VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

OTEVŘENÁ PLATFORMA MOBILNÍHO TELEFONU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. ONDREJ MALINČÍK
AUTHOR

BRNO 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

OTEVŘENÁ PLATFORMA MOBILNÍHO TELEFONU

THE OPEN MOBILE PHONE PLATFORM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. ONDREJ MALINČÍK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. LADISLAV MACHÁŇ
SUPERVISOR

BRNO 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student:	Bc. Ondrej Malinčík	***ID:***	136555
Ročník:	2	***Akademický rok:***	2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Otevřená platforma mobilního telefonu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem diplomové práce je na základě teoretické rešerše provedené v rámci semestrálního projektu navrhnout a realizovat otevřenou platformu mobilního telefonu. Při návrhu musí být kladen důraz na dostupnost použitých součástek a možnost jejich osazení pomocí běžně dostupných nástrojů. Deska plošných spojů musí být maximálně dvouvrstvá tak, aby byla vyrobitelná svépomocí, případně v rámci prototypového programu komerčních výrobců desek plošných spojů. Idea otevřené platformy spočívá ve zveřejnění kompletní výrobní dokumentace a obslužného softwaru pro případné zájemce o stavbu. Každý uživatel si bude moci softwarovou výbavu přístroje přizpůsobit vlastním požadavkům.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce

Termín zadání:	10.2.2015	***Termín odevzdání:***	28.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Macháň
Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cieľom tejto práce je konštrukcia mobilného telefónu, ktorý sa dá zostaviť z bežne dostupných súčiastok. Koncept umožňuje kontrolu nad mobilnou komunikáciou v sieti GSM na úrovni AT príkazov. Dôraz je kladený na úsporu energie a overená je možnosť alternatívneho napájania solárnym článkom. Užívateľ má k dispozícii výrobné podklady a dokumentáciu.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

otvorená, platforma, mobilný, telefón, GSM, modul, AT, príkaz, PIC, správa, napájania, solárny, článok, MPPT

ABSTRACT

The aim of this work is construction of mobile phone which can be build using components that are widely available. The concept allows control of mobile communication in GSM network on AT commands level. Energy saving is emphasised and alternative power source using solar cell is examined. Manufacturing data and docummentation is available for user.

KEYWORDS

open, mobile, phone, platform, GSM, module, AT, command, PIC, power, management, solar, cell, MPPT

MALINČÍK, Ondrej *Otevřená platforma mobilního telefonu*: diplomová práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2015. 79 s. Vedúci práce Ing. Ladislav Macháň

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju diplomovoú prácu na tému „Otevřená platforma mobilního telefonu“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právoch súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno ....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem môjmu vedúcemu práce Ing. Ladislavovi Macháňovi za odbornú pomoc, môjmu kamarátovi Ing. Jaromírovi Sukubovi za odborné konzultácie, mojej mame Ing. Ľudmile Malinčíkovej za pravopisnú úpravu, mojej priateľke Dominike Chrenčovej za štylistickú úpravu pri tvorbe tejto práce a mnohým ďalším, ktorí mi pri tvorbe práce pomohli.

Brno ....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod **12**

1 Mobilná technológia **1**
1.1 Mobilná GSM sieť 1
1.2 Mobilná stanica 3

2 Požiadavky pre otvorenú platformu mobilného telefónu **4**
2.1 Zariadenia s možnosťou vlastnej tvorby 4
2.2 Zariadenia využívajúce mobilnú sieť 6
2.3 Požiadavky pre platformu 8

3 Návrh otvorenej platformy **11**
3.1 GSM modul 11
3.2 Anténa 13
3.2.1 Návrh vedenia k anténe 14
3.3 Batéria 16
3.4 Napájanie GSM modulu 17
3.5 Odrušovacie prvky 18
3.6 Mikrofón 19
3.7 Slúchadlo a zosilňovač 20
3.8 SIM karta, konektor, obvody 21
3.9 1,8" TFT Displej 23
3.9.1 Podsvietenie displeja 25
3.10 Klávesnica 25
3.11 UART rozhranie GSM modulu 26
3.12 Mikrokontrolér 26
3.12.1 Pamäť EEPROM 27
3.13 Meranie napätia batérie 28
3.14 Senzory neelektrických veličín 28
3.14.1 BMP180 - tlakomer, teplomer 30
3.14.2 SHT21 - senzor vlhkosti vzduchu, teplomer 30
3.15 Správa napájania 31
3.16 Regulátor napätia 2,8 V 31
3.17 Obvod pre nabíjanie batérie 33
3.17.1 Napájanie nabíjacieho obvodu 37
3.18 Solárny článok, MPPT 38

3.19 Solárny menič 40
3.20 Výber solárneho panela 42

4 Vyhotovenie otvorenej platformy **44**
4.1 Doska plošného spoja 44
4.2 Osadenie súčiastok na DPS 46

5 Software otvorenej platformy **48**
5.1 Vývojové prostredie 48
5.2 Programátor 48
5.3 Ovládanie displeja 48
5.4 Obsluha klávesnice 49
5.5 Ovládanie GSM modulu 52
5.6 Štruktúra programu 53
5.7 Vizuálny vzhľad menu 56

6 Testovanie a meranie parametrov **57**
6.1 Spotreba telefónu v rôznych režimoch 57
6.2 Spotreba GSM modulu 57
6.3 Metodika merania 58
6.4 Nabíjanie batérie 59
6.5 MPPT menič pre solárny panel 60
6.6 Zhodnotenie výsledkov meraní 61

Záver **62**

Literatúra **63**

Zoznam symbolov, veličín a skratiek **68**

Zoznam príloh **69**

A Výrobná dokumentácia **70**
A.1 Schémy 70
A.2 Motív plošných spojov 75
A.3 Zoznam súčiastok 77

B Fotografie prístroja **79**

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1 Štruktúra siete GSM, [3] 1
1.2 Bunkové usporiadanie BTS v mobilnej sieti GSM 2
1.3 Príklady inštalácií anténnych stožiarov BTS, zdroj: www.x-cellular.com 2
1.4 Bloková schéma základných obvodov mobilného telefónu 3
2.1 Smartfón GTA04 s otvoreným operačným systémom Openmoko, [4] . 4
2.2 DPS smartfónu GTA04, [5] 5
2.3 Modul Arduino GSM Shield [6] 6
2.4 GSM modem fy. Rhydo, [7] 6
2.5 DPS GSM komunikátora, autor Bc. Tomáš Starčok [8] 7
2.6 Rotary Dial Mobile Phone, autor Ing. Jaromír Sukuba [9] 7
2.7 Trend vývoja energetickej hustoty batérií v porovnaní s vývojom výpočtovej techniky, prevzaté a upravené z [10] 9
3.1 Bloková schéma zapojenia platformy, prenos signálov a informácií . . 11
3.2 Nákres modulu Quectel M66, [12] 11
3.3 Nákres antény 2J020, [16] 13
3.4 Odporúčané zapojenie antény, [13] 14
3.5 Prierez koplanárnym vedením 14
3.6 Nákres navrhnutého anténneho vedenia 15
3.7 Prúdový odber a napäťový úbytok napájania GSM modulu počas vysielania 17
3.8 Motív DPS, napájacie prívody od batérie ku GSM modulu 18
3.9 Odporúčané filtračné kondenzátory napájania GSM modulu podľa [13] 19
3.10 Odporúčané zapojenie mikrofónu podľa [13] 19
3.11 Navrhnutý motív pre montáž mikrofónu a súvisiacich súčiastok 20
3.12 Zapojenie zosilňovača LM4889 pre budenie slúchadla 21
3.13 Nákres konektoru SIM karty, [39] 22
3.14 Zapojenie SIM karty, podľa návrhovej príručky [13] 22
3.15 Fotografia grafického 1,8" TFT displeja s rozlíšením 160 × 128 pixelov 23
3.16 Fotografia vodivého motívu na páskovom vodiči displeja s označením TFT177F254FPC, osadenie ST7735R 24
3.17 Pripojenie displeja k MCU 24
3.18 Podsvietenie displeja, regulované obvodom MIC2860-P 25
3.19 Prepojenie UART periférie GSM modulu a MCU 26
3.20 Obvod pre meranie napätia batérie 28
3.21 Blokový diagram zapojenia troch senzorov a pamäti EEPROM v zbernici I^2C 29
3.22 Bloková schéma zapojenia platformy, rozvedenie napájania 31

3.23 Zapojenie LDO stabilizátora MCP1700, [22] 32
3.24 Schéma zapojenia nabíjacieho obvodu MCP73834 [23] 33
3.25 Priebeh nabíjania batérie Li-Ion alebo Li-Poly 34
3.26 Teplotná kompenzácia nabíjacieho prúdu obvodu MCP73834, [23] . . 36
3.27 Obvod pre voľbu zdroja nabíjačky batérie 37
3.28 Volt-ampérová a volt-wattová charakteristika solárneho článku 38
3.29 Vývojový diagram algoritmu MPPT, prevzaté a upravené z [24] . . . 39
3.30 Činnosť MPPT na VA charakteristike solárneho článku 39
3.31 Zapojenie MPPT meniča SPV1040 40
3.32 Zhotovený solárny panel 43
4.1 Vyrobené DPS s vyznačenými blokmi zapojenia 45
4.2 DPS telefónu po osadení všetkými súčiastkami 47
5.1 Zapojenie programovacieho rozhrania ICSP na strane MCU 49
5.2 Zapojenie maticovej klávesnice 4×5 49
5.3 Časový priebeh budenia riadkov klávesnice a čítania stavu v stĺpci . . 50
5.4 Obsluha rutiny prerušenia z časovača pre čítanie stavu sĺpca a zmeny budenia riadku 51
5.5 Vývojový diagram prevádzky GSM modulu pomocou stavového automatu 53
5.6 Vývojový diagram ovládacieho menu, využitie stavového automatu . . 54
5.7 Obsluha stavu menu Nastavenia 54
5.8 Obsah hlavnej programovej slučky 55
5.9 Príklad vytvoreného menu pre ovládanie telefónu. Zľava doprava: Hlavné menu, zadanie telefónneho čísla, vloženie PIN kódu pri prihlásení do siete 56
6.1 Priebeh odberu prúdu GSM modulu na začiatku vysielania 58
6.2 Zapojenie telefónu/GSM modulu pre meranie spotreby 59
6.3 Priebeh nabíjacieho prúdu a napätia batérie; nabíjací obvod MCP73834; kapacita batérie 750 mAh 60
A.1 Vodivý motív, vrchná strana (top) 75
A.2 Vodivý motív, spodná strana (bottom) 75
A.3 Nepájivá maska, vrchná strana (top) 76
A.4 Nepájivá maska, spodná strana (bottom) 76
B.1 Pohľad na vrchnú stranu prístroja 79
B.2 Pohľad na spodnú stranu prístroja 79

ZOZNAM TABULIEK

3.1 Parametre GSM modulu Quectel M66 12
3.2 Parametre antény 2J020, [16] 13
3.3 Parametre batérie LP443450, [17] 16
3.4 Prehľad základných parametrov vybraného displeja 24
3.5 Vybrané parametre zvoleného MCU PIC24FJ64GB004 [19] 27
3.6 Prehľad spotrebičov elektrickej energie v platforme 32
3.7 Parametre nabíjania a ich odvodenie 36
3.8 Parametre zhotoveného solárneho panela 43
4.1 Poradie spájkovania súčiastok na DPS 46
6.1 Spotreba telefónu v rôznych režimoch 57
6.2 Špičkový prúdový odber GSM modulu počas komunikácie v sieti . . . 58
6.3 Použité prístroje pre meranie parametrov 59
6.4 Výsledky merania parametrov solárneho panela a meniča MPPT . . . 60

ÚVOD

V súčasnosti by sme v našej spoločnosti už len sotva stretli jedinca, ktorý nevlastní mobilný telefón, poprípade sa s ním aspoň raz vo svojom živote nestretol. Mobilné telefóny sa stali neodmysliteľnou súčasťou nášho života a vďaka neústálemu pokroku technológií za posledných pár desiatok rokov došlo k rapídnemu nárastu výpočtového výkonu, ktorý je možný umiestniť na čím ďalej tým menšiu plochu. Okrem telefonovania a posielania správ SMS dokážu poslúžiť zároveň ako kalendár, poznámkový blok, fotoaparát s videom, či dokonca vreckový počítač s vlastným operačným systémom s možnosťou práce s internetom. Ponuka rôznych mobilných zariadení na trhu musí uspokojiť každého zákazníka.

Konštrukcia vlastného mobilného telefónu by sa teda vzhľadom na ponuku trhu mohla zdať nepotrebná. Bez prístupu k najmodernejším technológiam pre mechanické konštrukčné prvky, viacvrstvové dosky plošných spojov a osadzovanie najmenších puzdier integrovaných obvodov zdanlivo nie je možné zhotoviť zariadenie, ktoré je schopné akýmkoľvek spôsobom konkurovať komerčným výrobkom.

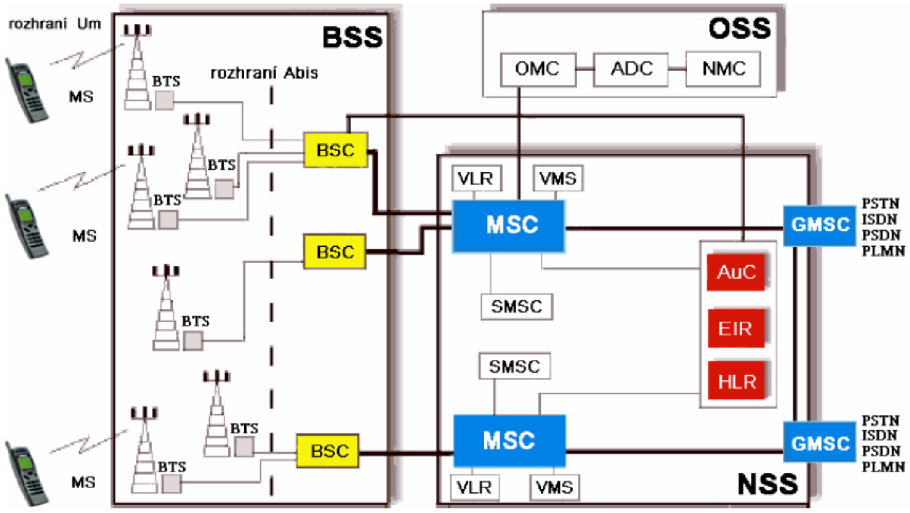
Možnosť uplatnenia vlastnej tvorby užívateľa mobilného zariadenia je možná prakticky len na úrovni softvéru, ako je napr. tvorba vlastných aplikácií, či úprava operačného systému. Existencia konceptu mobilného telefónu, ktorý by dovoľoval bližší pohľad do štruktúry a úpravy jeho hardvéru nie je známa. Z toho dôvodu bolo za cieľ tejto práce zvolené vytvorenie platformy, ktorá sa vyznačuje konštrukciou z elektronických súčiastok, ktoré sú bežne dostupné. Schéma ich zapojenia dovoľuje užívateľovi pochopenie funkcie platformy a umožňuje mu osvojenie si základov práce s mobilnou telekomunikačnou sieťou.

1 MOBILNÁ TECHNOLÓGIA

Na úvod tejto práce je potrebné definovať niekoľko základných pojmov, ako je mobilná stanica alebo mobilná sieť. Kapitola objasňuje ich základnú funkcionalitu a vzájomné vzťahy, ktorých znalosť je vhodná pre návrh otvorenej platformy.

1.1 Mobilná GSM sieť

Najrozšírenejšou rádiotelekomunikačnou sieťou pre telefónne hovory v mobilných telefónoch je GSM sieť. Jej podrobným popisom sa táto práca nezaoberá, uspokojivo ho zastúpi dokument [1] od organizácie ETSI, ktorá sa stará o štandardizáciu v mobilnej komunikácii. Stručnému popisu, vhodnému pre základne pochopenie problematiky mobilnej siete je venovaný článok [3]. Pre návrh platformy je podstatná znalosť pojmov mobilná stanica (angl. *mobile station*, skratka MS) a základňová stanica (angl. *base transceiver station*, skratka BTS). MS nie je ničím iným, než uvažovaný mobilný telefón. BTS je zariadenie, slúžiace ako rádiová stanica, ktorá komunikuje s ďalšími MS pomocou rádiových vĺn. Rádiové spojenie sa zvykne označovať symbolom *Um*. Naviazanosť na ďalšie články mobilnej siete objasňuje obr. 1.1.



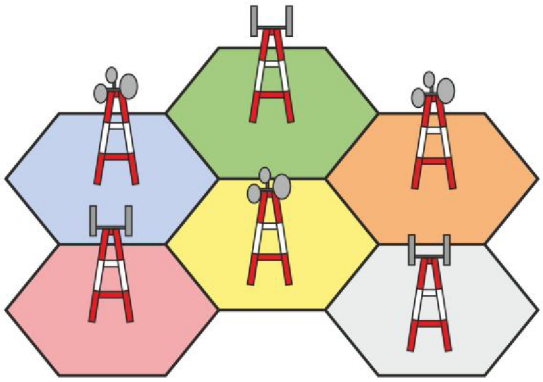
Obr. 1.1: Štruktúra siete GSM, [3]

Na obr. 1.2 vidíme usporiadanie siete základňových staníc do bunkovej štruktúry, ktorej základnou jednotkou je šesťuholníková bunka. Táto štruktúra umožňuje efektívne rozloženie prevádzkových prostriedkov mobilnej siete a taktiež voľný pohyb mobilných staníc naprieč geografickým územím siete. BTS stanice sú mnohým ľuďom dobre známe, napriek tomu, že si to ani neuvedomujú. Pri prejazde krajinou sa môžme stretnúť s anténnymi stožiarmi červeno-bielej farby s plechovými

búdkami u ich základov, v ktorých sú inštalované BTS. Antény sú inštalované na vrcholoch stožiarov. Typické príklady takýchto inštalácií zachytáva obr. 1.3. V mestskej zástavbe sú tieto antény umiestnené častokrát na strechách budov, ktoré svojou výškou prevyšujú tie ostatné.

Rádiové pásma GSM sietí sa odlišujú v závislosti od geografického regiónu, tie sú zväčša viazané na danú krajinu. Vo väčšine krajín je prítomná a používaná dvojica pásiem, sú to GSM-850/GSM-1900 a GSM-900/GSM-1800. Výnimkou je Japonsko a Južná Kórea, ktoré používajú pásmo UMTS-2100, ktorého technológia mobilnej siete je od GSM technológie mierne odlišná. Nasledovný zoznam môže poslúžiť k utvoreniu si predstavy o využití rádiových pásiem v rôznych regiónoch sveta, nezachytáva však ich presné rozdelenie,

- 850 MHz, 1900 MHz - Kanada, USA, Mexiko, väčšina krajín Strednej a Južnej Ameriky,
- 900 MHz, 1800 MHz - Európa, Stredný východ, väčšina krajín Ázie, Afrika, Austrália,
- 2100 MHz - Japonsko, Južná Kórea.



