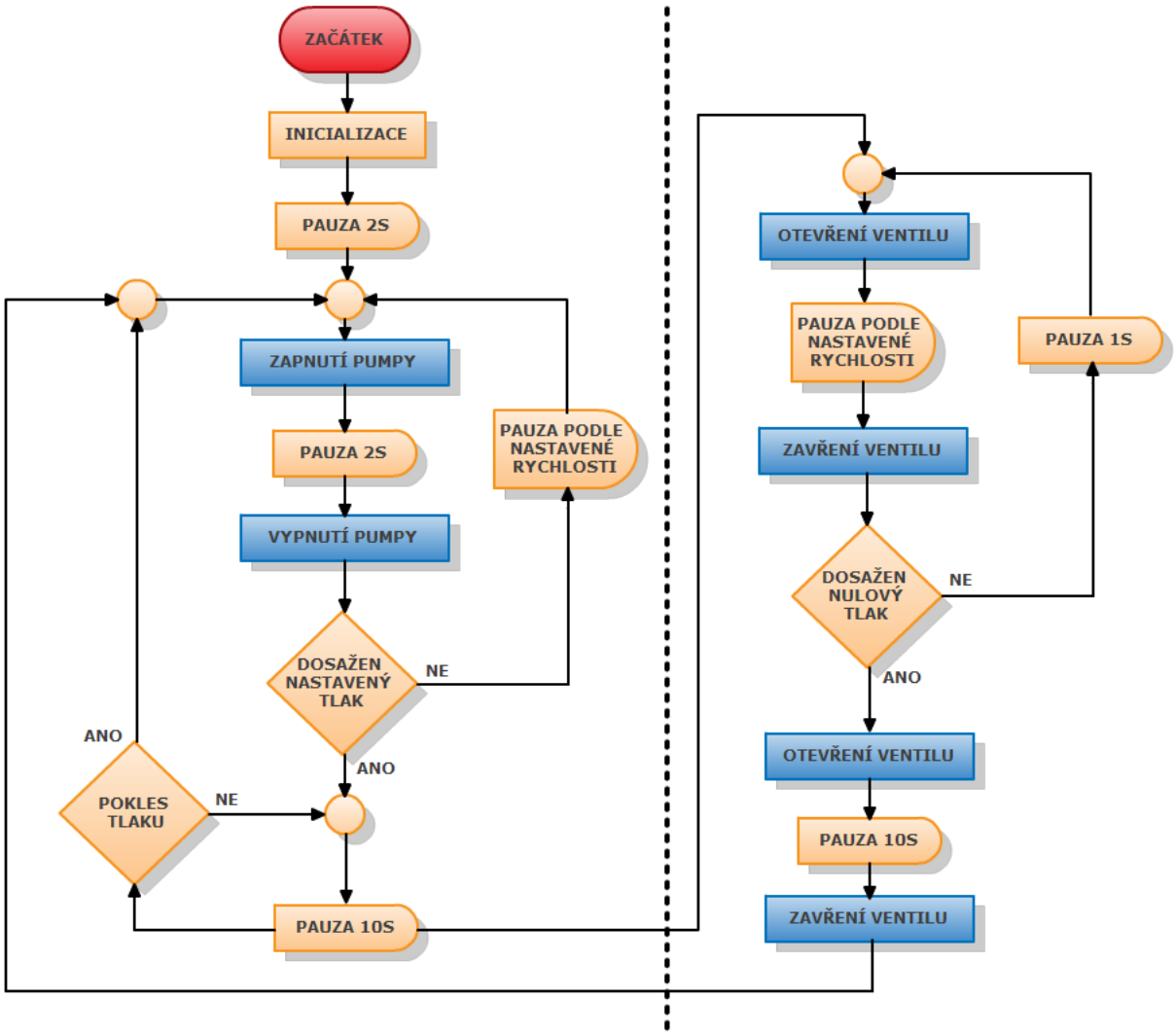
Při řešení otázky, v jakém programovacím jazyce napsat obslužný program, jsem se rozhodl díky předchozím zkušenostem s programováním mikrokontrolérů, pro jazyk symbolických adres. Jeho výhoda je, že přeložený kód je efektivnější, rychlejší a zabírá méně paměti. Nevýhodou je ovšem nutnost dobré znalosti architektury a instrukčního souboru mikrokontroléru. V jazyce C je možné napsat program za relativně kratší dobu a více přehledný, ale to pro nás nebylo tak důležité.

V první řadě je důležité zkontrolovat a nastavit propojky mikrokontroléru (fuse bits). Většinu není potřeba měnit, ale například u použitého mikrokontroléru je standardně nastavena frekvence interního oscilátoru na 1 MHz. Nastavením těchto bitů bylo dosaženo frekvence interního oscilátoru 4 MHz.

Na obrázku 4.11 je zobrazen vývojový diagram, který nastiňuje strukturu a běh celého programu. Je rozdělen na dvě části, které obstarávají nafukování a vyfukování manžety. Tyto části se po startu neustále střídají a opakují, dokud nedojde k vypnutí zařízení.

Během kterékoli části programu může dojít k externímu přerušení, vyvolanému přepnutím přepínačů. V obsluze přerušení se přečte jejich stav a aktualizuje nastavení

rychlosti a tlaku. To umožňuje kdykoliv za běhu optimálně nastavit zařízení svým potřebám. Dále ve chvílích, kdy není zapnutá pumpa nebo ventil, probíhá kontrola stavu akumulátorů. Ty jsou v tuto chvíli zatíženy minimálně a napájecí zdroj měří jejich napětí v podstatě naprázdno. Pokud je zjištěn pokles napětí pod nastavenou úroveň (2.46 V), je na pinu PD2 přečtena hodnota „log. 0“. V ostatních případech je tam díky internímu pull-up rezistoru hodnota „log. 1“. Při hodnotě „log. 0“, je rozsvícena červená LED 2. Ta zhasne po uplynutí časové prodlevy dané nastavenou rychlostí nafukování (před opětovným zapnutím pumpy nebo ventilu). Tím je docíleno blikání této diody.



Obrázek 4.11: Vývojový diagram obslužného programu

Mezi nafukováním a vyfukováním je vždy časová prodleva přibližně 10 s. Během této pauzy svítí oranžová stavová LED3, která signalizuje dosažení požadovaného tlaku.

V případě, že v průběhu pauzy po nafukování dojde k poklesu tlaku v manžetě, je znovu zapnuta pumpa, dokud není tlak opět dosažen.

Celý program by se dal rozdělit na čtyři části:

- Nafukování manžety
- Vyfukování manžety
- Měření tlaku
- Kontrola stavu akumulátorů (viz. předcházející odstavec)

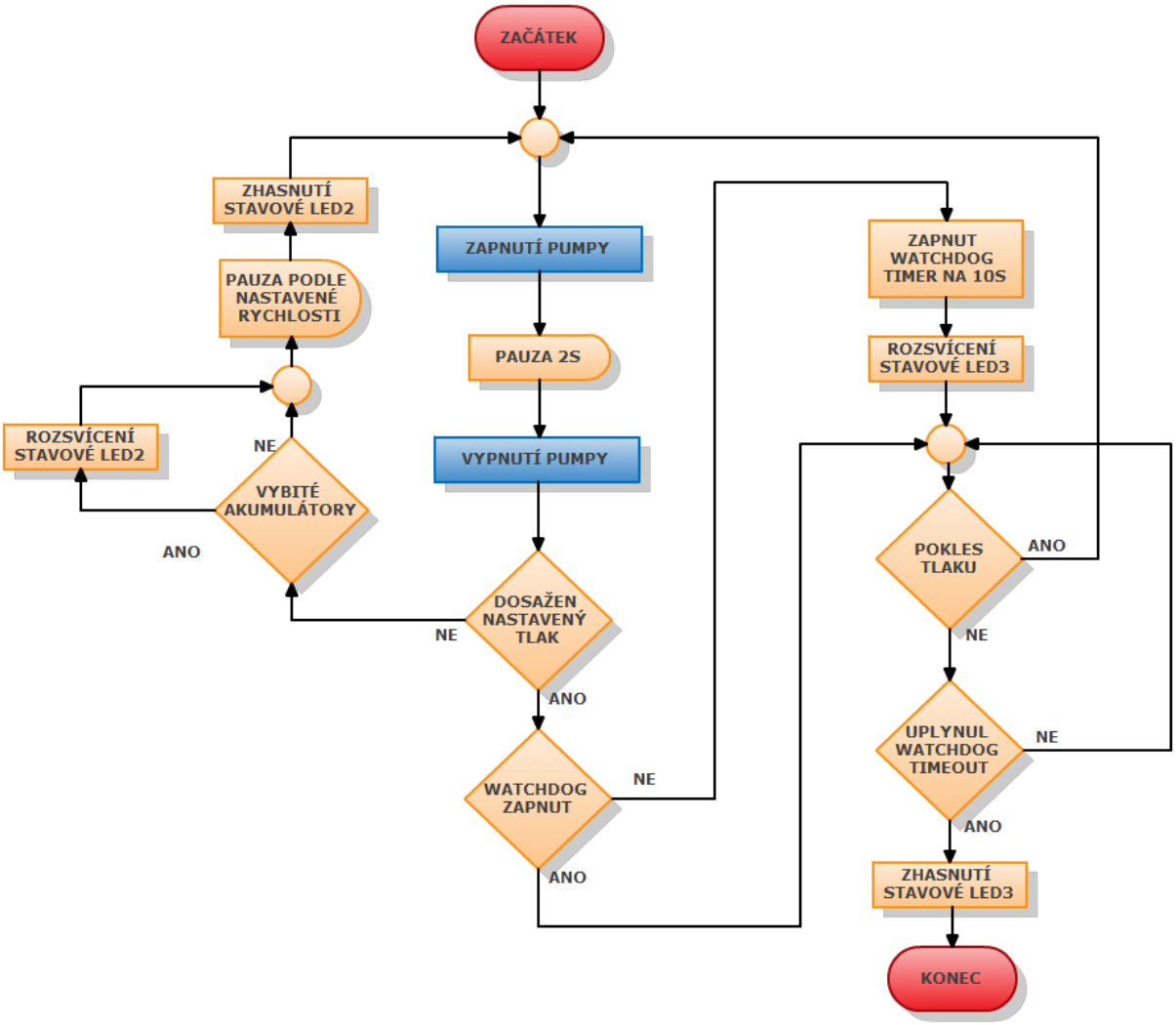
Protože v jazyce symbolických adres není možné vytvářet funkce a metody jako v jazyce C, jsou pro zpřehlednění a lepší orientaci v kódu použita návěští a podprogramy. V našem obslužném programu je tedy celkem 17 podprogramů, 4 obsluhy přerušení a 1 hlavní smyčka. Tím je docíleno větší přehlednosti kódu a efektivního běhu programu.

4.3.1 Nafukování manžety

Při nafukování manžety je pumpa v každém cyklu zapnuta pouze po dobu 2 s a regulace rychlosti nafukování se realizuje proměnnou délkou pauzy, kdy je pumpa vypnutá. V této pauze jsou také vykonávány podprogramy zjišťující aktuální tlak v manžetě a stav akumulátorů. Celý proces nafukování je znázorněn vývojovým diagramem na obrázku 4.12.

Po vypnutí pumpy je aktivováno měření tlaku (více v kapitole 4.3.3). Pokud není dosažen požadovaný tlak, jsou zkontrolovány akumulátory na pinu PD2 a případně rozsvícena stavová LED 2. Poté probíhá pomocí watchdog timeru čekací rutina v délce 0.5 s, 1.5 s nebo 3 s v závislosti na nastavené rychlosti nafukování. Následuje zhasnutí stavové LED 2, byla-li rozsvícena, a návrat do hlavní smyčky, kde je opět zapnuta pumpa.

Při vyhodnocení dosažení nastaveného tlaku, je aktivována čekací rutina opět pomocí watchdog timeru v délce přibližně 10 s. Během této doby svítí oranžová stavová LED 3, signalizující dosažení nastaveného tlaku. Pokud během této doby dojde k poklesu tlaku, např. vlivem netěsnosti nebo při pohybu nohy, je okamžitě zapnuta pumpa a s vynecháním čekací rutiny během nafukování a kontroly akumulátorů dofoukne manžetu na nastavený tlak. Po ukončení čekací rutiny je zhasnuta stavová LED 3 a přejde se do fáze vyfukování manžety.