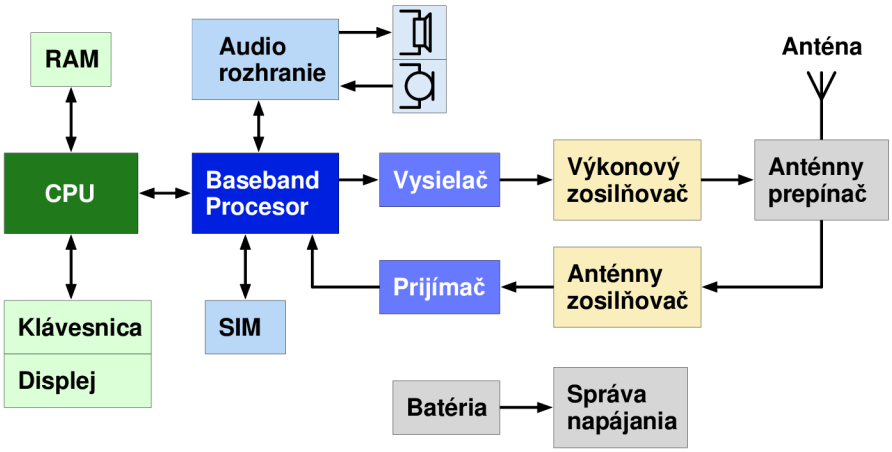
Obr. 1.2: Bunkové usporiadanie BTS v mobilnej sieti GSM

Obr. 1.3: Príklady inštalácií anténnych stožiarov BTS, zdroj: www.x-cellular.com

1.2 Mobilná stanica

Vyššie zmienená *mobilná stanica* MS má z nášho pohľadu predovšetkým formu mobilného telefónu (skrátene MT), ktorý každodenne nosíme pri sebe. Tie sa vyrábajú v obrovskom množstve vyhotovení a funkcionality, avšak ich štruktúra usporiadania a zapojenia súčiastok býva v jadre veľmi podobná. Na obr. 1.4 vidno jedno z možných usporiadaní základných blokov MT.

Každý MT je vybavený elektronickými obvodmi určenými pre rádiotelekomunikačné spojenie s BTS. Sú nimi prijímač s anténnym zosilňovačom pre príjem rádiových vĺn a vysielač s výkonovým zosilňovačom pre ich vysielanie. O riadenie týchto blokov sa stará obvod s angl. názvom *Baseband Processor* (skratka BBP), ktorý máva formu samostatného integrovaného obvodu. Nie je neobvyklým javom, že rovnaký obvod BBP je používaný v niekoľkých modeloch MT. Na BBP je naviazaný riadiaci procesor CPU s ostatnými perifériami, ku ktorým pristupuje užívateľ. Sú nimi napr. klávesnica, displej, USB konektor, slot pamäťovej karty a iné.



Obr. 1.4: Bloková schéma základných obvodov mobilného telefónu

Vhodné je venovať pozornosť SIM karte. Tá je zväčša naviazaná na BBP a slúži na identifikáciu MS v sieti. Identifikovaná MS sa označuje slovom účastník siete, alebo iba účastník (angl. *subscriber*). Údaje o účastníkovi sú uložené v čipe nazývanom SIM (angl. *subscriber identity module*) zaliatom v plastovom puzdre, ktoré je vyseknuté do známeho tvaru SIM karty.

2 POŽIADAVKY PRE OTVORENÚ PLATFORMU MOBILNÉHO TELEFÓNU

Táto kapitola sa v prvej časti zaoberá stručným prehľadom mobilných zariadení založenom na otvorenom koncepte, ktoré poslúžili ako inšpirácia pre vlastnú prácu. Druhá časť je venovaná požiadavkom pre tvorbu otvorenej platformy.

2.1 Zariadenia s možnosťou vlastnej tvorby

Ako bolo v úvode zmienené, mobilných systémov s možnosťou vlastnej tvorby na úrovni softvéru existuje veľké množstvo. Medzi najznámejšie a najrozšírenejšie patrí napr. platforma mobilného operačného systému Android, Windows Phone, Sailfish OS alebo Firefox OS. Zaradiť sem môžeme aj uzavretý systém iOS spoločnosti Apple.

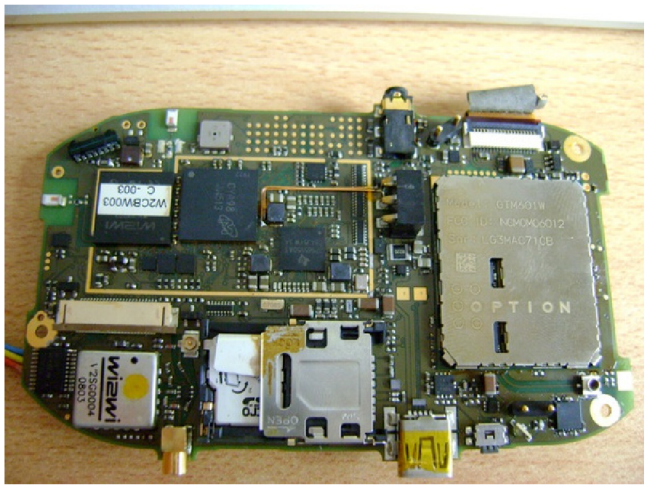
Openmoko

Zaujímavým otvoreným projektom je systém Openmoko [4] založený na jadre operačného systému Linux, čo znamená, že všetky zdrojové kódy sú voľne prístupné a prípadný záujemca si ich môže upraviť podľa vlastných požiadaviek. Jedným z cieľových zariadení určených pre inštaláciu systému Openmoko je hardvérová základňa GTA04 [5], ktorá svojím vyhotovením môže konkurovať aj komerčným výrobkom. Jej vonkajší vzhľad ukazuje obr. 2.1.

Obr. 2.1: Smartfón GTA04 s otvoreným operačným systémom Openmoko, [4]

Užívateľ má k dispozícii procesor s jadrom ARM Cortex A8, 512 MB RAM, 1 GB Flash pamäť a tiež navigačný systém GPS. Súčiastky sú umiestnené na jednej

DPS, ktorú vidno na obr. 2.2. Už pri prvom pohľade na túto fotografiu je jasné, že bez prístupu k technológiam pre osadzovanie najmenších súčiatok v puzdrách BGA a LGA je svojpomocná výroba prakticky nemožná. Napriek faktu, že ide o otvorený projekt, ktorého schéma zapojenia je k dispozícii, jeho zložitosť a použitie súčiastok s veľkým množstvom vývodov prakticky vylučuje úpravu tohto hardvéru. Ďalším negatívom projektu je jeho aktuálna nedostupnosť, keďže jeho výroba prebieha podľa komunitnej stránky len po vyzbieraní finančných prostriedkov nutných pre malosériovú výrobu.



Obr. 2.2: DPS smartfónu GTA04, [5]

Arduino Shield

Známy a rozšírený systém Arduino sa stal základom mnohých vývojových a výukových prostriedkov, ako sú rôzne dosky pre dekomonštráciu funkcie periférií, napr. LCD displej, budič krokového motora, WiFi modem alebo senzory neelektrických veličín. Medzi tieto vývojové dosky môžme zaradiť aj Arduino GSM Shield [6], ktorý umožňuje komunikáciu v mobilnej sieti. Vzhľadom na nedostatok periférií umiestnených na svojej doske sa konceptu mobilného telefónu blíži len veľmi vzdialene a čo viac, uzavretý systém Arduino má možnosti programovania obmedzené len na vyššiu úroveň abstrakcie. Obr. 2.3 zachycuje modul Arduino GSM Shield.

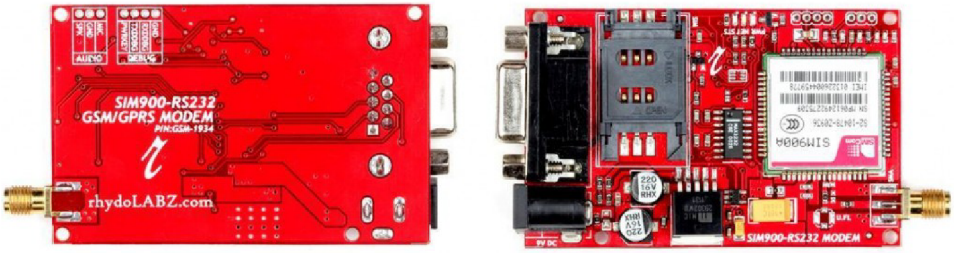
Obr. 2.3: Modul Arduino GSM Shield [6]

2.2 Zariadenia využívajúce mobilnú sieť

Priestor je venovaný ďalším zariadeniam, ktoré sa síce nevyznačujú významnou možnosťou vlastnej tvorby, avšak ukazujú rôzne využitie mobilnej siete.

GSM modem

Jednou z možností ako pristupovať k mobilnej sieti je cez modem. Modemov pre pre prácu s GSM sieťou je na trhu veľké množstvo, jedným z nich je modem [7] fy. Rhydo. Ten má formu jednej DPS, na ktorej sú okrem ďalších súčiastok umiestnené aj konektory pre anténu, napájanie a rozhranie RS-232. Výrobca poskytuje k výrobku detailnú dokumentáciu. Modem je vyobrazený na obr. 2.4.

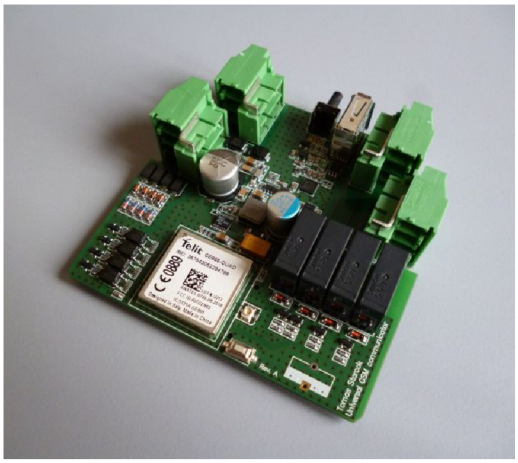


Obr. 2.4: GSM modem fy. Rhydo, [7]

GSM komunikátor

GSM komunikátor [8] umožňuje komunikáciu formou textových správ SMS, určený pre riadiace, monitorovacie alebo zabezpečovacie účely, či už v domácom alebo priemyselnom prostredí. Do týchto prostredí je vhodný tiež svojim vyhotovením, keďže je vmontovaný do krabičky, určenej pre montáž na štandardnú DIN lištu. Komunikátor je vybavený výstupnými obvodmi pozostávajúcich z relé na spínanie záťaže

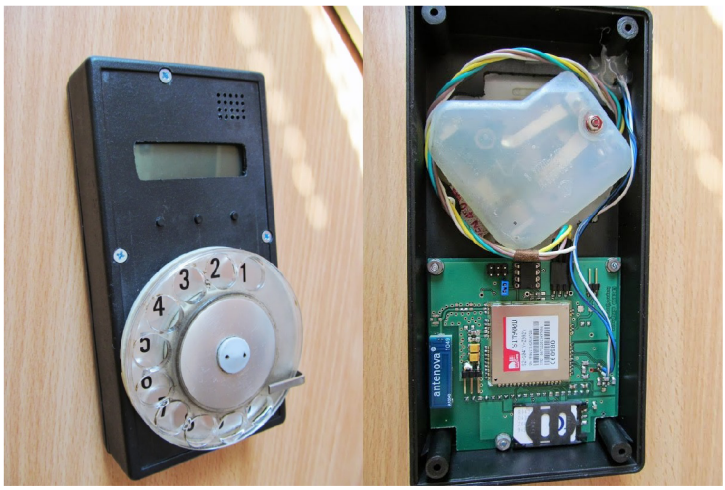
a vstupnými obvodmi tvorenými optočlenmi na snímanie podnetov z okolitého prostredia. Programovanie prebieha cez USB rozhranie skriptovacím jazykom Python. Fotografia výrobku sa nachádza na obr. 2.5.



Obr. 2.5: DPS GSM komunikátora, autor Bc. Tomáš Starčok [8]

Rotary Dial Mobile Phone

Konštrukciou mobilného telefónu sa zaoberá posledný uvedený projekt. Jeho jedinou funkciou je vytočenie a príjem telefónnych hovorov. Slovo *vytočenie* charakterizuje tento extravagantný výrobok, ktorý bol vyrobený za účelom demonštrácie použitia modulu pre účasť v GSM mobilnej sieti. Obr. 2.6 zachycuje vnútorné vyhotovenie tohto prístroja, ktorého detailný opis je prístupný z [9].



Obr. 2.6: Rotary Dial Mobile Phone, autor Ing. Jaromír Sukuba [9]

2.3 Požiadavky pre platformu

Vznik otvorenej platformy bol inšpirovaný vyššie popísanými výrobkami pre využitie mobilnej siete. Ich niektoré charakteristické vlastnosti sa premietli do zostavenia požiadaviek a kritérií pre platformu.

Použitie dostupných súčiastok

Akýkoľvek výrobok so zamýšľanou dlhou dobou života je nutné zhotoviť z komponentov, ktoré je možné zakúpiť u viacerých distribútorov elektronických súčiastok v čo najdlhšom časovom horizonte. Preto je žiadúce používať súčiastky, ktoré sú určené na všeobecné použitie, teda nie sú určené výhradne pre špecifickú aplikáciu. Nezriedka ide o komponenty ponúkané viacerými výrobcami, častá je inovácia výrobku, ktorá zaručuje spätnú kompatibilitu bez nutnosti prepracovania pôvodného zariadenia. Takéto súčiastky sú bývajú k dispozícii na trhu niekoľko rokov.

Zostavenie bez špecializovaného vybavenia

Moderná elektronika je nezriedka plná súčiastok v puzdrách typu LGA, BGA, QFN alebo DFN. Tie sa bez príslušnej osadzovacej technológie, teda bez šablónového nanášania spájkovacej hmoty, osadzovacieho manipulátora a pretavovacej pece prakticky nedajú osadiť. Napriek skutočnosti, že mnohé súčiastky uvedené v nedávnej dobe na trh sú vyrábané prakticky iba v uvedených puzdrách, použitie ekvivalentov v iných puzdrách nie je považované za problém. Nutným minimom pre zostavenie tohto projektu je mikrospájka s možnosťou použitia spájkovacej minivlny. Puzdrá, ktoré sa dajú osadiť len s použitím teplovzdušnej pištole nemožno z návrhu úplne vylúčiť, ich výskyt sa však vymedzuje výhradne na súčiastky, ktoré nie sú potrebné pre základné funkcie platformy. Môžme sem zaradiť napr. senzory neelektrických veličín.

Mikrospájka umožňuje osadenie puzdier typu SOIC, SOT-23, SSOP či TQFP bez ďalšieho špecializovaného náradia.

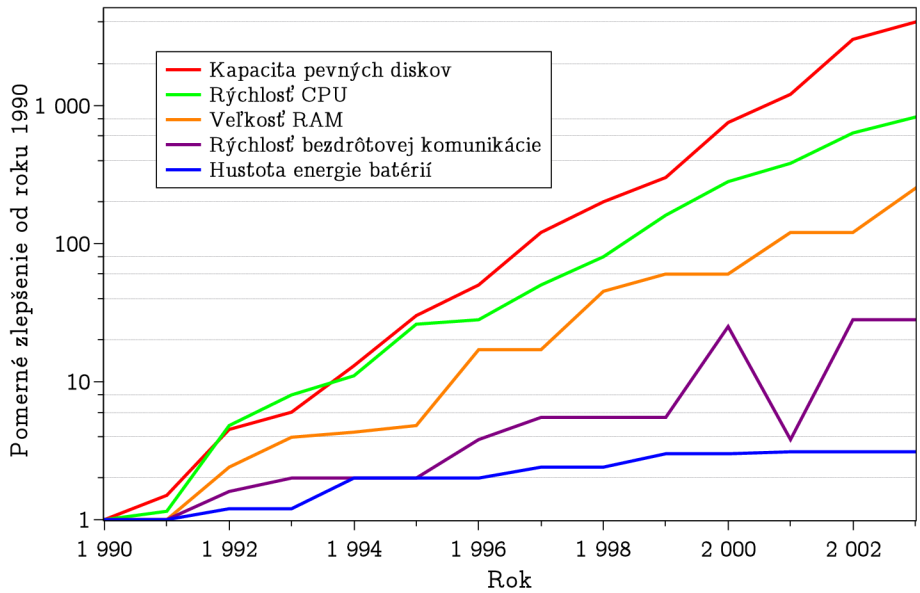
Jednoduchá doska plošných spojov

Doska plošných spojov (ďalej DPS) je neodmysliteľnou súčasťou prevažnej väčšiny elektronických zariadení a inak to nie je ani v navrhovanej platforme. DPS plní okrem funkcie elektrického prepojenia taktiež funkciu konštrukčného prvku a preto je tiež využitá jej možnosť ako nosného prvku konštrukcie.

V modernom elektronickom zariadení je časté použitie viacvrstvovej DPS, t.j. dosky ktorá obsahuje viac než dve vrstvy. Cieľom návrhu je však použitie len dvojvrstvej DPS. Dôvodom je pomerne rozšírená služba, tzv. pool servis značného počtu výrobcov DPS. Táto služba poskytuje zhotovenie obojstrannej DPS za prijateľnú cenu vo vysokej kvalite. Služba je dostupná ako v tuzemsku, tak aj v zahraničí, predovšetkým u ázijských výrobcov, ktorí sa vyznačujú najnižšími cenami.

Maximálna úspora energie

Mobilný telefón je už podľa svojho názvu zariadenie, ktoré musí byť napájané zo svojho vlastného zdroja energie, teda z batérie. Batériu so svojou definovanou kapacitou je nutné z času na čas dobíjať zo zdroja, ktorý už nie je veľmi mobilný. Preto sa od mobilného telefónu očakáva, že bude skonštruovaný s ohľadom na úsporu energie. Toto kritérium je však protichodné s požiadavkami na stále vyšši výpočtový výkon moderných mobilných zariadení, nakoľko podľa Mooreovho zákona hustota integrácie digitálnych obvodov ešte stále rastie. Toto tvrdenie sa však nedá aplikovať na vývoj batériových článkov. Situáciu demonštruje obr. 2.7, z článku [10].



Obr. 2.7: Trend vývoja energetickej hustoty batérií v porovnaní s vývojom výpočtovej techniky, prevzaté a upravené z [10]

Uvedený trend sa prejavuje pomerne nízkou výdržou moderných smartfónov v nabitom stave v porovnaní so staršími telefónmi, ktoré sa nepýšia takým množstvom funkcií.

Veľký výpočtový výkon nepatrí medzi priority tohto projektu, keďže podmienkou jeho implementácie je použitie súčiastok, ktoré boli z konceptu vylúčené na základe predchádzajúceho textu. Tým je dovolené venovať úsilie maximalizácii doby prevádzky z batérie a optimalizácii správy spotreby energie. U komerčných produktov je táto správa užívateľovi prístupná len v obmedzenom rozsahu, otvorená platforma má túto správu čo najviac sprístupniť.

Dobíjanie alternatívnym zdrojom energie

Zaznenie známeho zvukového signálu oznamujúce vybitie batérie vedie zväčša k pripojeniu mobilného telefónu k zdroju energie ako je napájací adaptér alebo USB port počítača, čím slovo mobilný mení svoj význam. V domácom alebo pracovnom prostredí táto situácia nepredstavuje nejaký výrazný problém. Najnevhodnejší moment pre vybitie batérie nastava v teréne bez prístupu k elektrickej rozvodnej sieti.