Obrázek 4.12: Vývojový diagram pro nafukování manžety

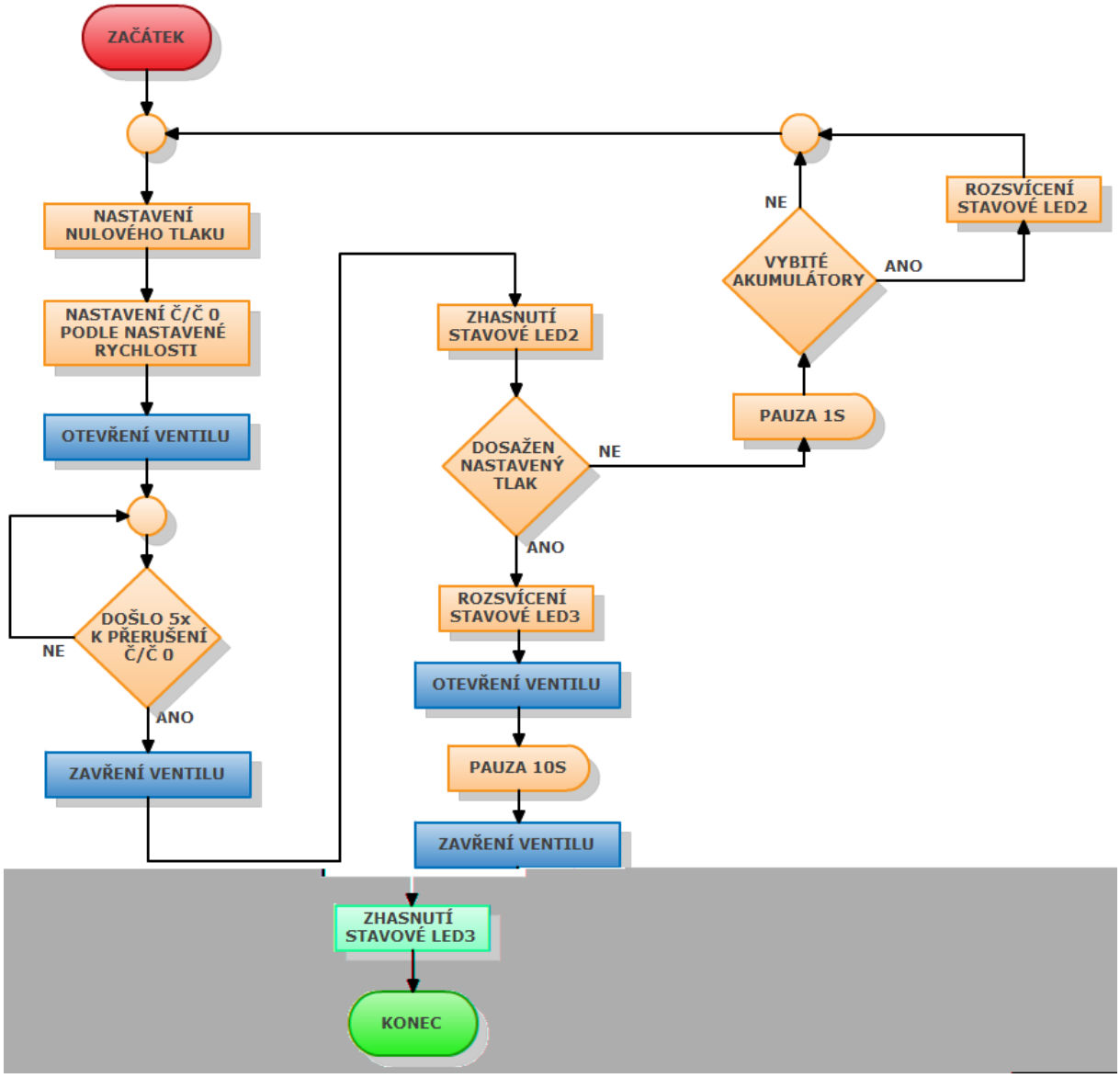
4.3.2 Vyfukování manžety

Před samotným vyfukováním je nastavena hodnota tlaku, na kterou se má manžeta vyfouknout. Tato hodnota odpovídá minimálnímu tlaku, kdy je manžeta téměř vypuštěná. Regulace rychlosti vyfukování manžety je řešena opačně než při nafukování. Ventil je otevřen pouze po nastavenou dobu a zavřen vždy 1 s. Během doby, kdy je ventil zavřen, probíhá opět měření tlaku a kontrola stavu akumulátorů. Doba, kdy je ventil otevřen, je realizována s pomocí 8bitového čítače / časovače 0 (č/č 0). Ten pracuje v režimu „compare match“, kdy je jeho obsah porovnáván s komparačním registrem a v případě shody dojde k přerušení. č/č 0 má nastavenou předděličku na 1024, takže při frekvenci interního oscilátoru 4 MHz trvá čítání do maximální hodnoty přibližně 0.066 ms. To by byla příliš krátká doba otevírání ventilu, a tak je počítáno přerušení 5 krát. Různým nastavením komparačního registru č/č 0 se dosáhne několika rychlostí vyfukování.

Doby otevření ventilu při jednotlivých rychlostech jsou:

- Nejrychlejší – 320 ms
- Střední – 205 ms
- Nejpomalejší – 102 ms

Po vypuštění manžety na definovaný tlak je rozsvícena oranžová stavová LED 3 a přejde se opět do čekací rutiny. Během ní je ventil otevřen a tím dojde k vypuštění zbytkového vzduchu v manžetě. Po uplynutí 10 s je ventil zavřen a přechází se opět do fáze nafukování.

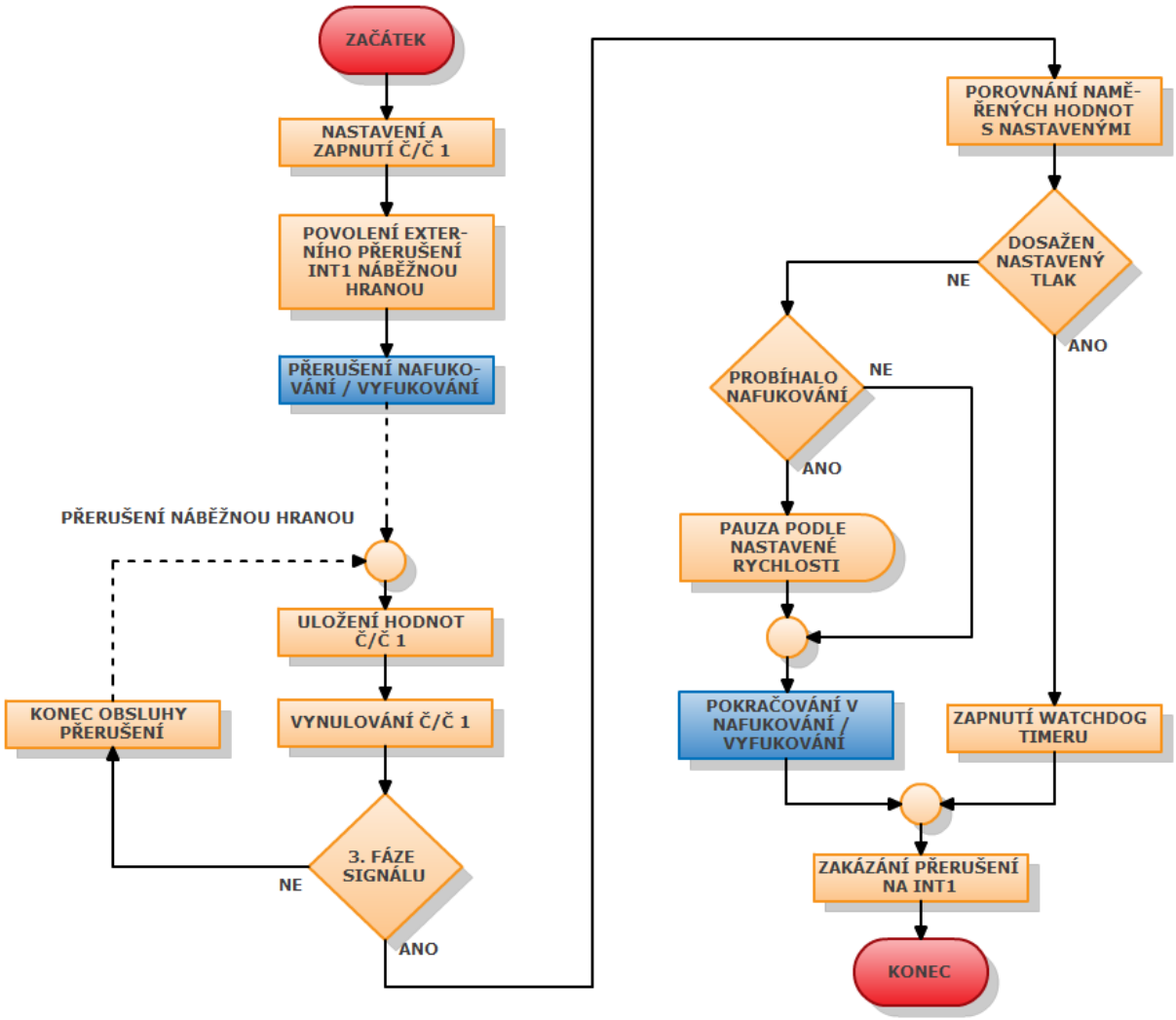


Obrázek 4.13: Vývojový diagram pro vyfukování manžety

4.3.3 Měření tlaku

Princip měření tlaku spočívá ve vzorkování signálu, přivedeného z obvodu UTI03 na pin PD3. Vzorkovaný signál (viz. obrázek 3.4) se skládá ze tří fází, které se neustále opakují. Vzorkování mikrokontrolérem spočívá v tom, že je měřena doba mezi dvěma náběžnými hranami, přičemž není nutné znát hodnotu přímo v sekundách, ale vystačíme si s jednotkami ve formě strojového cyklu.

Pro měření doby mezi dvěma náběžnými hranami je použit 16bitový čítač / časovač 1 (č/č 1) s nastavenou předděličkou 8, který umožní dostatečně velikou rozlišovací schopnost a vzorkovací frekvenci 500 kHz. Na vstupním pinu PD2 je povoleno externí přerušení s citlivostí na náběžnou hranu a po vyvolání přerušeními probíhá čítání č/č 1. Při dalším přerušení je hodnota č/č 1 uložena a č/č 1 vynulován, aby mohl pokračovat v čítání. Hodnota č/č 1 odpovídá délce periody dané fáze.



Obrázek 4.14: Vývojový diagram pro měření tlaku

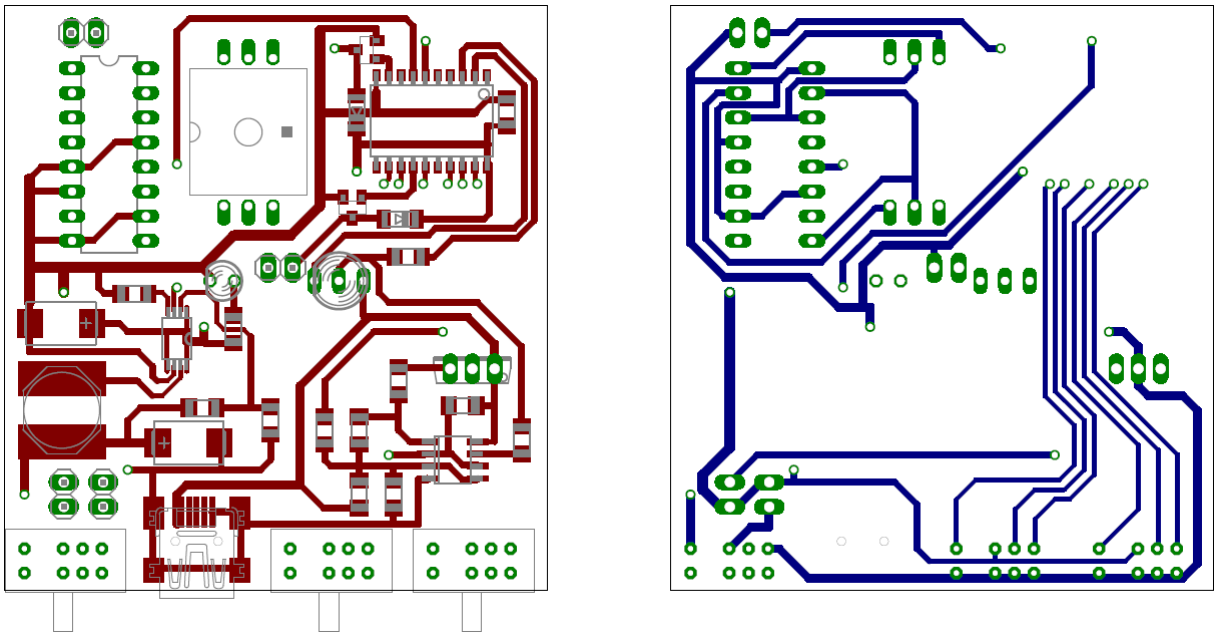
Popis jednotlivých fází je uveden v kapitole 3.3.2. Přesná hodnota tlaku v manžetě nás tak nezajímá a potřebujeme pouze rozlišit několik úrovní tlaku. Proto nemusíme výslednou hodnotu tlaku počítat ze všech tří fází, jak uvádí rovnice 3.1. Pro náš účel postačí měřit a porovnávat délku 3. fáze signálu (odpovídá přivedenému tlaku k senzoru) s přednastavenými hodnotami. S tím souvisí také to, že je při vzorkování potřeba v signálu 3. fázi najít. K tomu je využito toho, že 1. fáze obsahuje dva krátké a téměř shodné impulzy, které lze snadno rozlišit od ostatních. Po jejich nalezení vždy následuje 2. a potom hledaná 3. fáze.

Měření tlaku probíhá pouze ve chvíli, kdy je pumpa i ventil vypnut. Je to z toho důvodu, aby byly při měření zajištěny vždy stejné podmínky. Při zatíženém zdroji napětí např. v průběhu nafukování totiž dojde k mírnému poklesu napájecího napětí a to by mohlo ovlivnit vyhodnocení tlaku. Obsluha měření tlaku je také při probíhajícím nafukování spojena s vytvářením pauzy mezi zapnutím a vypnutím pumpy.

Pokud neodpovídá naměřený tlak požadovanému (nebo není vyšší), je měření ukončeno a pokračuje se v přerušené akci. V opačném případě je aktivován watchdog timer, který odměří 10 s pauzu a poté se pokračuje v navazující akci (nafukování / vyfukování).

4.4 Plošný spoj

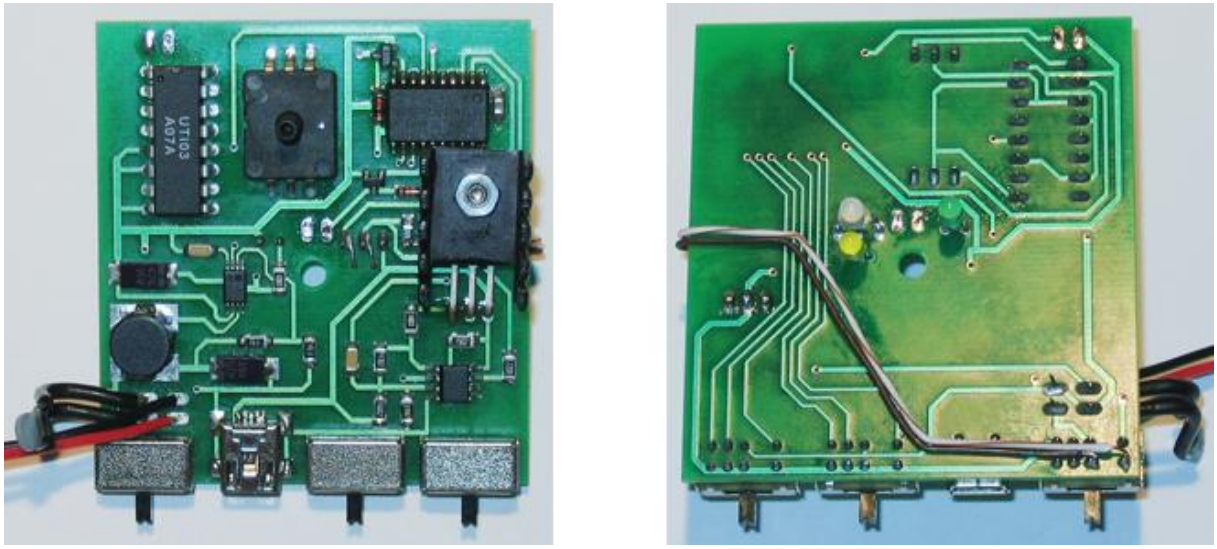
Návrh a výroba plošného spoje probíhala podle schématu, vytvořeném v návrhovém programu Eagle 5.6.0. Celkové schéma zapojení naleznete v příloze D. Vzhledem k malému prostoru uvnitř krabičky, bylo nutné navrhnout oboustranný plošný spoj o rozměrech 60 × 55 mm. V horní vrstvě byly umístěny veškeré součástky a ve spodní vrstvě byly pouze spoje. Protože bylo použito pro senzor tlaku a měřící obvod UTI03 pouzdro DIL, byla spodní vrstva plošného spoje využita hlavně pro jejich vzájemné propojení. Další vyžití bylo pro propojení dvou posuvných přepínačů s mikrokontrolérem, což si vyžádalo 6 spojů. Na obrázku 4.15 je navržený plošný spoj.



a) b)

Obrázek 4.15: Navržený plošný spoj; a) Strana součástek; b) Strana spojů

Osazení plošného spoje proběhlo bez problému a na obrázku 4.16 ho můžete vidět již se součástkami.