Ako však nastalo zníženie cien solárnych článkov a ich lepšia dostupnosť na trhu, výrobcovia spotrebnej elektroniky neotáľali s realizáciou rôzných nabíjačiek nezávislých od elektrickej zásuvky. Adaptéry získavajúce energiu zo slnečného svitu sú predmetom podrobného článku [11]. Hlavnou nevýhodou tohto riešenia alternatívneho zdroja energie je závislosť od okolitého osvetlenia. Ďalšou môže byť nutnosť nosenia solárnej nabíjačky so sebou separátne od samotného telefónu, čo znamená prakticky zvýšenie rozmerov a hmotnosti celej zostavy. Navyše hrozí zabudnutie si tejto nabíjačky doma, čím sa dostaneme opäť do situácie bez možnosti batériu dobiť.

Existencia sériovo vyrábaného mobilného telefónu s pevne vstavaným solárnym článkom pre dobíjanie batérie nebola zistená, preto je jedným z cieľov tejto práce výskum možnosti použitia solárneho článku, ktorý je prakticky súčasťou konštrukcie. S využitím moderných nízkoodberových súčiastok a vhodnej správy napájania môže ísť o perspektívnu tému.

Senzory neelektrických veličín

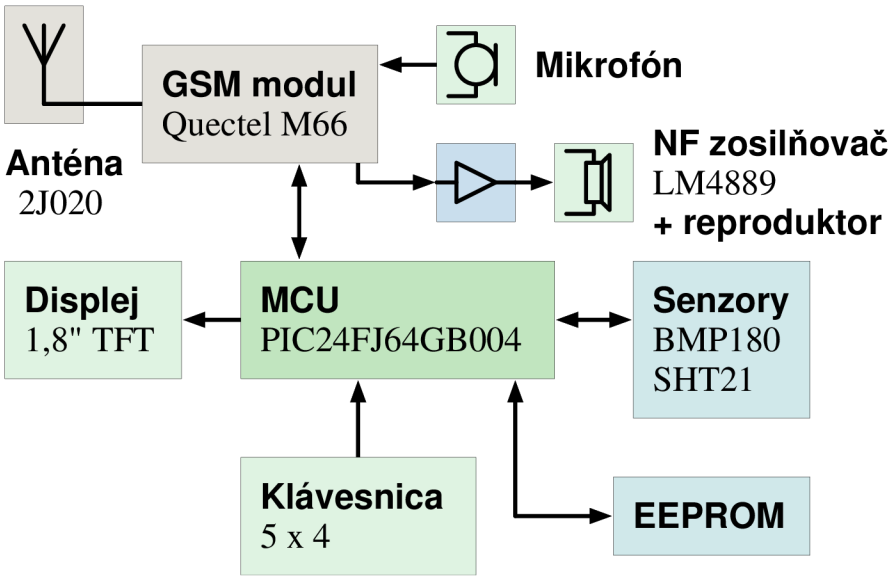
Snímanie rôznych neelelktrických veličín sa stalo štandardnou súčasťou hlavne smartfónov. Užívateľovi sú známe informácie, ako je geometrická poloha získané pomocou akcelerometru, geografický smer zistený elektronickým kompasom alebo hodnota atmosférického tlaku, ktorú je možné prepočítať na nadmorskú výšku.

Voľba osadenia komponentov

Keďže ide o otvorenú platformu prispôsobenú pre čo možno najširšie publikum záujemcov, je žiadúce, aby jednotlivé časti budovaného zariadenia boli od seba čo najviac nezávislé a bola umožnená slobodná voľba v ich osadení.

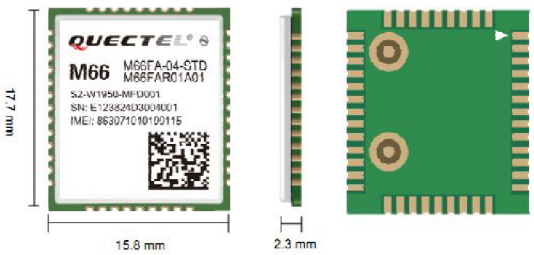
3 NÁVRH OTVORENEJ PLATFORMY

Táto kapitola je zameraná na návrh otvorenej platformy mobilného telefónu. Kapitola je členená do jednotlivých sekcií podľa príslušného komponentu alebo súčiastky. Výber komponentov je zdôvodnený a okolnosti výberu detailne rozobraté. Schéma zapojenia a jej rozbor objasňuje funkcionalitu daného bloku. Bloková schéma zapojenia z hľadiska prenosu signálov a informácii sa nachádza na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Bloková schéma zapojenia platformy, prenos signálov a informácií

3.1 GSM modul



Obr. 3.2: Nákres modulu Quectel M66, [12]

Základným stavebným kameňom otvorenej platformy je GSM modul. Ide o komponent ktorý sprístupňuje užívateľovi služby GSM siete, ako sú telefónne hovory,

posielanie a príjem textových správ, či používanie dátových služieb. Obrovskou výhodou GSM modulu je, že pre jeho použitie nie sú potrebné žiadne pokročilé znalosti rádiotechniky a telekomunikácií a čo viac, používateľ je oslobodený od povinností spojených so splnením legislatívnych podmienok pre prevádzku v telekomunikačnej sieti. Modul v sebe zahŕňa všetky potrebné elektronické obvody pre konektivitu s GSM sieťou a ich štruktúra je veľmi podobná ako vo väčšine mobilných telefónov (viď. kapitola 1.2). K modulu je nutné pripojiť mikrofón a reproduktor pre telefónne hovory, anténu pre rádiové spojenie, konektor SIM karty pre identifikáciu účastníka a nadradený riadiaci prvok, najčastejšie mikroprocesor. Užívateľ komunikuje s modulom sadou štandardizovaných, tzv. AT príkazov, ktoré sú do istej miery univerzálne pre telekomunikačné prístroje. Ich podrobným popisom sa zaoberá dokument organizácie ETSI [2].

Tab. 3.1: Parametre GSM modulu Quectel M66

Podporované pásma	Quad-band 850/900/1800/1900 MHz
Výkonová trieda (podľa ETSI GSM Phase 2/2+ [1])	Trieda 4 (2W) @ 850/900 MHz Trieda 1 (1W) @ 1800/1900 MHz
Napájacie napätie	3,3 - 4,6 V 4,0 V nominálne
Spotreba v nečinnom režime	1,3 mA
Rozmery	17,7 × 15,8 × 2,3
Rozhrania	3 × UART, 2 × SPK, 1 × MIC, 1 × PCM, 1 × Bluetooth, 1 × ADC, 1 × RTC
Rozhranie antény	50 Ω spájkovacia ploška

Vysvetlivky: Quad-Band = označenie pre použitie štyroch rádiových pásiem, SPK = reproduktor, MIC = mikrofón, ADC = analógovo-digitálny prevodník, PCM = digitálne audio rozhranie, RTC = hodiny reálneho času

GSM moduly vyrába niekoľko výrobcov v rôznych vyhotoveniach, avšak ich základná funkcionalita je veľmi podobná. Jednotlivé modely sa od seba líšia typom svojho puzdra, rozmermi, podporovanými periférami a taktiež cenou. Pre platformu bol vybraný modul Quectel M66 [12]. Hlavným dôvodom pre jeho výber boli malé rozmery v porovnaní s konkurenčnými výrobkami a použité puzdro LCC44, ktoré sa dá jednoducho osadiť na DPS pomocou mikrospájky. Nákres modulu vidno na obr. 3.2. Dôležité parametre modulu sú zaznamenané v tab. 3.1

GSM modul je vybavený veľkým množstvom periférií, ktorých funkcionalita je pevne naviazaná na špecificky súvisiace obvody. Preto je ich popis vhodné rozdeliť

do samostatných sekcií. Navrhnuté obvody väčšinou rešpektujú odporúčané riešenie výrobcom, ktoré je uvedené v návrhovej príručke [13] alebo referenčnom návrhu výrobcu [14].

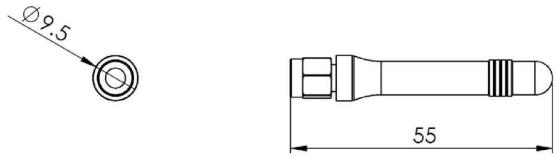
3.2 Anténa

Tab. 3.2: Parametre antény 2J020, [16]

Frekvenčné pásmo	AMPS (824-894 MHz) GSM (900MHz) DCS (1800MHz) PCS (1900 MHz) 3G (UMTS 2,1 GHz)
Impedancia	50 Ω
Polarizácia	vertikálna
Zisk	2,14 dBi
Napäťový činiteľ stojatých vĺn	<2:1
Maximálny výkon	25 W
Dĺžka antény	¼ λ

Anténa je zariadenie, ktoré slúži na príjem a vysielanie elektromagnetických vĺn, zväčša vo vzdušnom prostredí. Tieto rádiové vlny sú nositeľom informácii medzi základňovou stanicou a účastníkom v sieti GSM. Konštruktér využívajúci GSM modul je zdanlivo vystavený obtiažnej úlohe spočívajúcej v návrhu antény s parametrami vhodnými pre rádiokomunikáciu v určenom pásme. Tomuto návrhu je možné sa vyhnúť použitím antény, ktorá je k dispozícii ako hotový výrobok s definovanými parametrami od výrobcu.

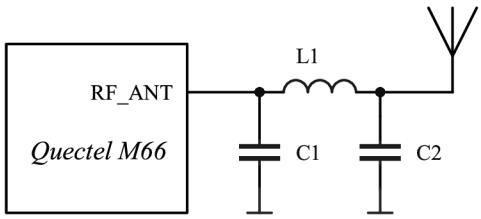
Vybraná bola anténa 2J020 [16] od fy. 2J. Tá sa vyznačuje jednoduchou montážou na závit SMA konektora. Použitie uhlového SMA konektora zabezpečí polohu antény voči DPS, pri ktorej je os antény rovnobežná s rovinou DPS. Na obr. 3.3 sa nachádza nákres tejto antény a v tab. 3.2 sú uvedené jej parametre.



Obr. 3.3: Nákres antény 2J020, [16]

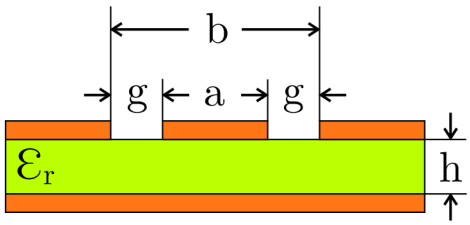
3.2.1 Návrh vedenia k anténe

GSM modul je vybavený rozhraním pre pripojenie antény, ktorému prislúcha jedna spájkovacia ploška na puzdre súčiastky. Rozhranie je charakterizované impedanciou 50 Ω. Prenos elektrickej energie medzi anténnym rozhraním a anténou prebieha po vedení, ktoré je nutné navrhnúť taktiež s impedanciou 50 Ω. Schému zapojenia antény podľa výrobcu ukazuje obr. 3.4. Zakreslený prispôsobovací π-článok slúži pre prispôsobenie impedancie vedenia, v prípade, že sa k modulu pripája anténa s impedanciou inou než je 50 Ω. V prípade použitia antény so zhodnou impedanciou je možné π-článok vylúčiť a vedenie navrhnúť ako priame vedenie.



Obr. 3.4: Odporúčané zapojenie antény, [13]

Keďže anténny vývod modulu Quectel M66 je ohraničený zemnými vývodmi a modul je umiestnený na dvojvrstvovej doske plošného spoja s rozliatou meďou, vzniknutá situácia nám dovoľuje vedenie analyzovať ako tzv. koplanárne vedenie (angl. *coplanar waveguide*, skratka CPW). Situáciu znázorňuje obr. 3.5.



Obr. 3.5: Prierez koplanárnym vedením

Pre návrh vedenia sú známe hodnoty relatívnej permitivity základného materiálu pri frekvencii 1 GHz a jeho hrúbka, ktoré sú odčítané z dátového listu materiálu DE104 fy. Isola [34]. Tento materiál používa fy. Gatema, ktorej bola výroba DPS zadaná. Parametre sú $\varepsilon_r = 4,37$; $h = 1,5\ mm$. Ostatné parametre a, g je nutné vypočítať. Impedanciu vedenia vyjadruje vzťah

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \frac{1,0}{\dfrac{K(k)}{K(k')} + \dfrac{K(kl)}{K(kl')}}, \tag{3.1}$$

v ktorom efektívna permitivita ε_{eff} je

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1 + \varepsilon_r \dfrac{K(k')}{K(k)} \dfrac{K(kl)}{K(kl')}}{1 + \dfrac{K(k')}{K(k)} \dfrac{K(kl)}{K(kl'}}. \tag{3.2}$$

V obidvoch vzťahoch vystupuje úplný eliptický integrál prvého druhu premenných k, k', kl, kl'. Tie vyjadríme postupným dosadením analyzovaných parametrov a, b, h,

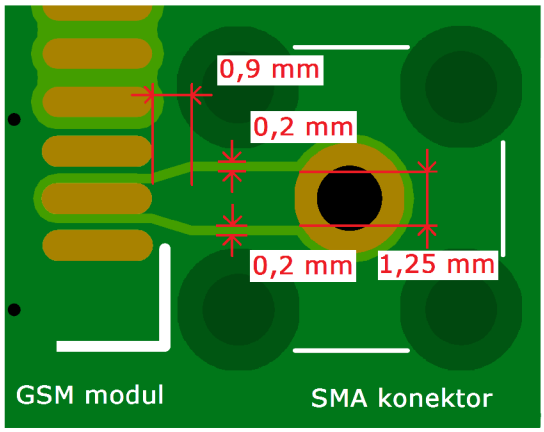
$$k = \frac{a}{b},$$

$$k' = \sqrt{1,0 - k^2},$$

$$kl' = \sqrt{1,0 - kl^2},$$

$$kl = \frac{tanh\left(\dfrac{\pi a}{4,0h}\right)}{tanh\left(\dfrac{\pi b}{4,0h}\right)}.$$

Výpočet uvedených integrálov za nás vykoná kalkulačka, akých je na internete dostupných niekoľko. Jednou z nich je [33] a umožňuje už priamy výpočet impedancie vedenia zadaním svojich parametrov a, g, h, ε_r. Skusmou metódou boli stanovené parametre navrhovaného vedenia $a = 1,25\ mm$ a $g = 0,2\ mm$, ktorých spätným zadaním do kalkulačky obdržíme impedanciu $50,27\ \Omega$. Navrhnuté vedenie od spájkovacej plošky anténneho rozhrania k SMA konektoru zobrazuje obr. 3.6.



Obr. 3.6: Nákres navrhnutého anténneho vedenia

3.3 Batéria

Batéria je hlavným zdrojom energie mobilných zariadení, ktorý premieňa uloženú chemickú energiu na elektrickú a pri nabíjaní opačným smerom elektrickú energiu na chemickú. Batérií existuje veľké množstvo druhov, ktoré sa odlišuju množstvom parametrov ako je chemické zloženie, vyhotovenie, napätie, vybíjací prúd, životnosť alebo energetická hustota vztiahnutá na jednotku hmotnosti. Posledný menovaný parameter je význačný pre lítium-iónové (Li-ion) a lítium-polymérové (Li-poly) batérie, ktoré zaznamenali v posledných rokoch veľké rozšírenie do mobilných aplikácií. Stručnému opisu Li-ion batérií sa venuje [28].

Pre výber batérie pre otvorenú platformu bola zvolená technológia Li-poly. Tá sa odlišuje od Li-ion len v niektorých parametroch ako je mierne vyššia cena, či nižšia životnosť. Pozitívom je nižšia hmotnosť, širší výber rôznych vyhotovení (tvarov) článkov batérie a taktiež vyššia hodnota energetickej hustoty. Ďalší prehľad tejto problematiky poskytuje článok [29].

Nominálna hodnota výstupného napätia ako Li-ion tak aj Li-poly článku je 3,7 V. Ich elektrické a nabíjacie charakteristiky sú takmer identické, stručne tak opisuje článok [30]. Podľa neho tiež môžeme zistiť, že v nabíjacej charakteristike dosahuje maximálne napätie hodnotu 4,2 V. S nominálnou a maximálnou hodnotou napätia Li-ion/Li-poly článku korešponduje elektrická charakteristika väčšiny GSM modulov.

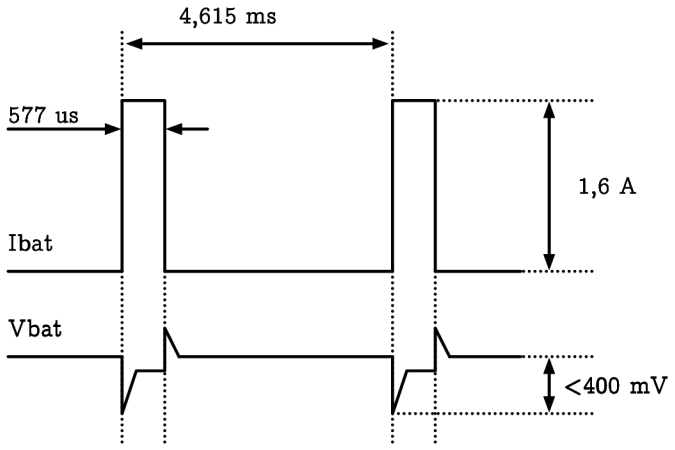
Pre napájanie platformy bol vybraný model batérie LP443450 [17] od fy. Cellevia. Jej parametre, (zaznamenané v tab. 3.3), predstavujú kompromis medzi kapacitou, rozmermi a cenou. Batéria je vybavená miniatúrnou DPS zabudovanou v tele batérie, ktorá obsahuje ochranné obvody, napr. proti prebitiu batérie alebo pred deštrukciou vplyvom prekročenia prevádzkovej teploty.

Tab. 3.3: Parametre batérie LP443450, [17]

Rozmery	50 × 34 × 4,4 mm
Hmotnosť	15 g
Nominálna kapacita	750 mAh
Nominálne napätie	3,7 V
Rozsah prevádzkového napätia	3,0 V - 4,2 V
Nabíjací prúd (štandardne)	375 mA
Nabíjací prúd (rýchle nabíjanie)	750 mA
Životnosť v závislosti od teploty	1 rok, -20 .. +20 °C, >70% 3 mesiace, -20 .. +45 °C, >70% 1 mesiac, -20 .. +60 °C, >70%

3.4 Napájanie GSM modulu

Napájanie GSM modulu je kritickou časťou návrhu. Podľa návrhovej príručky [13] je nutné tomuto návrhu venovať zvláštnu pozornosť, keďže modul sa vyznačuje značným prúdovým odberom počas vysielania. Vysielanie v GSM technológii sa dá charakterizovať ako nespojité, ktoré prebieha v dávkach, tzv. *burst*. Tieto prúdové rázy majú dĺžku 577 µs a periódu 4,615 ms. Modul M66 má uvedenú hodnotu odberu prúdu počas burstu 1,6 A, tá však môže dosiahnúť aj 2 A, v prípade nevhodného prispôsobenia vedenia k anténe alebo použitím nevhodnej antény. Priebeh spotreby znázorňuje obr. 3.7. V ňom sa nachádza aj priebeh úbytku napätia na napájacom vývode VBAT, ktorý nesmie prekročiť 400 mV, pričom absolútna hodnota napätia Vbat nesmie klesnúť pod 3,3 V. Pokles napätia Vbat pod túto hodnotu môže spôsobiť náhle reštarty modulu alebo iné, výrobcom nešpecifikované prejavy.