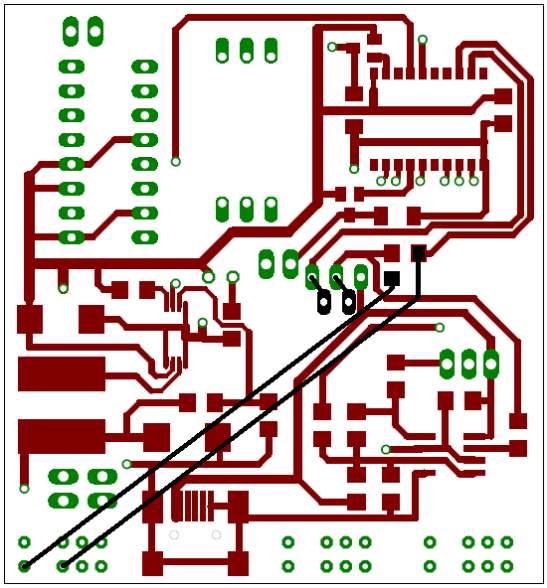
a) b)

Obrázek 4.16: Osazený plošný spoj; a) Strana součástek; b) Strana spojů

5 Testování a konstrukce

5.1 Zapojení

Zapojení a obslužný program byly nejdříve vyzkoušeny a otestovány na nepájivém kontaktním poli, kde se lépe mění součástky i celé schéma při vývoji, aby se předešlo případným komplikacím po osazení plošného spoje. Bohužel po vyrobení plošného spoje, ale ještě před jeho osazením, byla při testování objevena jedna chyba v zapojení. Způsobovala jí dvoubarevná LED 2, jež se používá pro signalizaci nabíjení a vybitých akumulátorů. Problém nastával při nabíjení, kdy se pomocí vodiče od LED 2, připojeného k mikrokontroléru, dostalo napětí i do obvodu zařízení, které mělo být odpojené. Oprava naštěstí spočívala pouze v přivedení tohoto vodiče k mikrokontroléru přes přepínač, který zapíná obvod. Další úpravou, která nebyla nutná, bylo přidání LED 3 pro vylepšení signalizace stavu zařízení. Ta se jen v opačné polarizaci propojila s LED 2 (červenou). Úpravy jsou naznačeny černou barvou na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Úpravy plošného spoje

Jako první byly do plošného spoje osazeny konektory, LED a součástky napájecího zdroje. Zdroj byl po připojení akumulátorů vyzkoušen a proměřen. Poté mohly být osazeny veškeré ostatní součástky. Při testování funkčnosti zařízení bylo nalezeno a opraveno několik špatně připájených vývodů mikrokontroléru. Nakonec bylo potřeba znovu programově zkalibrovat tlakový senzor. To obnáší nastavení několika konstant v obslužném programu, použitých pro vyhodnocování tlaku. Vzhledem k tomu, že se pro programování

mikrokontroléru používal sériový download, bylo nutné připájet na specifické piny mikrokontroléru vodiče, jimiž se dal připájený obvod propojit s programátorem a aktualizovat v něm obslužný program.

5.2 Konstrukce

Při řešení konstrukce byl největší problém vyřešit umístění a upevnění pumpy s ventilem. Muselo se tomu přizpůsobit i rozmístění součástek na plošném spoji. Současně s rozmisťováním součástek se řešil i vliv vedlejšího efektu při nabíjení, kterým je ohřev vnitřku krabičky výkonovým tranzistorem. Dbalo se proto na umístění termistoru co nejdále od zdroje tepla, aby nebylo ovlivněno vyhodnocení konce nabíjecího cyklu.

Na obrázku 5.2 je vidět jednoduchá finální úprava krabičky, která umožňuje snadné upevnění ventilu. Bylo k tomu použito nevyužité místo pod levým držákem baterie, kam se ventil přesně vešel. Do držáku byly vyříznuty dva otvory o rozměrech 7×13 mm pro zasunutí ventilu a dvě drážky, jako průchodky pro napájecí vodiče. Dále zde jsou vidět vyvrtané a vypilované otvory pro stavové LED a posuvné přepínače včetně mini-USB konektoru. Pro ten musel být původně přesný otvor rozšířen, aby bylo možné dostatečně zasunout přívodní kabel. Vzhledem k větší tloušťce této stěny krabičky, to původně nebylo možné.

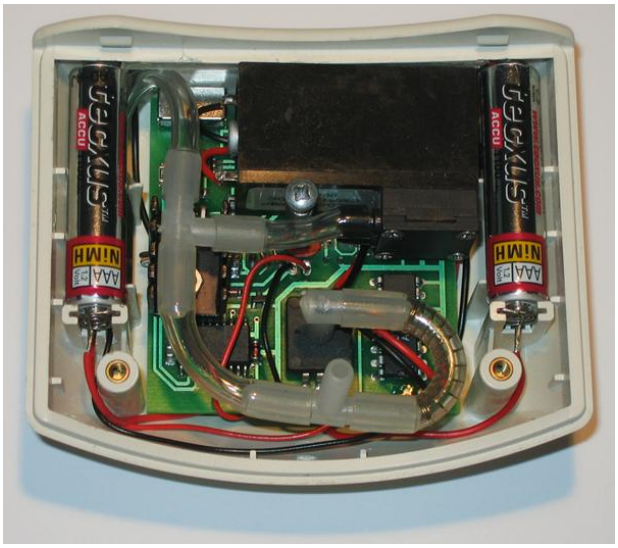
a)

b)

Obrázek 5.2: Upravená krabička; a) Pohled zvenku; b) Vnitřní úpravy

Na obrázku 5.3 je ukázáno konečné vnitřní uspořádání v krabičce. Pumpa odděluje výkonový tranzistor (vlevo pod spojem hadiček) od termistoru (pod pravým akumulátorem) a tím částečně omezuje vliv tepelného zdroje na měření teploty. Plošný spoj je připevněn

pomocí distančního sloupku, který zároveň zajišťuje upevnění pumpy. K distančnímu sloupku je ve finálním řešení přišroubovaná speciální podložka, která podepírá vyústění pro připojení manžety (dole uprostřed).



Obrázek 5.3: Pohled na vnitřek osazené krabičky

5.3 Provoz zařízení

Pro testování správné funkce zařízení byla použita manžeta z tlakoměru o velikosti (32 – 42) cm. V následujících tabulkách 5.1 a 5.2 jsou shrnuty naměřené a zprůměrované doby nafukování a vyfukování při všech kombinacích rychlostí a tlaků. Časy jsou závislé na velikosti použité manžety a na její vůli na lýtku.

Tlak / Rychlost	Nízký	Střední	Vysoký
Nízká	40 s	61 s	89 s
Střední	26 s	41 s	58 s
Vysoká	21 s	28 s	40 s

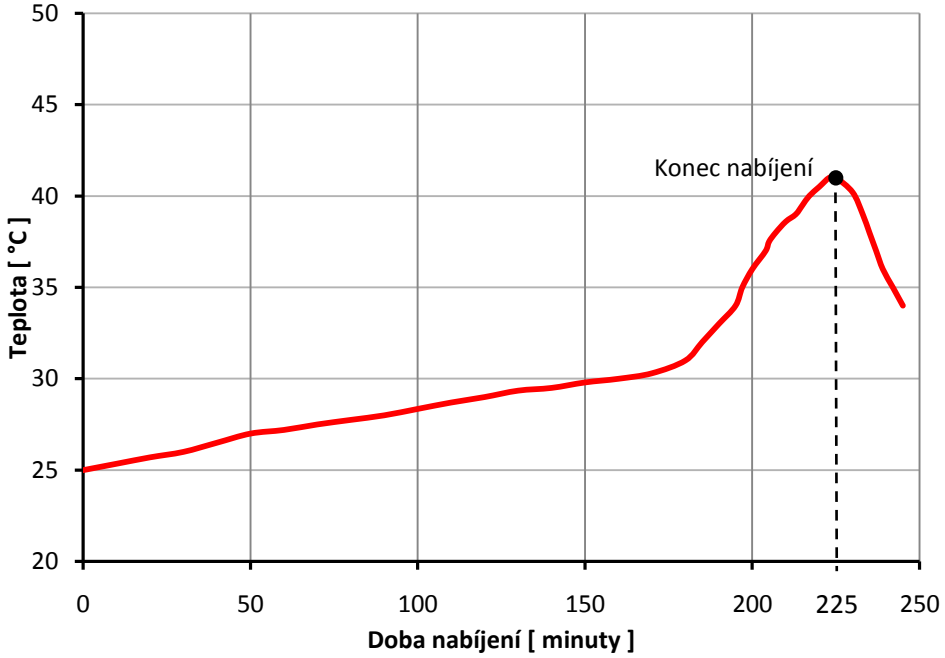
Tabulka 5.1: Porovnání časů nafukování

Tlak / Rychlost	Nízký	Střední	Vysoký
Nízká	36 s	52 s	50 s
Střední	22 s	29 s	26 s
Vysoká	12 s	17 s	21 s

Tabulka 5.2: Porovnání časů vyfukování

5.4 Nabíječka akumulátorů

Při testování nabíječky akumulátorů byla pro ověření správné funkce v uzavřené krabičce měřena teplota článku v blízkosti termistoru. Podle grafu na obrázku 5.4 je vidět, že umístěním termistoru z dosahu výkonového tranzistoru se minimalizoval jeho vliv na měření teploty. Průběh odpovídá teoretickému předpokladu, kdy po nabití akumulátorů začne jejich teplota prudce stoupat. Zařízení bylo testováno s akumulátory o kapacitě **1100 mAh** a jejich plné nabití trvalo **3 hodiny 45 minut**.



Obrázek 5.4: Průběh teploty na akumulátoru během nabíjení

6 Závěr

Výsledkem této práce je funkční prototyp elektronického zařízení, který umožňuje nafukování a vyfukování manžety na lýtku nohy. Nabízí volbu tří rychlostí nafukování a tří úrovní tlaku. Obsahuje nabíječku s detekcí vybitých akumulátorů, která je v závislosti na kapacitě dokáže plně nabít přibližně za dobu 3 - 4 hodiny. Celé zařízení je umístěno v krabičce Ergo Case, velikosti S (high). V přílohách B a C je návod k použití v českém a anglickém jazyce.

Všechny body zadání byly splněny. Jediným, částečně nesplněným bodem, by mohla být minimalizace cenových nákladů. Nepodařilo se sehnat levný miniaturní ventil, a tak byla použita dražší varianta. Vzhledem k tomu, že se jedná prototypové zařízení, neměl by to být takový problém a v případě sériové výroby se může výběr přehodnotit. Ostatní součástky byly vybírány s ohledem na cenu a snadnou dostupnost.

V budoucnu by šlo zařízení zdokonalit a rozšířit o další funkce, jako např. možnost nadefinování úrovní tlaku a rychlostí uživatelem a ve větším rozsahu hodnot. Vyžádalo by si to přidání displeje pro snadné nastavení a zobrazení více údajů.

7 Zdroje

7.1 Literatura

[1] Atmel. (2006). *Mikrokontrolér ATtiny2313 - datasheet*
http://www.atmel.com

[2] EPCOS. (2009). *NTC termistor K164 - datasheet*
http://www.epcos.com

[3] Matoušek, D. (2003). *Práce s mikrokontroléry Atmel AVR AT90S.* Praha: BEN - Technická literatura.

[4] SMARTEC. (2006). *Podpůrný obvod senzorů UTI03 - datasheet*
http://www.smartec.nl

[5] SMARTEC. (2005). *Tlakový senzor SPD005G - datasheet*
http://www.smartec.nl

[6] SMC. (2003). *Ventil S070C-RAG-32 - katalogový list*
http://www.smc.cz

[7] STMicroelectronics. (2005). *Step-up měnič L6920 – datasheet*
http://www.st.com

[8] Vobecký, J., & Záhlava, V. (2005). *Elektronika Součástky a obvody, principy a příklady.* Praha: Grada Publishing, a.s.

[9] Vorkoetter, S. (nedatováno). *Build a USB Powered AA NiMH and NiCd Battery Charger*
http://www.stefanv.com/electronics/usb_charger.html

7.2 Software

[10] Atmel. AVR Studio 4.16 – *debugovací nástroj pro vývoj SW miktokontroléru*
http://www.atmel.com

[11] CadSoft. Eagle 5.6.0 – *editor pro návrh plošných spojů a schémat*
http://www.cadsoft.de

[12] Gliffy. Gliffy online – *online tvorba vývojových diagramů*
http://www.gliffy.com

PŘÍLOHOVÁ ČÁST

A Obsah přiloženého CD

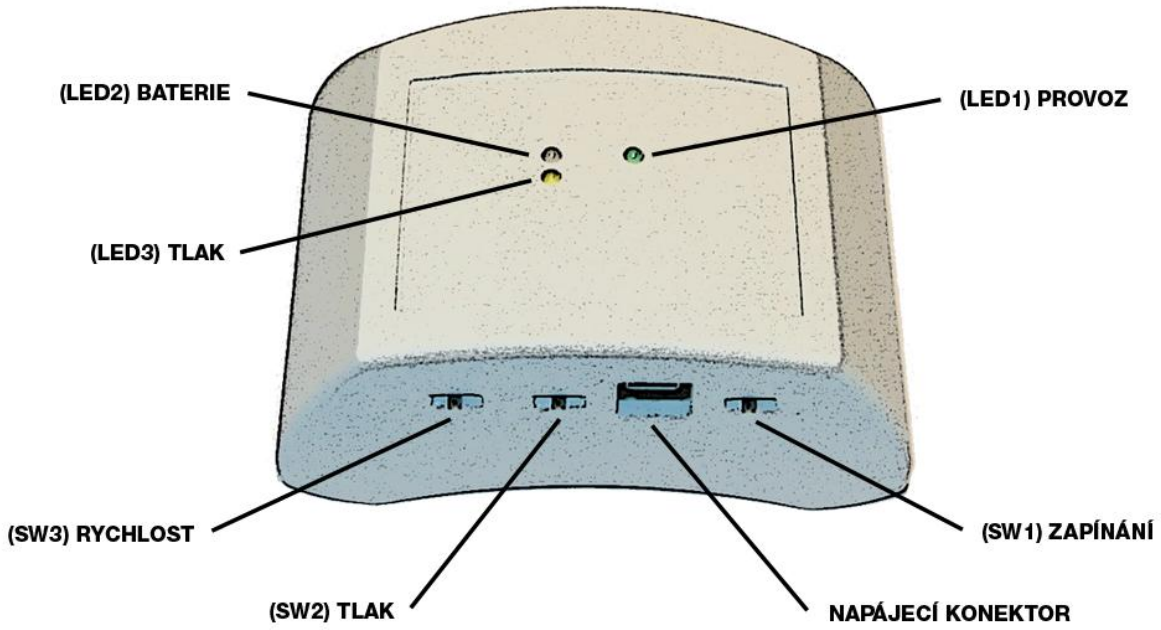
- `\Datasheets\`
  - dokumentace k obvodům použitých v zapojení
- `\Hardware\`
  - soubory schématu a plošného spoje ve formátu pro návrhový systém Eagle
  - GERBER a EXCELLON data pro výrobu plošného spoje
  - schéma a plošný spoj v PDF
- `\Software\`
  - zdrojové kódy obslužného programu mikrokontroléru
- `\Text\`
  - text této práce ve formátu PDF a Office Open XML
  - samostatné přílohy ve formátu PDF