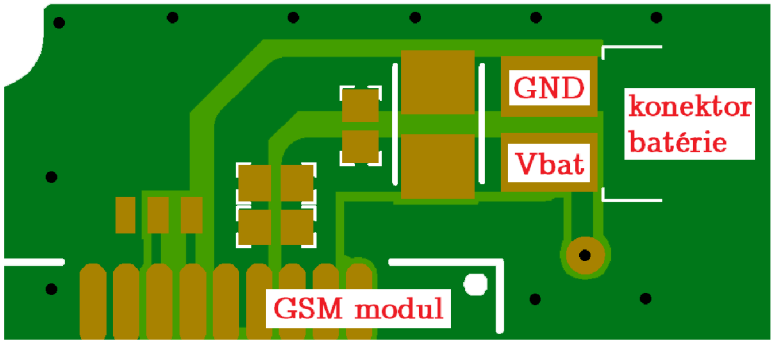


Obr. 3.7: Prúdový odber a napäťový úbytok napájania GSM modulu počas vysielania

Pre splnenie podmienok napájania je nutné zaistiť vhodný napájací zdroj. V prípade, že by bola potrebná konverzia z vyššieho napätia, napr. pri napájaní adaptérom, najvhodnejším riešením by bol spínaný DC-DC menič, adekvátne dimenzovaný. Tým sa komplikuje návrh zdroja a rastie množstvo potrebných súčiastok.

Napájacie napätie GSM modulov je zväčša prispôsobené na rozsah napätia batérií Li-Poly, čomu zodpovedá aj rozsah modulu M66 3,3 V - 4,6 V. Najjednoduchšou možnosťou napájania GSM modulu je teda priame pripojenie k batérii. Napäťové úbytky na napájacích vodičoch počas vysielania (viď. obr. 3.7) je najefektívnejšie eliminovať čo najkratšími cestami na DPS medzi modulom a konektorom batérie. Navrhnutý motív týchto ciest zobrazuje obr. 3.8. Dĺžky ciest predstavujú nutné minimum pre umiestnenie predpísaných súčiastok podľa návrhovej príručky [13].

Dĺžka prívodu GND je 16,5 mm a dĺžka prívodu VBAT je 12,5 mm. Tieto vzdialenosti boli zmerané medzi stredmi spájkovacích plošiek batériového konektora a GSM modulu. Šírka cesty je 1,8 mm, čo zodpovedá vzdialenosti od dvoch okrajov susedných spájkovacích plošiek, v tomto prípade napájacie vývody VBAT a GND.

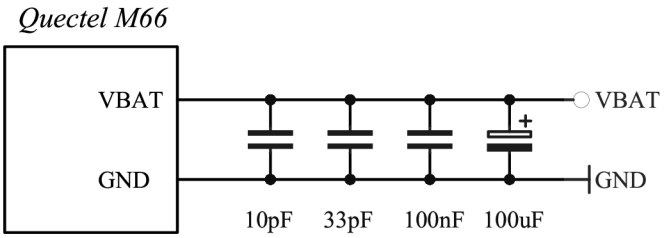


Obr. 3.8: Motív DPS, napájacie prívody od batérie ku GSM modulu

3.5 Odrušovacie prvky

Ako bolo vyššie spomenuté, vysielanie v GSM technológii sa prejavuje rázovými prúdovými odbermi zo zdroja s periódou 4,615 ms. Prechodový dej spôsobený prúdovým rázom sa môže ľahko prejaviť ako rušenie v obvodoch, ktoré sú naň citlivé. Príkladom je zosilňovač so slúchadlom, v ktorom môžme počuť typické rušivé ruchy s frekvenciou 217 Hz. Táto frekvencia bola získaná práve ako prevrátená hodnota periódy 4,615 ms. Podľa aplikačnej poznámky [35] sa vzniknuté rušenie prenáša do citlivých obvodov predovšetkým dvomi spôsobmi - zvlnením napájacieho napätia a úbytkami napätia vzniknutých na napájacích prívodoch.

Prejavy rušenia však nemožno úplne eliminovať ani pri dodržaní vhodných návrhových pravidiel spomenutých v [35]. Výrobcovia hardvéru pre GSM technológiu preto odporúčajú na kľúčové pozície v zapojení, ako sú napájacie prívody umiestniť keramické blokovacie kondenzátory. Kapacita 33 pF je vztiahnutá na pásmo 900 MHz a hodnota 10 pF filtruje rušenie v zrkadlovom pásme 1800 MHz. V navrhnutom motíve prívodných vodičov na obr. 3.8 vidno pozície pre tieto kondenzátory, ktoré spolu s ďalšími hodnotami odporúča použiť výrobca modulu podľa schémy na obr. 3.9. Tieto hodnoty sú 100 nF keramický a 100 µF elektrolytický tantalový . Posledný kondenzátor slúži na kompenzáciu vzniknutého úbytku napätia na napájacom vývode počas vysielania.

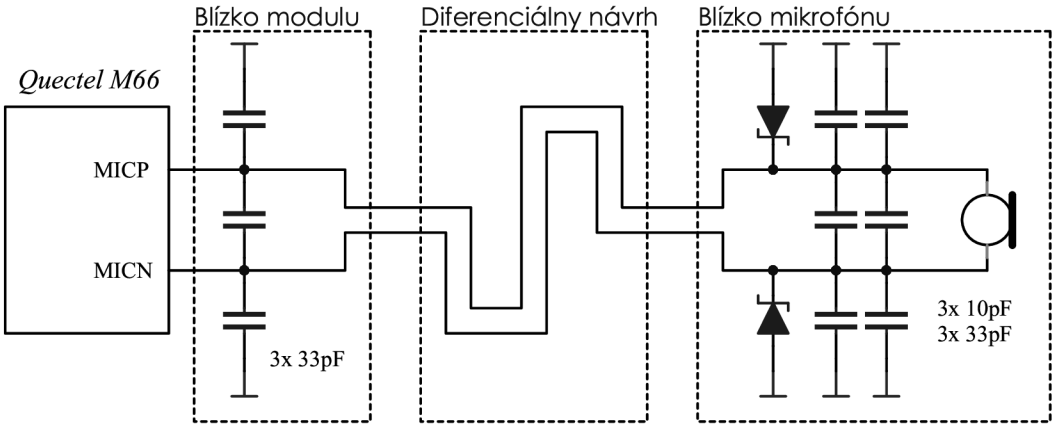


Obr. 3.9: Odporúčané filtračné kondenzátory napájania GSM modulu podľa [13]

3.6 Mikrofón

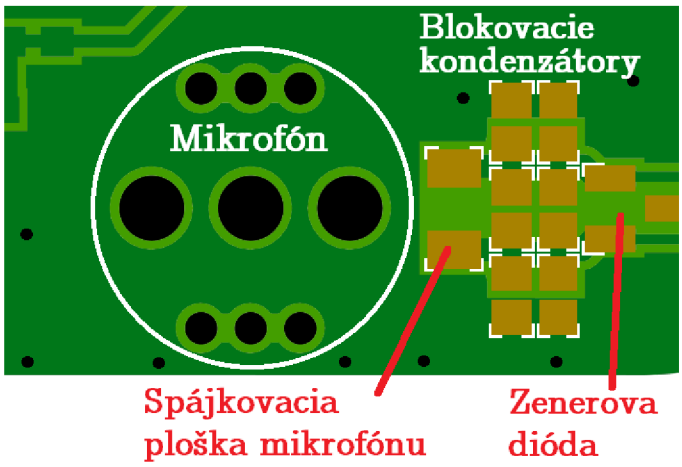
Modul M66 je vybavený rozhraním pre pripojenie mikrofónu, ktorý premieňa hovorené slovo na elektrický signál počas telefónneho hovoru. Najčastejší druh používaných mikrofónov v mobilných telefónoch je elektretový. Tento druh sa vyznačuje menovitou impedanciou zväčša 2,2 kΩ. Táto hodnota je pomerne nízka, čím je mikrofón odolnejší voči rušeniu v porovnaní s inými, vysokoimpedančnými elektronickými súčiastkami.

Odporúčané zapojenie je viditeľné na obr. 3.10. V ňom vidno opäť použitie blokovacích kondenzátorov 10 pF a 33 pF. Tie sú v samostatnom zoskupení pri module a pri tele mikrofónu, keďže mikrofón a GSM modul môžu byť na DPS od seba umiestnené vo veľkej vzdialenosti. Návrh signálového vedenia medzi týmito zoskupeniami výrobca odporúča navrhnúť ako diferenciálne. V blízkosti mikrofónu sa nachádzajú ochranné zenerové diódy na zamedzenie vplyvov ESD, keďže mikrofón bude prichádzať do bezprostrednej blízkosti tela užívateľa.



Obr. 3.10: Odporúčané zapojenie mikrofónu podľa [13]

Vybraný bol mikrofón BCM-9745 [36] fy. Bestar. Tento typ je podľa výrobcu určený na telefónne aplikácie, vyznačuje sa priemerom ⌀ = 9,7 mm a výškou h = 4,4 mm. Umiestnenie mikrofónu na DPS s motívom odrušovacích prvkov znázorňuje obr. 3.11. Mikrofón je na DPS prilepený a do obvodu je pripojený krátkymi vodičmi na spájkovacie plošky. Prenos akustického vlnenia k mikrofónu je zabezpečený niekoľkými otvormi v lamináte DPS.



Obr. 3.11: Navrhnutý motív pre montáž mikrofónu a súvisiacich súčiastok

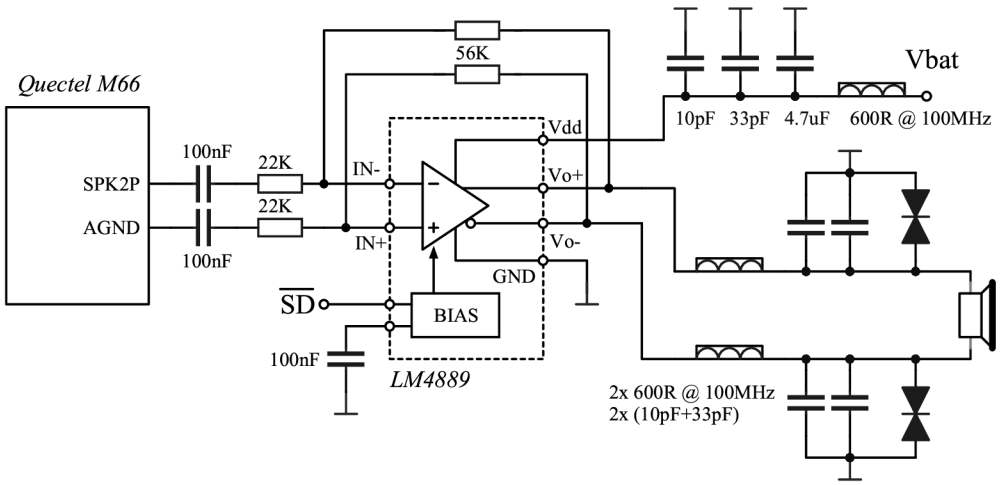
3.7 Slúchadlo a zosilňovač

Slúchadlo, ktoré sa stará o premenu elektrického signálu na akustický počas telefónneho hovoru je možné priamo pripojiť ku GSM modulu. Modul je vybavený rozhraním pre budenie elektroakustického meniča s impedanciou 32 Ω. Návrhová príručka [13] sa však bližšie o obvodovej štruktúre tohto rozhrania nezmieňuje a správanie sa modulu pri budení odlišnej impedancie nie je známe. Avšak aj použitie takejto impedancie je možné, výrobca odporúča použitie zosilňovača, ktorého príklad sa nachádza v referenčnom návrhu [14]. Z neho vychádza navrhnuté zapojenie, viditeľné na obr. 3.12.

Ústrednou súčiastkou je operačný zosilňovač s diferenciálnym výstupom zapojený ako invertujúci zosilňovač so zosilnením $A = 2,5$. Diferenciálna koncepcia zapojenia zabezpečuje vyššiu odolnosť voči rušeniu v porovnaní s jednočinným. K tejto odolnosti prispievajú odrušovacie prvky, opäť keramické kondenzátory 10 pF a 33 pF v prívode napájania a v prívodoch k slúchadlu. Okrem nich sú použité tiež feritové perly, podľa referenčného návrhu s hodnotou 600R@100M, značiace odpor 600 Ω pri kmitočte 100 MHz.

Operačný zosilňovač bol vybraný typ LM4889 [37] fy. National Semiconductor. Ten je vybavený diferenciálnym výstupom, možnosťou vypnutia signálom $\overline{SD}$ a vyznačuje sa maximálnym výkonom P = 1 W. Rozsah napájacieho napäťia je 2,2 V až 5,5 V, čím je vhodný pre napájanie priamo z batérie.

Puzdro zosilňovača je SOIC-8, pričom zapojenie vývodov na puzdre je štandardné. To znamená že na trhu je dostupných niekoľko rôznych zosilňovačov s identickým rozložením vývodov, čím je zaistená nahraditeľnosť súčiastky iným typom.



Obr. 3.12: Zapojenie zosilňovača LM4889 pre budenie slúchadla

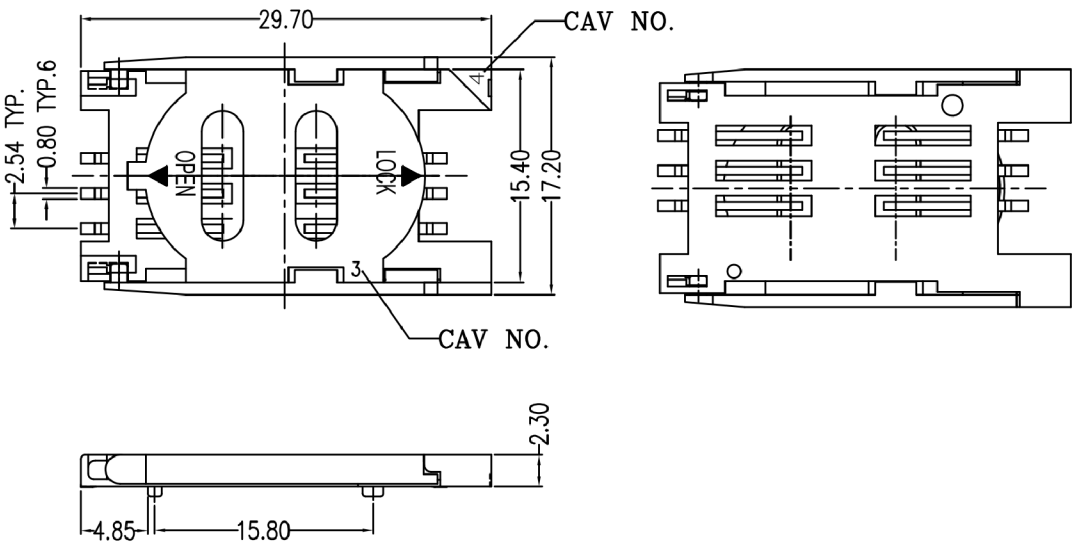
Slúchadiel a iných elektroakustických meničov sa vyrába veľké množstvo druhov. Posilnenie výstupu GSM modulu zosilňovačom vytvára dostatočne široké mantinely pre výber vhodného meniča bez ohľadu na jeho impedanciu. V prípade výberu meniča s impedanciou 32 Ω je možné zosilňovač vypustiť a príslušné spájkovacie plošky skratovať prepojkami. Pre platformu bolo vybrané slúchadlo typu HSC1315A [38] fy. SoniCrest. Vyznačuje sa maximálnym výkonom 0,5 W, impedanciou 8 Ω a puzdrom oválneho tvaru s rozmermi 13 × 15 × 3,5 mm. Dá sa jednoducho umiestniť na DPS prilepením samolepiacou fóliou. Do obvodu sa pripája prispájkovaním vodičov na príslušné spájkovacie plošky.

3.8 SIM karta, konektor, obvody

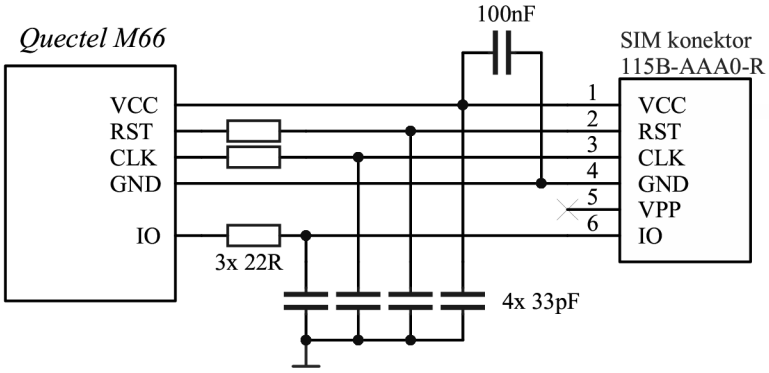
GSM modul by nebol schopný účasti v sieti bez SIM karty. Modul je vybavený vývodmi pre pripojenie 6 kontaktového typu SIM s automatickou detekciou napäťovej verzie, či už 1,8 V alebo 3,0 V. Jedinou možnosťou výberu v tomto prípade je voľba veľkosti karty. Zvolený bol konektor typu 115B-AAA0-R01 [39] fy. Attend určený na

veľkosť karty *mini SIM*. Tento konektor sa vyznačuje štandardizovanými rozmermi a existuje k nemu množstvo substituentov. Nákres sa nachádza na obr. 3.13.

Zapojenie SIM karty je odporúčané výrobcom a je vyobrazené na obr. 3.14. V cestách signálov CLK, DAT a RST sú zaradené rezistory s odporom 22 Ω pre obmedzenie strmosti hrán pri prechodných dejoch. Výrobca odporúča použitie týchto rezistorov pre obmedzenie vyžarovania z hľadiska EMC. Kondenzátory 33 pF sú opäť pre zlepšenie imunity voči rušeniu v pásme 900 MHz.



Obr. 3.13: Nákres konektoru SIM karty, [39]

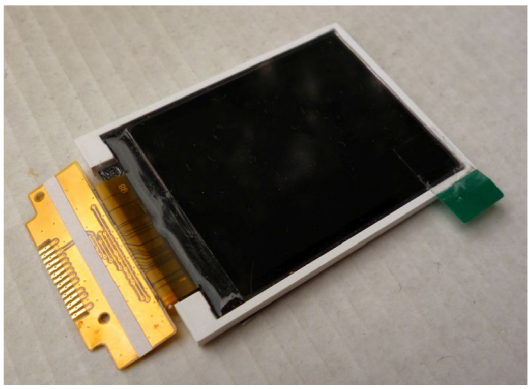


Obr. 3.14: Zapojenie SIM karty, podľa návrhovej príručky [13]

3.9 1,8" TFT Displej

Displej pre túto prácu predstavuje kľúčovu úlohu, nakoľko najpoužívanejším a najkomfortnejším spôsobom ovládania väčšiny počítačových systémov je cez grafické prostredie používateľského rozhrania. Pre výber bolo treba zohľadniť niekoľko kritérií, ako je zobrazovacia technológia, rozmery displeja alebo jeho ovládacie rozhranie.

Vybraný bol displej s označením TFT177F254FPC, ktorý je dostupný u niekoľkých predajcov z ázijských krajín. Ide o 1,8" LCD displej zobrazovacej technológie TFT s rozlíšením 160 × 128 pixelov. Jeho vyhotovenie zachytáva obr. 3.15. Prehľad jeho základných parametrov poskytuje tab. 3.4. Výrobca sa postaral o jednoduchú montáž na DPS nalepovacími fóliami na rube tela displeja. Rovnaká samolepiaca fólia sa nachádza aj na páskovom vodiči, ktorá ho zaisťuje počas zaspájkovania.

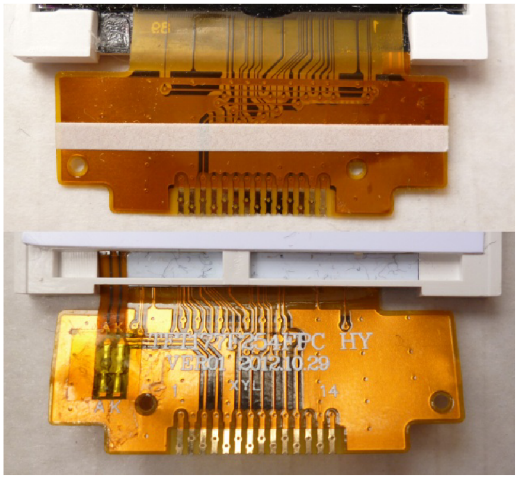


Obr. 3.15: Fotografia grafického 1,8" TFT displeja s rozlíšením 160 × 128 pixelov

Displej využíva pre pripojenie 18-vodičovú zbernicu, z toho 5 vodičov je k dispozícii pre prenos dát použitím protokolu podobného so štandardným protokolom SPI. Jeho varianty detailne popisuje dátový list radiča Sitronix ST7735R [18], ktorým je modul displeja osadený.

Cena displeja sa pohybuje od $3 do $5 vrátane poštovných nákladov. Daňou za túto nízku cenu je však laxný prístup predajcov k popisu predávaného tovaru, keďže displej je ľahko zameniteľný s ďalšími variantami displeja, ktoré sú osadené iným typom radiča. Identifikácia radiča je možná pohľadom na motív prepojov na páskovom vodiči. Obr. 3.16 ukazuje vyhotovenie vodiča použitého displeja. Vyhotovenie je charakteristické samolepiacim pásikom siahajúcim od jedneho kraja k druhému.

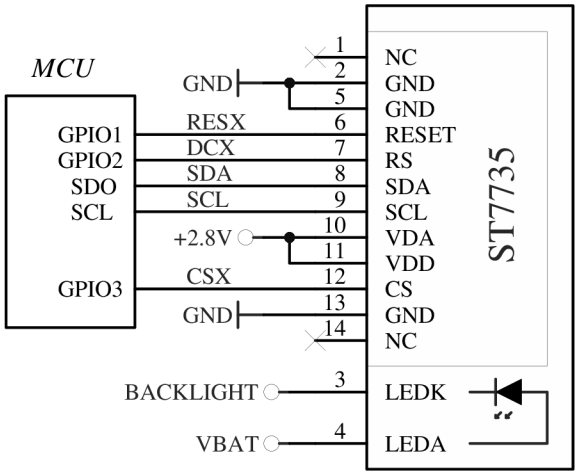
Zapojenie displeja v obvode ukazuje obr. 3.17. Prenos dát prebieha po dátovej linke SDA s časovaním SCL, ktoré sa pripájajú k SPI periférii nadradeného mikrokontroléra. Ďalšie riadiace vodiče RESX, DCX a CSX sú obsluhuvané bitmi I/O portu. Displej je napájaný napätím 2,8 V.



Obr. 3.16: Fotografia vodivého motívu na páskovom vodiči displeja s označením TFT177F254FPC, osadenie ST7735R

Tab. 3.4: Prehľad základných parametrov vybraného displeja

Obrys telesa [mm × mm]	46,7 × 34,7
Aktívna plocha [mm × mm]	35,04 × 28,03
Rozlíšenie v bodoch	160 × 128
Zobrazenie farieb [počet]	262144 (18-bit)
Pripojenie	18-bit (5-bit SPI)
Napájanie logiky	2,5 V / -
Napájanie displeja	2,8 V / 3 mA
Podsvietenie displeja	3,2 V / 30 mA

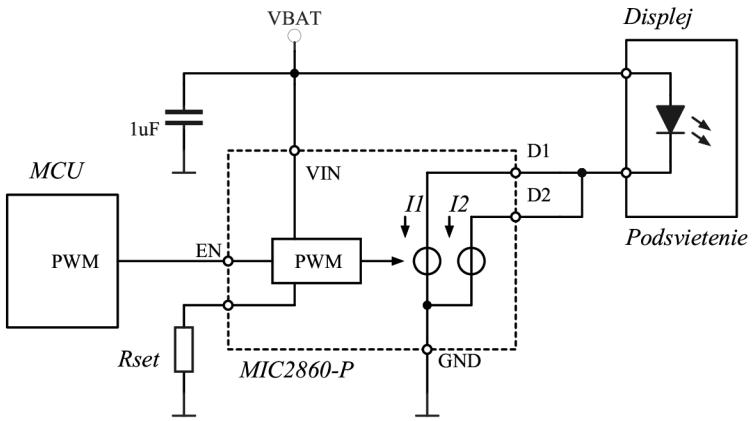


Obr. 3.17: Pripojenie displeja k MCU

3.9.1 Podsvietenie displeja

Podsvietenie displeja tvorí biela LED, ktorej svit je pre mastavemoe jasu displeja vhodné regulovať. Jedným z najpoužívanejších spôsobov regulácie svitu LED je pulzne-šírkovou moduláciou PWM. Mikrokontrolér je vybavený periériou pre budenie regulačných obvodov založených na tomto princípe.

Pre tento účel bol vybraný MIC2860-P [32] fy. Micrel. Svojou štruktúrou ide o prúdový zdroj s nízkym úbytkom napätia, ktorého spínanie prebieha pomocou PWM signálu. Na obr. 3.18 vidno zapojenie podsvietenia displeja. Ako vidno, MIC2860-P je vybavený dvomi výstupmi D1 a D2, pričom podľa výrobcu je nutné zaťažiť obidva. Z toho dôvodu sú výstupy spriahnuté na vývod katódy LED a prúd regulátora nastavený ako polovičný. Pri uvažovanom prúde 30 mA pre maximálny svit je nutné určiť nastavovací rezistor *Rset* pre hodnotu 15 mA. Podľa dátového listu zodpovedá tento prúd rezistoru s hodnotou 19,2 kΩ. Najbližšia nižšia hodnota rezistorovej rady E12 je 18 kΩ. Obvod zvláda reguláciu pri napájacom napätí 3,0 V až 5,5 V. Vyrába sa v puzdre SOT23-6.



Obr. 3.18: Podsvietenie displeja, regulované obvodom MIC2860-P

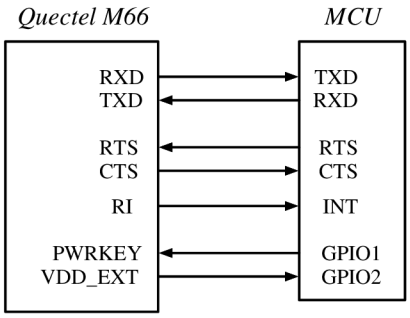
3.10 Klávesnica

Napriek veľkému rozšíreniu technológie ovládania mobilných zariadení dotykovým displejom bolo pre platformu navrhnuté ovládanie mechanickými tlačidlami. Najčastejšie používaným zapojením klávesnice je maticové zapojenie, kde maximálny počet použitých kláves N je daný súčinom počtu riadkov R a počtu stĺpcov S vo forme vodičov. Počet kláves potrebný v návrhu mobilného telefónu je 18, pre tento počet sa ukázalo v súvislosti s návrhom DPS výhodné zapojenie matice 4×5. Zapojenie ukazuje obr. 5.2.

3.11 UART rozhranie GSM modulu

Ovládanie GSM modulu prebieha pomocou štandardizovaných AT príkazov, ktorých zoznam je obsiahnutý v príručke [15]. Modul bude obdržiavať tieto príkazy z riadiaceho mikrokontroléra, k čomu je vybavený asynchrónnym sériovým portom UART. Zapojenie rozhrania je na obr. 3.19 podľa návrhovej príručky. Použitá úroveň komunikácie je 2. To znamená, že okrem dátových liniek RXD a TXD sú zapojené aj linky CTS a RTS pre synchronizáciu prenosu dát pre prípad nevhodne alebo neefektívne napísaného programu. Referenčná príručka sa zmieňuje o použití signálu RING (označenie RI), ktorý indikuje prichádzajúci hovor alebo správu SMS, čo sa dá jednoducho využiť na zefektívnenie chodu programu. Signál je zavedený na periféria INT, ktorá vyvolá prerušenie programu, takže je možné odbaviť telefónny hovor alebo oznámiť príchodziu SMS užívateľovi. Napätové úrovne rozhrania sú 2,8 V.

Modul vyžaduje zapojenie vývodu PWRKEY, ktorým sa riadi zapnutie, vypnutie a reštart modulu. Pripojený je k I/O portu mikrokontroléra. Nábeh alebo reštart modulu je sprevádzaný aktiváciou pomocného zdroja 2,8 V na vývode VDD_EXT. Jeho monitorovaním získa mikrokontrolér informáciu o stave modulu.



Obr. 3.19: Prepojenie UART periférie GSM modulu a MCU

3.12 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér, skrátene MCU je riadiacim prvkom otvorenej platformy. MCU je vlastne mikropočítač integrovaný v jedinej súčiastke, ktorého funkcionalita je rozšírená množstvom periférií. Na základe požadovaných periférií bol zostavený zoznam požiadaviek pre výber vhodného MCU:

- architektúra vhodná pre kompiláciu programu v jazyku C,
- dostatočný počet I/O vývodov,
- budič modulácie PWM,
- rozhranie SPI,
- rozhranie UART,

- rozhranie I^2C,
- A/D prevodník,
- kompatibilita s 2,8 V logickými úrovňami.

Vybraný bol mikrokontrolér PIC24FJ64GB004 [19] fy. Microchip. Ide o 16-bitový MCU s podporou kompilácie kódu v jazyku C. Výrobná technológia CMOS je prispôsobená pre napájanie napätím 2,0 V až 3,6 V. Vybavený je dostatočným počtom I/O vývodov a periférjami spĺňajúce požiadavky v zozname. Stručný prehľad poskytuje tab. 3.5. Súčiastka je vyrábaná v puzdrách TQFP-44 a QFN-44, pričom jednoduchá montáž mikrospájkou hovorí v prospech prvého puzdra.

Tab. 3.5: Vybrané parametre zvoleného MCU PIC24FJ64GB004 [19]

Programová pamäť [kB]	Pamäť RAM [kB]	Vývody I/O	Mapovateľné vývody periférií	A/D prevodník	D/A prevodník
64	8	35	25	1	0
UART	SPI	I^2C	USB	PWM	Napájanie
2	2	2	1	5	2,0 V .. 3,6 V

Vysvetlivky: Číslo v kolónke predstavuje počet, pokiaľ nie je uvedená jednotka.

V tabuľke sa vyskytuje položka mapovateľné vývody periférií (angl. *remappable peripheral pins*), čo je technológia fy. Microchip určená na priradenie vybraných periférií na ľubovoľné vývody MCU označené ako mapovateľné RPn vývody. Táto technológia umožňuje značné zjednodušenie návrhu DPS. Jej popisom sa zaoberá referenčná príručka [20] rodiny mikrokontrolérov 24F, do ktorej sa vybraný MCU zaraďuje.

3.12.1 Pamäť EEPROM

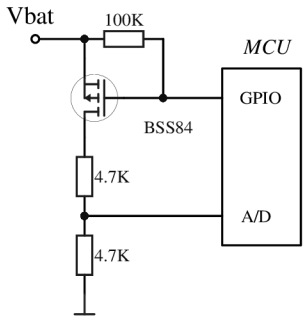
Nevýhodou vybraného MCU je, že neobsahuje pamäť EEPROM vhodnú pre ukladanie užívateľských dát, ako sú telefónne čísla, obsah SMS alebo nastavenia telefónu. Nutnosťou je teda použitie externej EEPROM, ktorých existuje veľké množstvo typov, či už z hľadiska kapacity, technológie alebo komunikačného protokolu.

Vybraná bola pamäť rady 24AA vo vyhotovení puzdra TSSOP-8, ktorá je vybavená rozhraním I^2C. Katalógový list modelu 24AA16 s kapacitou 16kBit je dostupný z [21].

3.13 Meranie napätia batérie

Mieru nabitia batérie nie je možné zmerať žiadnou priamou metódou. Podľa článku [31] sa však dá miera nabitia odhadnúť z jej napätia. Napätie batérie s chemickým zložením Li-Poly sa pohybuje v rozsahu 3,0 V až 4,2 V. K tomu sa dá využiť A/D prevodník použitého MCU. Pripojenie batérie priamo k vývodu A/D prevodníka však postráda zmysel, nakoľko prevodník je schopný zmerať napätie na vstupe len vzhľadom na referenčný zdroj napätia. Ten je v tomto prípade identický s napájacím napätím, teda 2,8 V. Pokus o zmeranie vyššieho napätia skončí saturáciou prevodníku, preto je napätie batérie vhodné najprv vydeliť známym koeficientom. Polovičné napätie 2,1 V získané odporovým deličom zloženým z rovnakých rezistorov nepredstavuje pre prevodník problém.

Odporový delič s vysokou hodnotou celkového odporu by síce zamedzil zbytočnému odberu prúdu z batérie, avšak pararelná kombinácia jedného z rezistorov a vysokého vstupného odporu MCU by spôsobila jeho nedefinovateľný deliaci pomer. Takáto konfigurácia by bola navyše náchylná na rušenie. Riešením je zostavenie deliča z menších hodnôt odporu. Ten sa síce prejavuje vyšším odberom prúdu z batérie, avšak meranie napätia batérie stačí vykonať iba raz za čas. K tomu dopomôže mosfetový spínač P-polarity, ktorý pripája delič k batérii iba v prípade potreby. Zapojenie je viditeľné na obr. 3.20. Univerzálny mosfet BSS84 je všeobecne dostupný a vyrába sa o.i. v puzdre SOT-23.



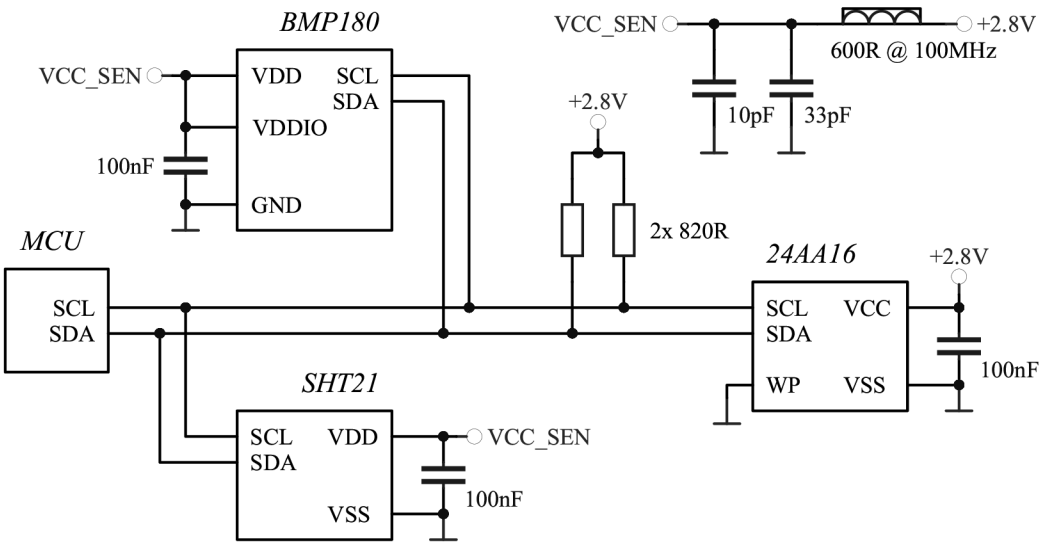
Obr. 3.20: Obvod pre meranie napätia batérie

3.14 Senzory neelektrických veličín

Podľa požiadaviek na otvorenú platformu boli vybrané dva senzory neelektrických veličín. Sú nimi BMP180 pre meranie atmosférického tlaku a SHT21 pre meranie vzdušnej vlhkosti. Obidva senzory sa vyznačujú využitím technológie MEMS [25], ktorej rozvoj umožnil vznik senzorov v miniatúrnych puzdrách. Z toho vyplýva jedna nevýhoda senzorov a to puzdrá LGA, ktoré sú jediné, v ktorých sa vyrábajú a nie je

možné ich osadiť mikrospájkou. Nutnosťou je minimálne teplovzdušná pištoľ. Osadenie týchto senzorov však nie je nevyhnutné pre funkčnosť telefónu.

Senzory komunikujú s nadradeným mikrokontrolérom po zbernici I^{2}C, ktorej detailným rozborom sa zaoberá špecifikácia [40]. Zapojenie senzorov ukazuje obr. 3.21. V ňom sa vyskytuje aj pamäť EEPROM, keďže so senzormi zdieľa vodiče zbernice SCL a SDA. Všetky súčiastky sú napájané jednotným napätím 2,8 V, pričom napájanie senzorov je opatrené filtráciou feritovou perlou hodnoty 600R@100M a keramickými kondenzátormi 10 pF a 33 pF.



Obr. 3.21: Blokový diagram zapojenia troch senzorov a pamäti EEPROM v zbernici I^{2}C

Pre správnu funkciu zbernice je nutné určiť jej maximálny kmitočet časovania a s ním súvisiace pull-up rezistory linky SCL a SDA. Konfigurácia zbernice musí byť prispôsobená najpomalšiemu zariadeniu. Prehliadkou dátových listov sa dá zistiť, že maximálna rýchlosť bude obmedzená rýchlosťou MCU, EEPROM a senzorom SHT21 na 400 kHz, čo zodpovedá tzv. Fast módu. Návrhová príručka [41] pre rezistory I^{2}C zbernice uvádza niekoľko vzťahov pre výpočet ich miminálnej a maximálnej hodnoty. $R_P(min)$ sa určí z

$$R_P(min) = \frac{(V_{CC} - V_{OL}(max))}{I_{OL}}, \tag{3.3}$$

kde V_{CC} je napájacie napätie, $V_{OL}(max)$ je maximálne napätie nulovej logickej úrovne a I_{OL} je prúd odoberaný zariadením v nízkej úrovni. Dosadením hodnôt $V_{CC} = 2,8\ V$, $V_{OL}(max) = 0,4\ V$ a $I_{OL} = 3\ mA$ (posledné dve zo špecifikácie [40]) určíme odpor

$$R_P(min) = \frac{2,8\ V - 0,4\ V}{3\ mA} = 800\ \Omega.$$

$R_P(max)$ vypočítame z

$$R_P(max) = \frac{t_r}{0,8473 \cdot C_b}, \tag{3.4}$$

kde t_r je nábežná hrana signálu zbernice a C_b je maximálna kapacita linky zbernice, ktoré odčítame zo špecifikácie [40] z tabuľky pre použitý Fast mód. Hodnotu vypočítame ako

$$R_P(max) = \frac{300\ ns}{0,8473 \cdot 400\ pF} = 885\ \Omega.$$

Z vypočítaného rozsahu odporu 800 až 885 Ω vybereme z rady E12 rezistor s hodnotou 820 Ω.