B Příloha – Návod k použití (CZ)

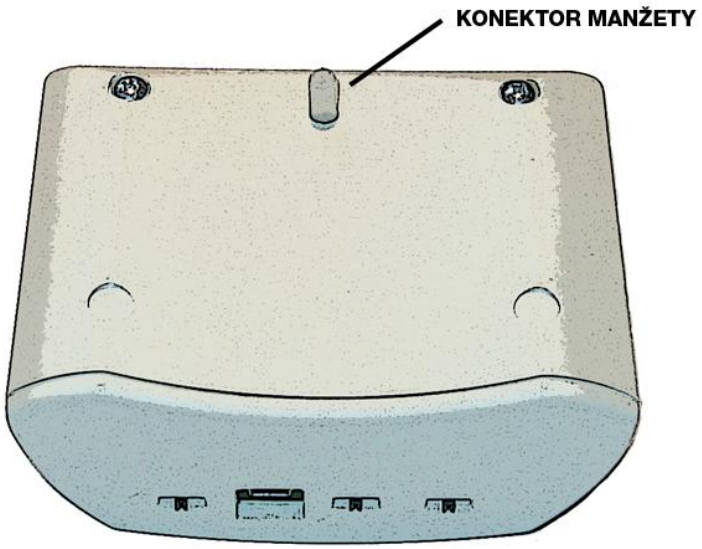
NÁVOD K POUŽITÍ

ELEKTRONICKÉ ZAŘÍZENÍ „PUNČOCHA“

Popis zařízení:



Obrázek 1.: Ovládací a stavové prvky



Obrázek 2.: Zadní strana

Stavové LED

LED1 - Provoz	Stav
Svítí zeleně	Zařízení je v provozu
Nesvítí	Zařízení je vypnuté

LED2 - Baterie	Stav
Svítí zeleně	Probíhá nabíjení
Bliká červeně	Baterie jsou vybité
Nesvítí	Nabíjení ukončeno / Nabíjení není zapnuté

LED3 - Tlak	Stav
Svítí oranžově	Dosažen nastavený tlak
Nesvítí	Probíhá nafukování nebo vyfukování

Přepínače

SW1 - Zapínání	Stav
Poloha ON	Zařízení zapnuto
Poloha OFF	Zařízení vypnuto
Poloha BAT	Nabíjení baterií zapnuto

SW2 - Tlak	Stav
Poloha 1	Nízký tlak
Poloha 2	Střední tlak
Poloha 3	Vysoký tlak

SW3 - Rychlost	Stav
Poloha 1	Nízký rychlost nafukování / vyfukování
Poloha 2	Střední rychlost nafukování / vyfukování
Poloha 3	Vysoká rychlost nafukování / vyfukování

Konektory

Napájecí konektor

Mini-USB konektor pro připojení síťového adaptéru nebo PC k nabíjení baterií (5V DC / 400mA).

Konektor manžety

Výstup vzduchu pro připojení manžety.

Pokyny pro používání zařízení:

Provoz zařízení

1) Zařízení nesmí být zapínáno bez připojené manžety.
2) Manžeta musí být řádně upevněná na noze okolo lýtka, napjatá, ale ne příliš utažená. Mezi manžetu a lýtko by měly jít vsunout dva prsty.
3) Před zapnutím zařízení nastavte požadovaný tlak (SW2) a rychlost nafukování / vyfukování (SW3). Během provozu je možné nastavení měnit.
4) Zapněte zařízení přepínačem SW1 do polohy ON.
5) Pro ukončení provozu vyčkejte, než dojde k vyfouknutí manžety (svítí LED3) a přepněte přepínač SW1 do polohy OFF.
6) Pokud během provozu začne červeně blikat LED2, je potřeba dobít baterie.

Nabíjení baterií

1) Při nabíjení nevystavujte zařízení teplotám vyšším jak 30 °C.
2) Přepněte přepínač SW1 do polohy BAT.
3) Připojte síťový adaptér nebo USB kabel z počítače do mini-USB konektoru, umístěného mezi přepínači.
4) Pokud svítí zeleně LED2, probíhá nabíjení.
5) Doba nabíjení je podle kapacity baterií 3 – 4 hodiny[1].
6) Po ukončeném nabíjení LED2 zhasne.

Upozornění:

1) Zařízení není určeno pro osoby mladší 10 let.
2) Používejte v zařízení jen nabíjecí baterie typu NiCd nebo NiMH.
3) Nikdy nekombinujte dva typy baterií nebo různě vybité baterie.
4) Nebudete-li zařízení delší dobu používat, vyjměte baterie ze zařízení.
5) Nezapínejte zařízení, pokud je připojen síťový adaptér nebo USB kabel.
6) Při nabíjení zařízení nepřikrývejte, nevystavujte jiným zdrojům tepla a přímému slunečnímu záření.
7) Po dokončeném nabíjení odpojte co nejdříve síťový adaptér nebo USB kabel.
8) Neodborným zásahem do zařízení může dojít k jeho poškození či zničení.

[1] Při nabíjení z počítače může být doba delší v závislosti na aktuálním proudovém zatížení USB portu.

C Příloha – Návod k použití (EN)

USER MANUAL

THE ELECTRONIC EQUIPMENT “PUNČOCHA”

Device description:

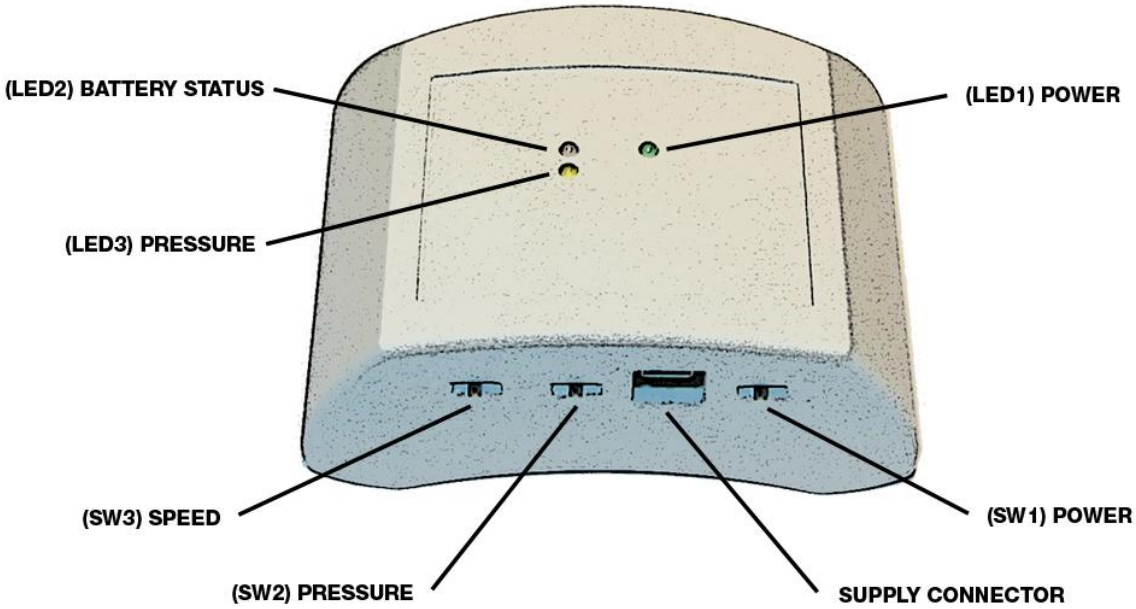


Figure 1.: Controls and indicators

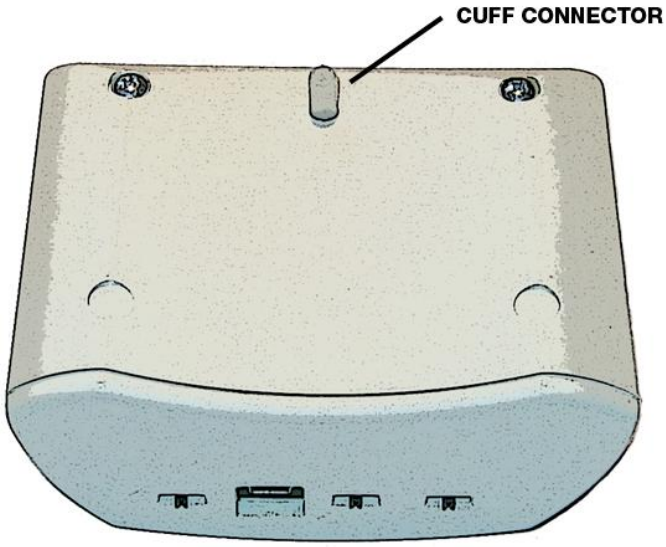


Figure 1.: Back side

LED indicators

LED1 - Power	Status
Solid green	Device is ON
Blank	Device is OFF

LED2 - Battery	Status
Solid green	Battery is charging
Flashing red	Battery is very low
Blank	Battery is fully charged / Battery charging is OFF

LED3 - Pressure	Status
Solid orange	Pressure is reached
Blank	Device is inflating or exhausting

Controls

SW1 - Power	State
Position ON	Device is ON
Position OFF	Device is OFF
Position BAT	Battery charging is ON

SW2 - Pressure	State
Position 1	Low pressure
Position 2	Medium pressure
Position 3	High pressure

SW3 - Speed	State
Position 1	Low speed of inflation/ exhaustion
Position 2	Medium speed of inflation/ exhaustion
Position 3	High speed of inflation/ exhaustion

Connectors

Supply connector

Mini-USB connector for DC adaptor or PC to charge the battery (5V DC / 400mA).

Cuff connector

Exhaust for connecting a cuff.

Instructions for using device:

Running device

1) Device cannot be running without connecting to a cuff.
2) The cuff must be tightly wrapped around a calf but you should be able to fit two fingers in between the cuff and the calf.
3) Set up the required pressure (SW2) and speed of inflation/ exhaustion (SW3) before switching the device on. It is possible to change the settings during the running.
4) To switch ON the device, turn the switch SW1 into ON position.
5) For termination the function, wait until the cuff is fully exhausted (LED3 is solid orange) and turn the switch SW1 into OFF position.
6) If LED2 flashing red during the running, it is necessary to charge up the batteries.

Charging batteries

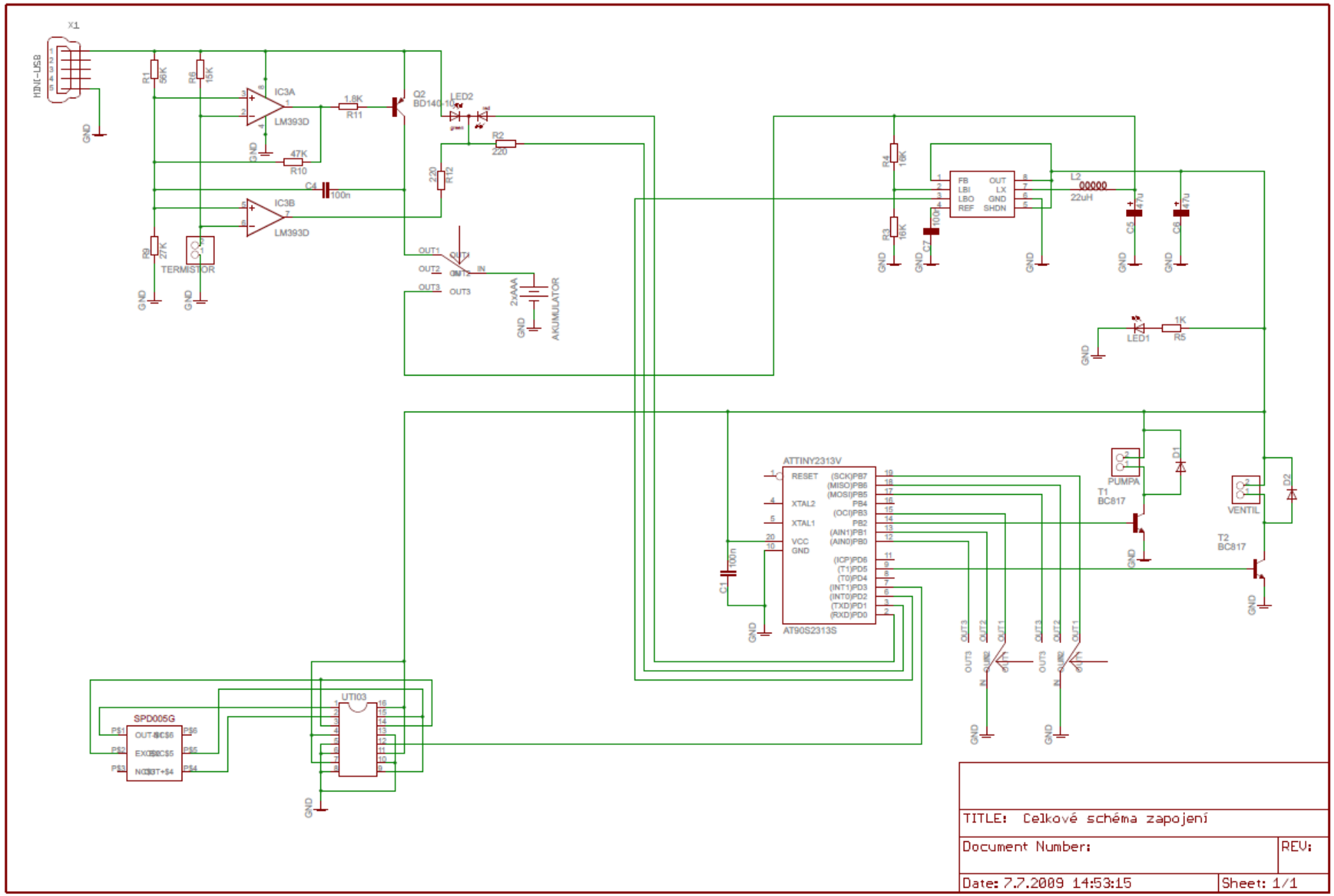
1) When charging, do not expose the device to a temperature higher than 30 °C.
2) Turn the switch SW1 into BAT position.
3) Connect the DC adaptor or the USB cable from the computer to a mini-USB connector, located between the switches.
4) If LED2 is solid green, charging is in process.
5) Charge length is 3 - 4 hours[1] depending on battery capacity.
6) LED2 turns off when batteries are fully charged.

Caution:

1) Device is not to be used by children younger than 10 years old.
2) Use only a battery type NiCd or NiMH for this device.
3) Never mix two types of batteries together or batteries of a different charge.
4) If you are not going to be using the device for a longer period of time, take the batteries out of it.
5) Do not switch the device ON when a DC adaptor or USB cable is plugged in.
6) When charging, do not cover or expose the device to different sources of heat or a direct sunshine.
7) When charging is completed, plug the DC adaptor or USB cable out immediately.
8) By an unqualified intervention the device could be damaged or destroyed.

[1] When charging from a computer, the lenght of charge could be longer depending on the current load of USB port.

D Příloha – Celkové schéma zapojení



TITLE: Celkové schéma zapojení

Document Number:

REV:

Date: 7.7.2009 14:53:15

Sheet: 1/1