3.14.1 BMP180 - tlakomer, teplomer

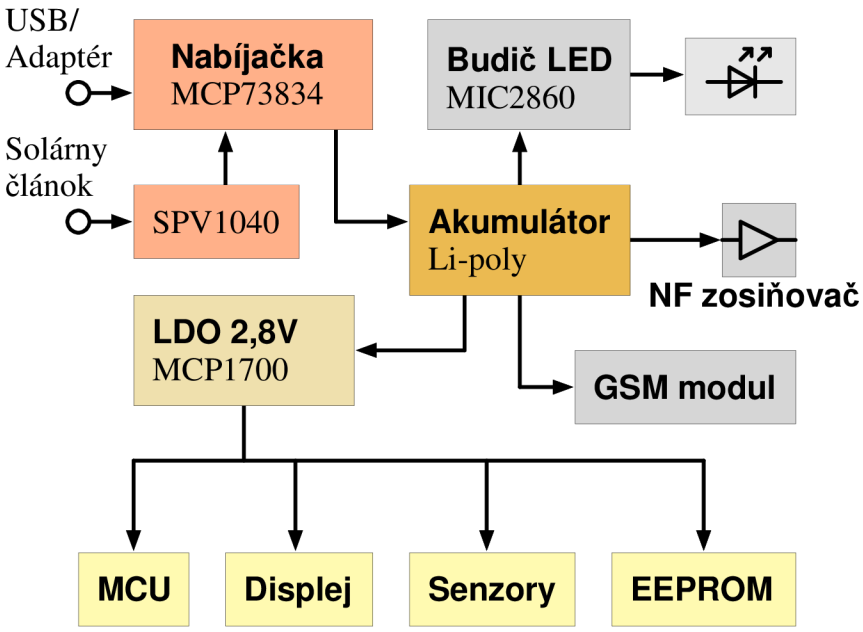
BMP180 [26] fy. BOSCH Sensortec je senzor atmosférického tlaku pracujúci v rozsahu 300 .. 1100 hPa, ktorý má taktiež schopnosť určenia teploty v rozsahu 0°C až 65 °C. So znalosťou atmosférického tlaku je potom možné vypočítať nadmorskú výšku, čím sa dá senzor prevádzkovať aj ako výškomer, alebo tiež tzv. altimeter. Nevýhodou tohto senzora je, že kalibrácia a výpočet nadmorskej výšky prebieha až v programe mikrokontroléra. Výpočet altitúdy prebehne podľa vzťahu

$$p_0 = \frac{p}{\left(1 - \frac{h}{44330}\right)^{5,255}}, \tag{3.5}$$

kde p_0 je atmosféricky tlak na úrovni hladiny mora, p je zmeraný tlak a h je hľadaná nadmorská výška. Výrobca v dátovom liste uvádza algoritmus a zápis programu pre výpočet v jazyku assembler a C. Súčiastka sa vyrába v puzdre LGA-8.

3.14.2 SHT21 - senzor vlhkosti vzduchu, teplomer

SHT21 [27] fy. Sensirion je senzor vlhkosti okolitého vzduchu, ktorú dokáže určiť v rozsahu 0 % až 100 %. Teplota ktorá súvisí s hlavnou meranou veličinou je zahrnutá v rozsahu od -30 °C do 100 °C. Súčiastka je dodávaná v puzdre LGA-6.



Obr. 3.22: Bloková schéma zapojenia platformy, rozvedenie napájania

3.15 Správa napájania

Správa napájania predstavuje ďalšiu kritickú časť návrhu, keďže podľa požiadaviek definovaných v kap. 2 je potrebné zaistiť efektívne využitie energie získanej z batérie. To zahŕňa taktiež generovanie potrebných napájacích napätí pre jednotlivé súčasti. Rozvedenie napájacích napätí znázorňuje bloková schéma na obr. 3.22. Prehľad potrebného napätia a ich spotrebičov s prúdovými požiadavkami poskytuje tab. 3.6.

Prvé tri položky, teda GSM modul, zosilňovač pre slúchadlo a budič podsvietenia displeja sú napájané priamo napätím batérie, keďže batéria efektívne uspokojí ich energetické požiadavky. Zvyšné súčiastky je vhodné napájať z jediného zdroja. Keďže UART rozhranie GSM modulu má 2,8 V napäťové úrovne, napájanie všetkých ostatných obvodov rovnakým napätím rapídne zjednoduší návrh. Pre konverziu z napätia batérie na 2,8 V sa ponúka použitie nízkoúbytkového regulátora.

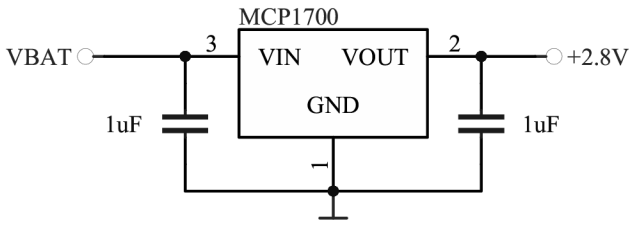
3.16 Regulátor napätia 2,8 V

Pre účel zníženia napätia batérie na úroveň 2,8 V bol vybraný nízkoúbytkový (angl. *low dropout*, skratka LDO) stabilizátor MCP1700 [22] fy. Microchip. Konkrétna napäťová verzia *MCP1700-2800* podporuje vstupné napätie 3,15 V až 6,0 V. Maximálny prúd, ktorý je stabilizátor schopný dodať je 250 mA, čím pokryje požiadavky napájaných komponentov z tab. 3.6.

Tab. 3.6: Prehľad spotrebičov elektrickej energie v platforme

Spotrebič	Napätie	Odber prúdu	Podmienky
GSM Modul	3,3 V - 4,2 V	250mA /1,6 A	Telefónny hovor v GSM-900 /vysielanie - bursty
Zosilňovač LM4889	2,2 V - 5,5 V	135 mA	Výkon 0,5 W; napájanie 3,7 V
Budič LED MIC2860-P	3,0 V - 5,5 V	30 mA	Maximálny svit LED
LDO 2,8 V MCP1700	3,15 V - 6,0 V	-	Napája nižšie uvedené obvody
MCU PIC24 FJ64GB004	2,0 V - 3,6 V	15,5 mA	Výkon 16 MIPS, napájanie 3,3 V
Displej 1,8" TFT	2,8 V - 3,3 V	1 mA	bez špecifikácie výrobcu
EEPROM 24AA16	2,2 V - 5,5 V	3 mA	Napájanie 5,5 V; 400 kHz mód, zápis
Tlakomer BMP180	1,8 V - 3,6 V	1 mA	Počas prevodu
Vlhkomer SHT21	2,1 V - 3,6 V	330 uA	Počas prevodu

Vyrába sa o.i. v puzdre SOT-23 a k súčiastke je dostupné veľké množstvo priamo zámenných substituentov. Zapojenie stabilizátora podľa katalógového listu je na obr. 3.23

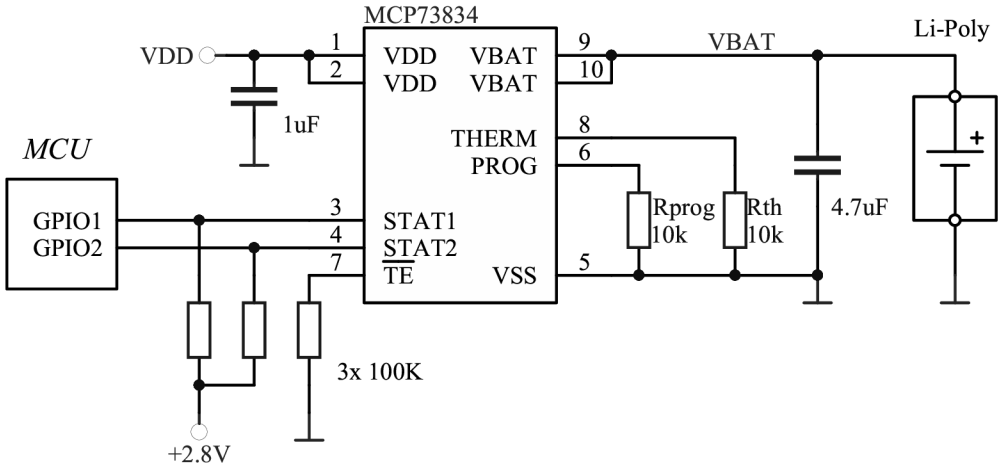


Obr. 3.23: Zapojenie LDO stabilizátora MCP1700, [22]

3.17 Obvod pre nabíjanie batérie

Spotrebovanú energiu z batérie je potrebné z času na čas doplniť, čo sa nedeje nijak inak než nabíjaním. Externé nabíjanie vyňatej batérie z telefónu by pôsobilo úsmevne, preto je nanajvýš vhodné opatriť navrhované zariadenie vhodným elektronickým obvodom pre využitie dostupných zdrojov napätia pre nabitie. Pre väčšinu smartfónov je týmto zdrojom USB port počítača alebo adaptér do zásuvky elektrickej siete. Jeho konštrukcia by mala rešpektovať špecifikáciu [42] pre nabíjanie z USB portu. Inak to nebude ani v navrhovanom telefóne. Pre nabíjanie z USB portu existuje množstvo špecializovaných integrovaných obvodov od najjednoduchších s minimom možností nastavenia až po najzložitejšie, ktoré sa vyznačujú inteligentnou správou batérie s enumeráciou USB zariadenia v počítači.

Pre platformu bol vybraný obvod MCP73834 [23] fy. Microchip. Z ponúkaných puzdier MSOP-10 a DFN-10 sa pre ručnú montáž hodí to prvé. Schéma zapojenia obvodu sa nachádza na obr. 3.24.

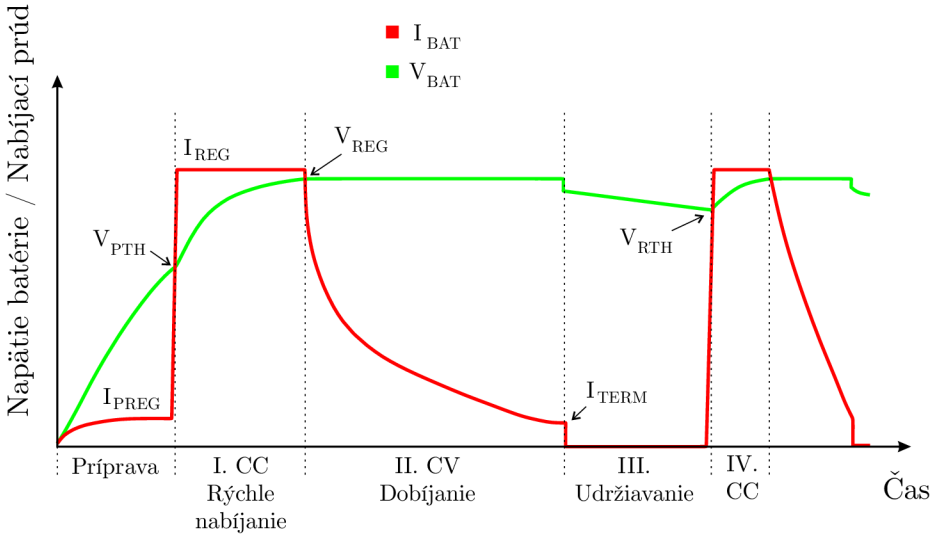


Obr. 3.24: Schéma zapojenia nabíjacieho obvodu MCP73834 [23]

Obvod slúži na nabíjanie batériových článkov chemického zloženia Li-Ion a Li-Poly podľa predpísaného algoritmu. Popisom postupu nabíjania sa zaoberá článok [30], z ktorého je prevzatý a upravený diagram znázorňujúci priebeh nabíjania, obr. 3.25. V ňom sa vyskytujú štyri fázy tvoriace jeden nabíjací cyklus.

- **Prípravná fáza** - tejto fázi je obvod vystavený pokiaľ napätie batérie V_{BAT} nevystúpi nad úroveň V_{PTH} pri pokuse nabíjania prúdom I_{PREG}. Situácia je charakteristická pre hlboko vybitú batériu. Režim nie je očíslovaný, keďže pripojenie batérie v takomto stave nie je častým javom a nepočíta sa s ním v bežnom nabíjacom cykle.

- **I. fáza, CC** - nabíjanie konštantným prúdom, tiež známe ako rýchlonabíjanie. Prúd je regulovaný na úrovni I_{REG} až do chvíle dosiahnutia napätia batérie na V_{REG}.
- **II. fáza, CV** - nabíjanie konštantným napätím, alebo dobíjanie. Napätie batérie je udržované na V_{REG}, pričom prúd klesá až do momentu dosiahnutia hodnoty I_{TERM}.
- **III. fáza** - udržiavanie, batéria je nabitá a jej napätie monitorované. Pokiaľ vplyvom vlastného vybitia alebo spotrebou energie klesne napätie pod V_{RTH}, obvod začne batériu znova dobíjať konštantným prúdom.
- **IV. fáza, CC** - štvrtá fáza v cykle má identickú charakteristiku ako druhá a pokiaľ nie je z batérie odoberaná energia, tak obvod pravidelne prechádza dobíjaním a udržovaním.



Obr. 3.25: Priebeh nabíjania batérie Li-Ion alebo Li-Poly

Batéria absorbuje najviac energie pri nabíjaní konštantným prúdom I_{REG}, ktorý sa určí zo vzťahu

$$I_{REG}\ [mA] = \frac{1000\ V}{R_{PROG}\ [k\Omega]}. \tag{3.6}$$

Hlavným nastavovacím prvkom obvodu je rezistor R_{PROG}, ktorý určuje hodnotu prúdu pri režime CC. Voľba I_{REG} musí byť konzultovaná s dátovým listom batérie. Pre článok LP443450 [17] s kapacitou 750 mAh je maximálna hodnota pri rýchlonabíjaní 750 mA a štandardná hodnota 375 mA. Nabíjanie pri štandardnej hodnote zvyšuje životnosť batérie, takže rezistor R_{PROG} je možné vybrať pre tento prúd.

Pri pohľade do špecifikácie [42] pre nabíjanie cez port USB však zistíme, že nabíjanie prebieha v jednotkách záťaže. Jedna jednotka zodpovedá 100 mA a USB port je schopný dodať maximálne 5 jednotiek (500 mA) vo verzii USB 2.0 a 9 jednotiek (900 mA) vo verzii USB 3.0. Nie každý port je však na túto záťaž stavaný a preto napájané zariadenie musí najprv vykonať s hostiteľom komunikáciu, pomocou ktorej sa nastaví maximálna hodnota odoberaného prúdu. Bez tejto komunikácie je preddefinovaná 1 jednotka záťaže a pokus o jej prekročenie môže skončiť chybovým hlásením v počítači v tom lepšom prípade alebo tiež poškodením USB portu v horšom prípade.

Keďže obvod MCP73834 nie je vybavený komunikačným rozhraním USB, spoliehať sa na vyššiu prúdovú zaťažiteľnosť než 100 mA nie je možné. Použitie 1 jednotky záťaže ako jedinej možnosti však nemá len negatíva. Nižšie prúdové namáhanie batérie predlžuje jej životnosť. Prúd $I_{REG} = 100$ mA zodpovedá rezistoru $R_{PROG} = 10$ kΩ. Keďže obvod pracuje len v lineárnom režime, je nutné vypočítať tepelnú stratu pri nabíjaní v najhorších podmienkach podľa vzťahu

$$P = (V_{DD} - V_{PTH}) \cdot I_{REG}, \tag{3.7}$$

kde V_{DD} je napájacie napätie, V_{PTH} je minimálne napätie batérie a I_{REG} nastavený nabíjací prúd. Pri dosadení $V_{DD} = 5,0\ V$, $V_{PTH} = 3,0\ V$ a $I_{REG} = 100\ mA$ obdržíme stratu $P = 0,2\ W$.

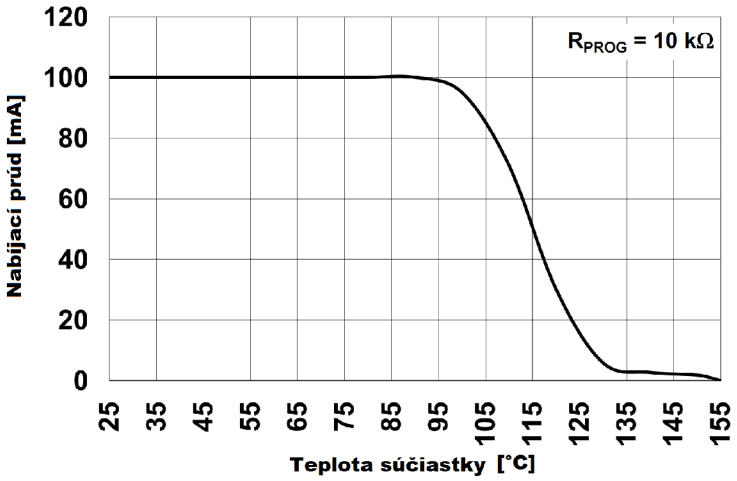
Puzdro MSOP-10 má podľa dátového listu tepelný odpor $\theta_{JA} = 113°C/W$. Zvýšenie teploty súčiastky pri okolitej teplote $t_A = 25°C$ a strate $P = 0,2\ W$ zistíme súčinom straty a tepelného odporu ako

$$\Delta t = P \cdot \theta_J = 0,2W \cdot 113°C \cdot W^{-1} = 22,6°C. \tag{3.8}$$

Znalosť zvýšenia teploty je podstatná pre určenie spoľahlivosti prevádzky nabíjania. Obvod je vybavený mechanizmom teplotnej spätnej väzby, ktorá v prípade zvýšenia teploty súčiastky zníži veľkosť nabíjacieho prúdu. Závislosť teplotne kompenzovaného prúdu zobrazuje obr. 3.26. Podľa vypočítaného oteplenia nebude dochádzať k zníženiu prúdu.

Prehľad parametrov nabíjania a ich vzájomných vzťahov poskytuje tab. 3.7. Väčšina z nich je percentuálnym podielom jediného nastaviteľného I_{REG}. Ich hodnoty sú pevne nastavené výrobcom pomocou rezistorovej siete vo vnútri súčiastky.

Obvod je opatrený vývodom THERM pre pripojenie NTC termistora, ktorý je súčasťou batérie pre meranie jej teploty. V prípade že teplota prekročí definovanú pracovnú oblasť (použitý článok má rozpätie 0 °C až +45 °C), obvod odpojí batériu od napájania. Meranie teploty prebieha snímaním napätia na termistore voči



Obr. 3.26: Teplotná kompenzácia nabíjacieho prúdu obvodu MCP73834, [23]

Tab. 3.7: Parametre nabíjania a ich odvodenie

Parameter	Odvodenie	Hodnota
I_{REG}	$I_{REG} = f(R_{PROG})$	100 mA
I_{PREG}	I_{PREG} / I_{REG} = 10 %	10 mA
I_{TERM}	I_{TERM} / I_{REG} = 7,5 %	7,5 mA
V_{REG}	Nastavené výrobcom	4,2 V
V_{PTH}	V_{PTH} / V_{REG} = 71,5 %	3,0 V
V_{RTH}	V_{RTH} / V_{REG} = 96,5 %	4,053 V

zemi, pričom termistor je napájaný prúdovým zdrojom I_{THERM} = 50 µA. V prípade, že vývod THERM nie je nikam pripojený, prúdový zdroj spôsobí odplávanie jeho potenciálu do oblasti aktivácie teplotnej ochrany. Keďže použitá batéria má v sebe zabudovanú elektroniku pre ochranu pred vplyvom teploty, jej termistor nie je vyvedený. Odpor termistora je potrebné simulovať, vhodná je akákoľvek hodnota, ktorej úbytok napätia neaktivuje ochranu. Preddefinovaný odpor podľa výrobcu je R_{THERM} = 10kΩ.

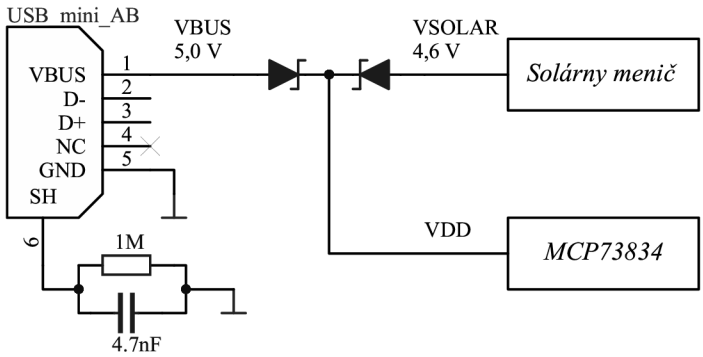
Vývody STAT1 a STAT2 slúžia pre informovanie nadradeného systému (MCU) o aktuálnom stave nabíjacieho procesu. Jednotlivé stavy sú odvodené z kombinácie logických úrovní na vývodoch podľa tabuľky z dátového listu. Rozhranie tvoria open-drain tranzistory, preto sú k vývodom pripojené pull-up rezistory pre definíciu logickej jednotky.

Logická úroveň na vývode $\overline{TE}$ aktivuje alebo deaktivuje časovací obvod pre nabíjanie. Časový limit slúži pre ochranu pred hrozbou poškodenia hardvéru, v prípade že sa batéria nepodarí nabiť ani po uplynutí výrobcom definovaného času 6 hodín.

Nevýhodou ochrany je, že môže dôjsť k jej aktivácii v prípade, že je nabíjací prúd neadekvátny ku kapacite batérie alebo je počas nabíjania stále odoberaný prúd, ktorý je dodávaný nabíjacím obvodom. Časovač je aktivovaný logickou nulou pripojením vývodu k zemi cez pull-down rezistor.

3.17.1 Napájanie nabíjacieho obvodu

Hlavným zdrojom energie pre nabíjanie batérie je USB port počítača, ktorý dodáva napätie $V_{BUS} = 5{,}0$ V. Podľa kap. 2.3 sa však počíta ešte s alternatívnym zdrojom energie ktorým je solárny článok. Ten bude vybavený spínaným meničom s nastaviteľnou hodnotou výstupného napätia V_{SOLAR}. Nabíjací obvod je nutné zabezpečiť vhodným prepínaním zdroja napätia, pokiaľ možno automatickým. Obr. 3.27 zobrazuje navrhnuté riešenie.



Obr. 3.27: Obvod pre voľbu zdroja nabíjačky batérie

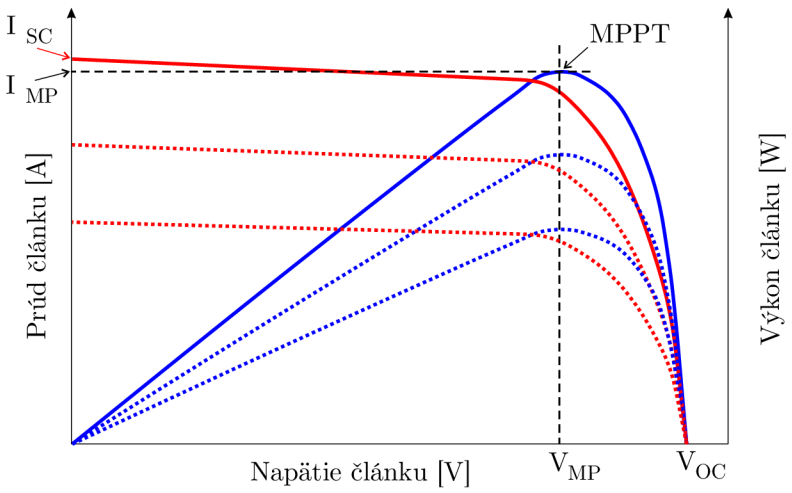
Ústrednou súčiastkou je dvojica schottkyho diód spojená katódou. Oddelenie USB portu a solárneho meniča od nabíjačky diódami zabezpečí správny smer toku prúdu a vhodne nastavené napätie meniča zaistí prioritnú voľbu zdroja. Pri nastavení napätia $V_{SOLAR} = 4{,}6$ získame voči $V_{BUS} = 5{,}0$ V rozdiel $\Delta V = 0{,}4$ V. Ten uspokojivo pokryje prahové napätie schottkyho diódy $V_F = 0{,}15$ V až 0,4 V; čím je zaistená prednosť USB portu pred solárnym meničom.

RC článok zložený z rezistora R = 1 MΩ a kondenzátora C = 4,7 nF slúži na oddelenie potenciálu zeme telefónu a potenciálu tienenia USB kábla, podľa odporúčania špecifikácie [42].

3.18 Solárny článok, MPPT

Za alternatívny zdroj energie pre dobíjanie batérie bol vybraný solárny článok. Ich vývoju je v posledných rokoch venovaná značná pozornosť a výskumno-technologické kapacity. Ceny sa dostali na úroveň, kedy sú prístupné pre každého a u rôznych ázijských výrobcov je možné zakúpiť solárne články rôznych vyhotovení, rozmerov, menovitého výkonu a elektrických charakteristík.

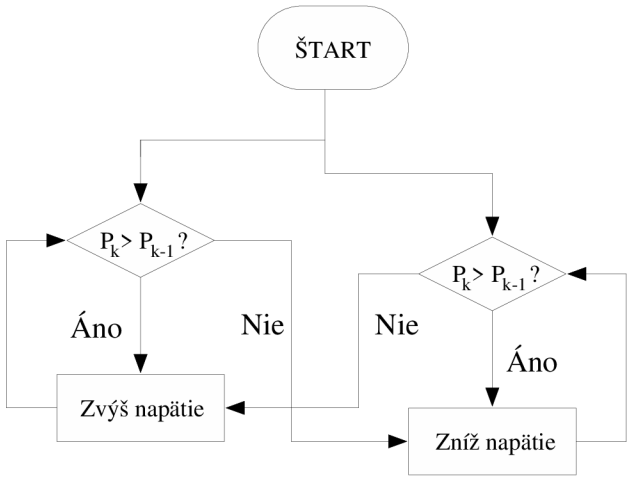
Solárny článok sa vyznačuje svojou typickou volt-ampérovou charakteristikou, ktorú zachycuje obr. 3.28. Napätie nezaťaženého článku je V_{OC} a prúd nakrátko I_{SC}. Z charakteristiky môžme vyčítať, že článok sa správa ako mäkký zdroj napätia, takže pripojením rôznej záťaže nemožno čakať konštantný výkon. Na priebeh závislosti vplýva aj intenzita žiarenia dopadajúca na povrch článku. Volt-wattová charakteristika je odvodená z voltampérovej a nachádza sa taktiež v obrázku. Na nej vidno, že článok dosiahne maximálny výkon v určitom bode. Tento bod zodpovedá špecifickej záťaži a keďže môžme sotva čakať konštantnú záťaž pripojenú k článku, jeho výkon bude kolísať. Podľa aplikačnej poznámky [24] fy. Microchip je moderným trendom opatriť solárny článok ďalším elektronickým obvodom, ktorý nastavuje vhodnú impedanciu záťaže sledovaním pracovného bodu článku. Táto technika sa nazýva angl. *maximum power point tracking*, skrátene MPPT. Touto skratkou je v obr. 3.28 označený bod maximálneho výkonu článku.



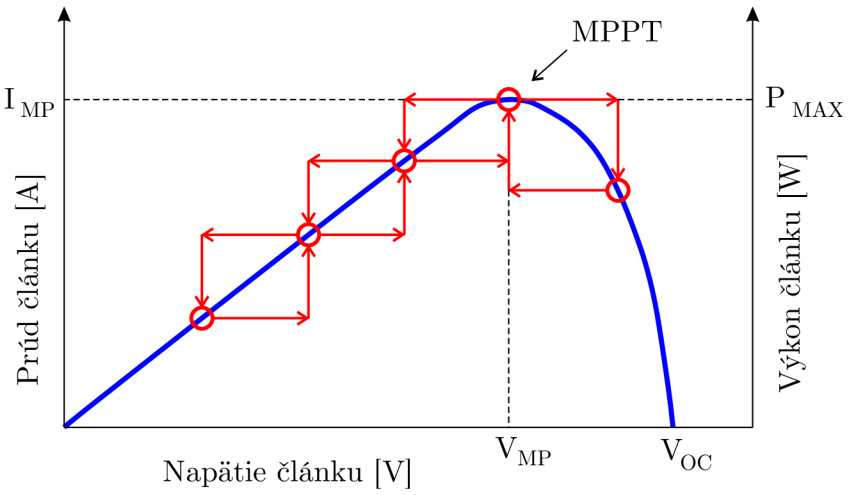
Obr. 3.28: Volt-ampérová a volt-wattová charakteristika solárneho článku

Metód MPPT existuje niekoľko. Najjednoduchšou je sledovanie napätia a prúdu prechádzajceho článkom a určenie výkonu ich súčinom. Tento výkon je zaznamenaný ako P_k v pamäti riadiaceho obvodu a je porovnaný s hodnotou P_{k-1} nasnímanou v predchádzajúcom cykle. Podľa výsledku porovnania obvod zareaguje zvýšením alebo znížením napätia odoberaného z článku. Napätie je možné regulovať napr. zmenou

frekvencie alebo zmenou striedy PWM priebehu budenia v prípade, že ide o spínaný menič. Tento algoritmus MPPT vystihuje vývojový diagram na obr. 3.29 a jeho priebeh na VA charakteristike solárneho článku znázorňuje obr. 3.30. Maximálny výkon pri danej miere osvetlenia nastáva pri napätí článku V_{MP} a prúde I_{MP}. Algoritmus je schopný sa vysporiadať aj so zmenou svetelného toku dopadajúceho na článok.



Obr. 3.29: Vývojový diagram algoritmu MPPT, prevzaté a upravené z [24]

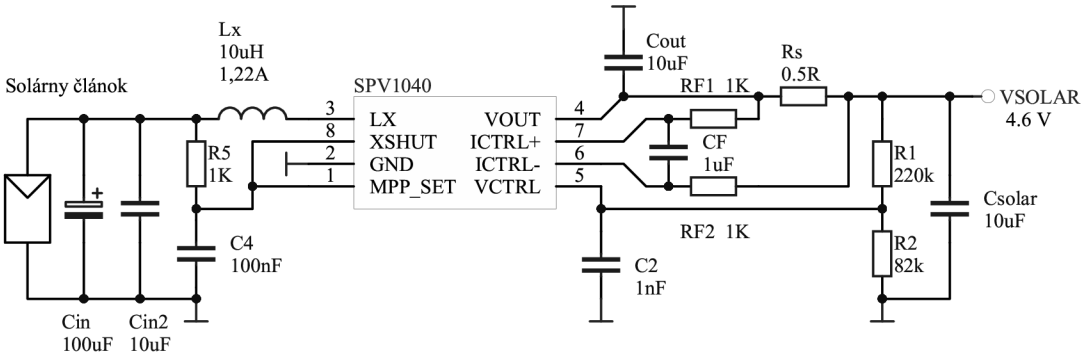


Obr. 3.30: Činnosť MPPT na VA charakteristike solárneho článku

3.19 Solárny menič

Spôsobov implementácie MPPT existuje niekoľko. Pre veľké výkony v rádoch stoviek wattov až kilowattov sa návrh elektroniky prispôsobuje konkrétnej aplikácii. To zahŕňa návrh výkonového meniča, riadiacich obvodov a elektroniky pre nabíjanie akumulátorov, do ktorých sa ukladá získaná energia. Elektronické obvody pre správu menších výkonov v rádoch jednotiek až desiatok wattov je možné integrovať aj do jedinej súčiastky. Na túto situáciu zareagovali výrobcovia integrovaných obvodov uvedením na trh súčiastok určených pre konštrukciu spínaného meniča využívajúcich MPPT.

Pre otvorenú platformu bol vybraný menič SPV1040 [43] fy. STMicroelectronics. Je to zvyšujúci spínaný menič určený pre riadenie záťaže malých výkonov, menovite do 3 W s napätím článku v rozsahu od 0,3 V do 5,5 V. Súčiastka sa vyrába v puzdre TSSOP-10, čím je vhodná pre ručnú montáž. Implementácia algoritmu MPPT spočíva v metóde sledovania výkonu, ktorý je získaný súčinom snímaného napätia a prúdu záťaže, tak ako popisuje vývojový diagram na obr. 3.29. Pre tento účel je súčiastka vybavená vstupmi na meranie úbytku na snímacích prvkoch. Zapojenie obvodu v aplikácii ukazuje obr. 3.31.



Obr. 3.31: Zapojenie MPPT meniča SPV1040

V zapojení sa vyskytuje niekoľko súčiastok, ktorých hodnoty je nutné vypočítať podľa návrhovej príručky [44] obvodu. Vstupná kapacita C_{IN} slúži na zníženie zvlnenia napätia na vstupe a je daná vzťahom

$$C_{IN} = \frac{I_{SC}}{F_{SW} \cdot V_{IN-ripple-max}}, \tag{3.9}$$

kde I_{SC} je prúd solárneho článku nakrátko, F_{SW} pracovná frekvencia meniča a $V_{IN-ripple-max}$ je maximálne prípustné zvlnenie. Pracovná frekvencia je fixná s hodnotou $F_{SW} = 100$ kHz. Za prúd nakrátko I_{SC} môžme dosadiť hodnotu I_{REG}, teda

100 mA. Pri určení vstupnej kapacity C_{IN} odhadom na 100 µF je možné po úprave vzťahu zistiť maximálne zvlnenie,

$$V_{IN-ripple-max} \leq \frac{I_{SC}}{F_{SW} \cdot C_{IN}} = \frac{100\ mA}{100\ kHz \cdot 100\ \mu F} = 10\ mV.$$

Vstupná kapacita je zložená z dvoch kondenzátorov a to 10 µF keramický a 100 µF elektrolytický tantalový.

Napätie článku je obvodom snímané na vývode MPP_SET. Pre jeho filtráciu je do zapojenia zavedený RC článok, ktorého časová konštanta nesmie presiahnúť 1 ms. V návrhovej príručke sú použité $R_5 = 1k\Omega$ a $C_4 = 100$ nF, čím sa získa časová konštanta 100 µs.

Keďže súčiastka pracuje ako zvyšujúci menič, pozornosť je treba venovať voľbe cievky L_X. Efektívna hodnota prúdu cievkou I_{LXrms} je porovnateľná s prúdom v bode MPPT,

$$I_{LXrms} \cong I_{MP} < I_{SC}.$$

Podstatný je špičkový prúd cievkou, ktorý získame ďalším vzťahom

$$I_{LXpeak} = I_{LXrms} + \frac{t_{ON} \cdot V_{MP}}{2L_X}, \tag{3.10}$$

kde t_{ON} je čas, počas ktorého prechádza prúd cievkou, V_{MP} je napätie článku v bode MPPT a L_X je indukčnosť, ktorú treba najprv určiť. Jej výpočet prebehne podľa

$$L_X > \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{ON} \cdot V_{MP}}{2 - I_{LXrms}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{t_{ON} \cdot V_{MP}}{2 - I_{MP}}. \tag{3.11}$$

Hodnota I_{MP} už bola stanovená na 100 mA a V_{MP} je pre výpočet určené ako 2,5 V. Prúd prechádza cievkou pri 100 kHz pracovnej frekvencii a maximálnej striede 90 % dobu dlhú 9 µs, čo je čas t_{ON}. Dosadením získame hodnotu

$$L_X = \frac{1}{2} \cdot \frac{9\ \mu s \cdot 2,5\ V}{1,9\ A} = 5,92\ \mu H.$$

Výrobca v návrhovej príručke uvádza, že väčšinu aplikácií uspokojí cievka s hodnotou od 10 µH do 100 µH. Preto je vybraná minimálna indukčnosť ponúkaného rozsahu. S jej znalosťou je možné sa vrátiť k vzťahu 3.10 a určiť špičkový prúd cievkou ako

$$I_{LXpeak} = 100\ mA + \frac{9\ \mu s \cdot 2,5\ V}{2 \cdot 10\ \mu H} = 1,225\ A.$$

So znalosťami indukčnosti L_X a špičkového prúdu I_{LXpeak} môžme vybrať vhodný typ cievky. Kritéria spĺňa napr. LPS5030-103M fy. Coilcraft s rozmermi 4,8 × 4,8 mm

a maximálnym prúdom 1,4 A. Cievka sa dá nahradiť veľkým množstvom ďalších typov od rôznych výrobcov.

Vzťah výstupnej kapacity C_{OUT} a zvlnenia výstupného napätia je rovnaký ako u vstupnej kapacity C_{IN} podľa vzťahu 3.9. Pri použití kapacity C_{OUT} = 10 µF je maximálne výstupné zvlnenie $V_{IN-ripple-max} \leq 100$ mV.

Výstupné napätie meniča V_{OUT} sa nastavuje na vývode VCTRL, do ktorého je zavedený signál zo spätnoväzbového odporového deliča R1 a R2. V_{OUT} je dané rovnicou

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{OUT}}{1,25} - 1, \tag{3.12}$$

pričom V_{OUT} nesmie byť nižšie než je napätie solárneho článku. V sekcii venovanej automatickej voľbe zdroja nabíjačky batérie bolo napätie solárneho meniča stanovené ako V_{SOLAR} = 4,6 V. Dosadením získame pomer rezistorov

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{4,6}{1,25} - 1 = 2,68.$$

Získanému pomeru zodpovedajú čísla napr. 220 a 82 vybrané z rezistorovej rady E12. Spätným dosadením do 3.12 obdržíme hodnotu V_{OUT} = 4,603 V. Návrhová príručka odporúča zvoliť hodnoty rezistorov tak, aby pretekajúci prúd spadal do rozsahu 2 µA až 20 µA pre správnu funkciu spätnoväzobného vývodu VCTRL. Tejto podmienke zodpovedajú rezistory s hodnotami R_1 = 220 kΩ a R_2 = 82 kΩ, pričom prechádzajúci prúd je potom 15,2 µA. Kondenzátor pripojený pararelne k rezistoru R_2 slúži na filtráciu rušenia a jeho odporúčaná hodnota je C_2 = 1 nF.

Rezistor R_S slúži ako odporový bočník, na ktorom je meraný výstupný prúd meniča. Hodnotu určíme podľa vzťahu

$$R_S \cong \frac{50\ mV}{I_{OUT}} = \frac{50\ mV}{100\ mA} = 0,5\ \Omega. \tag{3.13}$$

I_{OUT} zodpovedá I_{MP}. Snímacie vývody obvodu ICTRL+ a ICTRL- sa k bočníku pripájajú filtrom tvoreným súčiastkami, ktorých hodnoty odporúča výrobca. Sú to rezistory $R_{F1} = R_{F2}$ = 1 kΩ a kondenzátor C_F = 1 µF.

3.20 Výber solárneho panela

Pri návrhu solárneho meniča boli načrtnuté niektoré parametre solárneho článku. Známy je minimálny prúd I_{MP} = 100 mA. Napätie článku naprázdno V_{OC} nesmie podľa [44] prekročiť výstupné napätie meniča V_{OUT} = 4,6 V.

Prehliadkou katalógov ázijských výrobcov na internete sa dá zistiť, že solárne články sú zväčša skladané do panelov rôznych rozmerov, výkonov a výstupných

napätí. Uvádzané napätie V_{MP} býva celočíselným násobkom napätia jediného článku, ktoré je $V_{PV} = 0{,}5$ V; čo znamená že články sa dajú radiť sériovo. Predajcovia dávajú zákazníkovi na výber vlastnú konfiguráciu článkov. Nevýhodou sériovej kombinácie článkov je, že nemusia mať identické parametre, takže nie každý článok bude dodávať rovnaký výkon.

Keďže v čase nákupu súčiastok pre stavbu platformy nebol v ponuke katalógov výrobcov žiadny hotový solárny panel, ktorý by zároveň vyhovoval svojimi rozmermi a elektrickými parametrami, bolo pristúpené k jeho zostaveniu z menších článkov.

Pre platformu bol zostavený solárny panel, ktorého parametre sú v tab. 3.8. Zložený je z 5 kusov sériovo radených článkov s rozmerom 52 × 19 mm. Fotografia vyrobeného panelu je na obr. 3.32.

Tab. 3.8: Parametre zhotoveného solárneho panela

V_{MP}	I_{MP}	Aktívna plocha
2,5 V	320 mA	52 × 97 mm

Obr. 3.32: Zhotovený solárny panel

4 VYHOTOVENIE OTVORENEJ PLATFORMY

Táto kapitola stručne charakterizuje navrhnutú dosku plošných spojov a následnú montáž súčiastok na DPS.

4.1 Doska plošného spoja

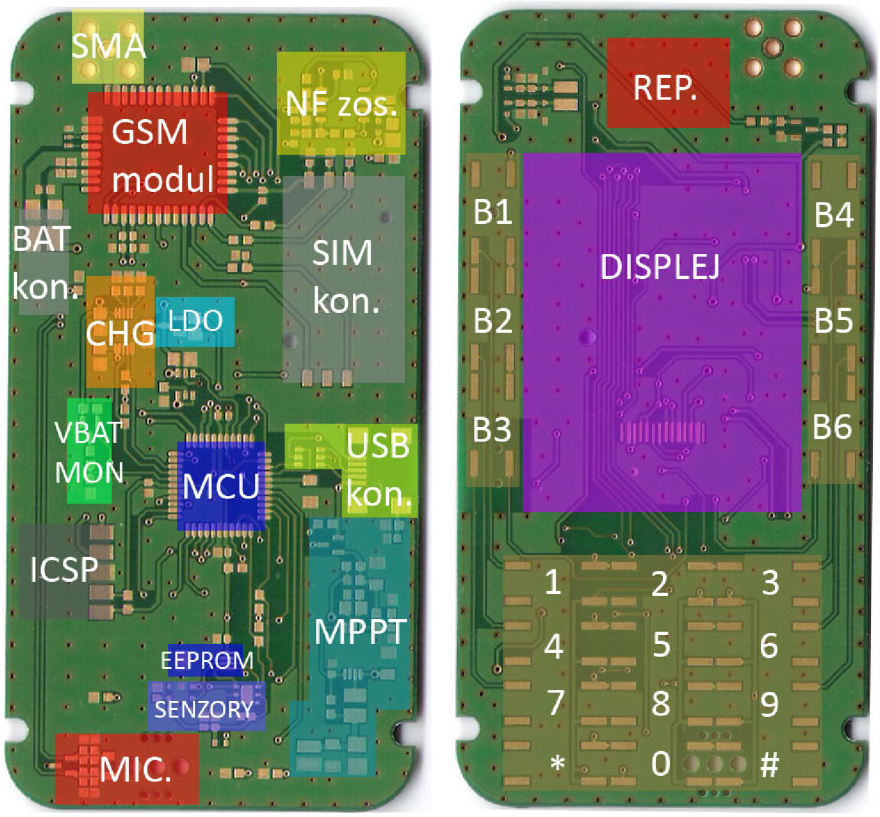
Podľa požiadavkov otvorenej platformy bola doska plošných spojov navrhnutá ako dvojvrstvová. Okrem funkcie elektrických prepojov je aj nosným prvkom konštrukcie. Jej obrys definuje celkový tvar a vonkajší zjav prístroja. Navrhnutú DPS opisuje obdĺžnik s rozmermi 101,4 × 52,4 mm.

Na DPS týchto rozmerov sú rozmiestnené všetky súčiastky v rozostupoch dostatočných pre manipuláciu s hrotom mikrospájky pri osadzovaní. Vrchná (top) strana DPS poskytuje miesto pre montáž displeja, tlačidiel klávesnice a slúchadla. Všetky ostatné súčiastky sú umiestnené na spodnej (bottom) strane DPS.

Komponenty vrchnej strany DPS však spôsobovali obtiaže pri návrhu motívu vodivých prepojov. Ich špecifické spájkovacie plošky boli príčinou nutnosti viacnásobnej zmeny strany vedenia niektorých spojov. To sa prejavilo potrebou rozdeliť rozliatu plochu medi zemného potenciálu na viacerých miestach.

Naopak zjednodušenie návrhu umožnila technológia mapovateľných periférií [20] použitého MCU PIC24FJ64GB004, ktorá poskytuje značnú flexibilitu pri konfigurácii vývodov tejto súčiastky. Tým odpadla nutnosť privedenia cesty signálu na striktne určený vývod MCU.

Výroba DPS bola zadaná firme Gatema s.r.o. v jej službe prototypovej výroby, tzv. pool servis. Fotografie vyrobenej DPS sa nachádza na obr. 4.1. V nej sú zakreslené oblasti prislúchajúce jednotlivým blokom zapojenia.



Obr. 4.1: Vyrobené DPS s vyznačenými blokmi zapojenia

Vysvetlivky: REP. = reproduktor, SMA = konektor antény, NF zos. = zosilňovač reproduktoru, BAT kon. = konektor batérie, SIM kon. = konektor SIM karty, CHG = nabíjací obvod batérie, LDO = stabilizátor napätia 2,8 V, VBAT MON = odporový delič pre meranie napätia batérie, MCU = mikrokontrolér, USB kon. = USB konektor, ICSP = programovací konektor, MPPT = menič solárneho článku, MIC. = mikrofón

Tab. 4.1: Poradie spájkovania súčiastok na DPS

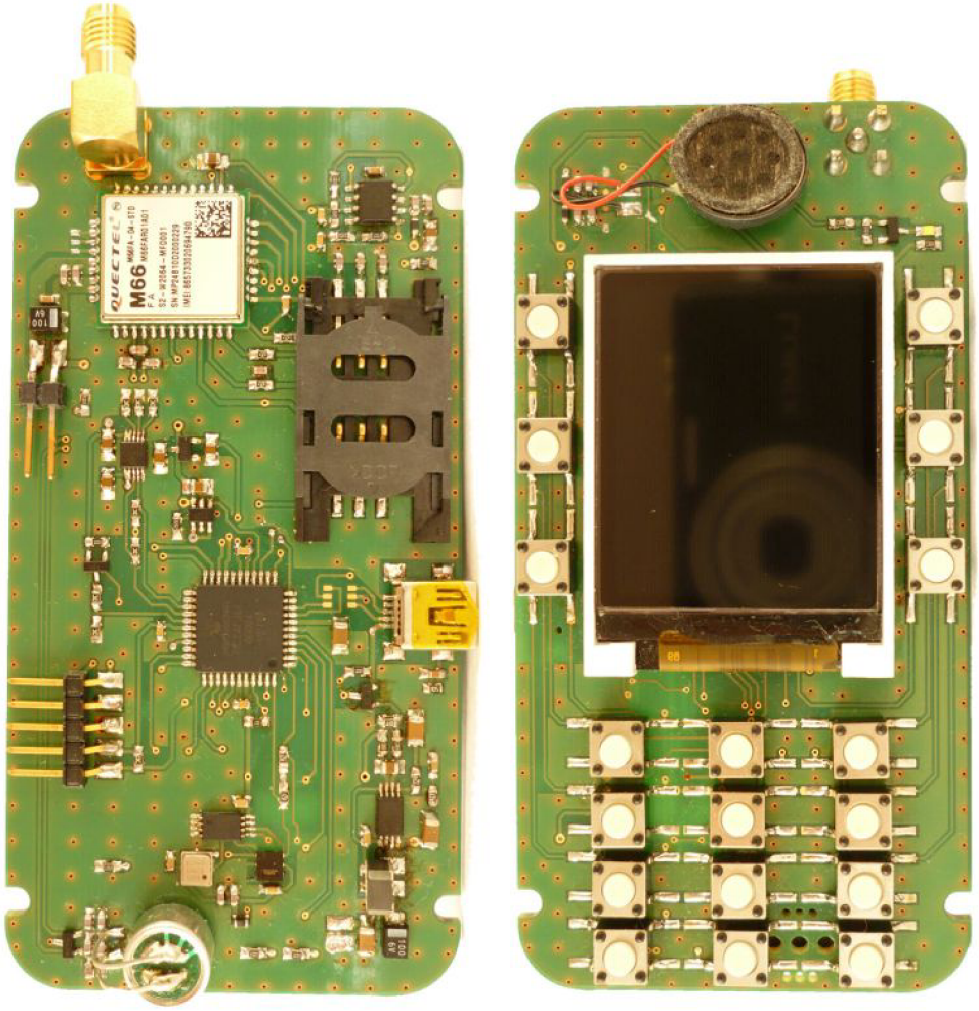
Poradie	Súčiastka	Puzdro
1.	GSM modul	LCC44
2.	MCU	TQFP-44
3.	NF zosilňovač	SOIC-8
4.	Nabíjačka, solárny menič pamäť EEPROM	MSOP-10, TSSOP-8 TSSOP-8
5.	Budič podsvietenia	SOT23-6
6.	Puzdra SOT23	-
7.	Puzdra 0603, 0805, 1206	-
8.	Konektor SIM karty	atyp.
9.	USB konektor	USB-mini-AB
10.	Displej	atyp.
11.	Tlačidlá	6 × 6 mm
12.	Vývodové (konektory, reproduktor, SMA konektor)	-

4.2 Osadenie súčiastok na DPS

Súčiastky na DPS boli postupne osadzované v poradí podľa obtiažnosti osadenia. Ako prvé boli zaspájkované senzory BMP180 a SHT21 v puzdrach LGA, vyžadujúce montáž teplovzdušnou pištoľou. Ich osadenie prebehlo v laboratóriach Ústavu mikroelektroniky. Ďalšie súčiastky boli umiestnené ručným prispájkovaním mikrospájkou. Spájkovanie prebehlo v poradí, ktorého prehľad približuje tab. 4.1.

Špecifická bola montáž displeja, ktorý sa vyznačuje samolepiacimi fóliami na kľúčových miestach. Prvým je páskový vodič, ktorého nalepením sa zafixuje v polohe vhodnou pre spájkovanie. Ďalšie sú samolepiace pásy po krajoch displeja, ktorými sa displej osadí na voľné miesto na DPS.

Pre spájkovanie bola použitá mikrospájka Weller WECP-20 s plochým hrotom šírky 2 mm, spájka zloženia Sn60Pb40 a tavidlo MTL-468R rozriedené izopropanolom. Techniku spájkovania súčiastok pre povrchovú montáž približuje náučný dokument [45]. Fotografie osadenej DPS sa nachádzajú na obr. 4.2



Obr. 4.2: DPS telefónu po osadení všetkými súčiastkami

5 SOFTWARE OTVORENEJ PLATFORMY

V navrhnutej otvorenej platforme je značná časť jej obsahu tvorená softvérom. Ten zahŕňa program, ktorý ovláda ústredný komponent GSM modul a ostatné periférie, ako sú displej alebo obsluha klávesnice. Keďže tvorba komplexného programu poskytujúci maximálny užívateľský komfort a prepracované grafické prostredie by značne presahovala rozsah tejto práce, vytvorený bol jednoduchý program, ktorý overuje základnú funkcionalitu hardvéru platformy.

Kapitola v prvej časti objasňuje funkciu dielčich častí ako riadenie GSM modulu či obsluhu displeja a klávesnice a v druhej časti popisuje funkciu programu pomocou vývojových diagramov.

5.1 Vývojové prostredie

Použitý mikrokontrolér PIC24FJ64GB004 je 16-bitový MCU z rodiny 24F fy. Microchip. Výrobca deklaruje podporu kompilácie programu vytvoreného v jazyku C. Pre tvorbu programu bolo použité prostredie MPLAB 8.92, ktoré Microchip poskytuje zdarma na stiahnutie na svojich webových stránkach www.microchip.com. Pre kompiláciu programu daného zariadenia je nutné k vývojovému prostrediu pripojiť vhodný kompilátor. Výrobca poskytuje okrem platených produktov aj freeware kompilátor XC16 určený pre kompiláciu programov vytvorených v jazyku C pre 16-bitové procesory. Použitá bola verzia XC16 1.24 [46].

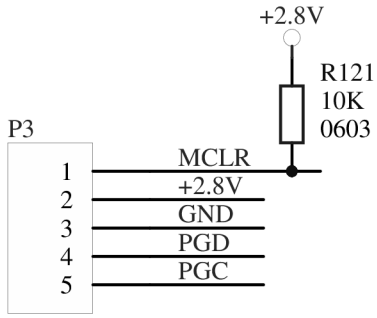
5.2 Programátor

Pre naprogramovanie MCU bol použitý programátor PICkit 3 fy. Microchip. Dá sa zakúpiť u mnohých tuzemských distribútorov, popr. jeho klony u ázijských výrobcov za nižšie ceny, keďže Microchip poskytuje schému programátora. Tá je uvedená v užívateľskej príručke [47].

Programovaný procesor sa k programátoru pripája cez 5-vodičové rozhranie ICSP, ktorého zapojenie na strane MCU je viditeľné na obr. 5.1.

5.3 Ovládanie displeja

Ako prvé bolo do programu implementované rozhranie pre ovládanie displeja. Je to z dôvodu, že akékoľvek udalosti alebo výstupy získané pri tvorbe a ladení programu je nutné užívateľovi oznámiť, najjednoduchšie výpisom na displej.

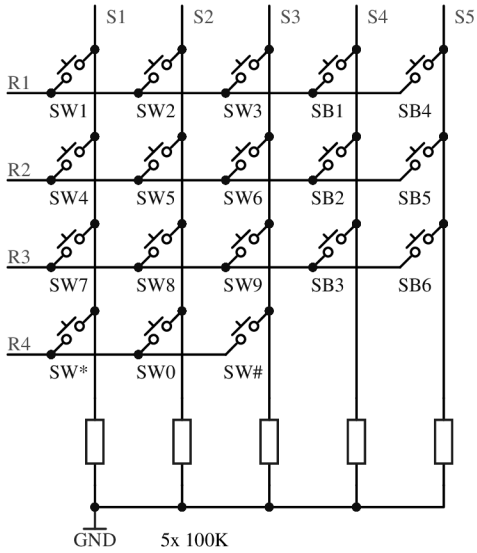


Obr. 5.1: Zapojenie programovacieho rozhrania ICSP na strane MCU

Knižnica pre riadenie radiča ST7735R, ktorým je displej osadený bola získaná z webovej stránky základne otvoreného softvéru ToughDev [48]. Autor deklaruje, že jeho knižnica bola upravená z knižnice určenej pre radič ST7735, ktorú prevzal od firmy Adafruit. Tá ju poskytuje v licencii GNU GPL ku svojim modulom platformy Arduino.

Pri implementácii do otvorenej platformy bola prevzatá knižnica upravená na využívanie hardvérovej periférie rozhrania SPI, ktorá sa narozdiel od pôvodného ovládania bitov I/O portov vyznačuje vyššou rýchlosťou. Pre zjednodušenie riadenia časovania komunikačného protokolu bolo vylúčené použitie vodiča $\overline{\text{CSX}}$, ktorým sa aktivuje rozhranie displeja. Nastavením jeho hodnoty do nuly je rozhranie permanentne aktívne.

5.4 Obsluha klávesnice

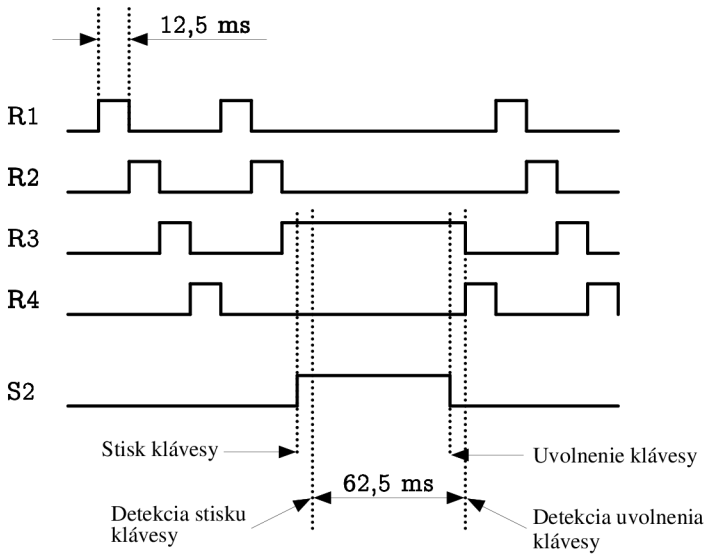


Obr. 5.2: Zapojenie maticovej klávesnice 4×5

Pre získanie podnetov užívateľa na ovládanie programu ako sú príkazy alebo vloženie číselnej hodnoty je použitá numerická klávesnica s označením kláves 0 až 9, znakové klávesy s označením * a # a funkčné klávesy po bokoch displeja s označením B1 až B6.

Zapojenie klávesnice je maticové v usporiadaní 4 × 5, zaznamenané na obr. 5.2. Vyhodnotenie stisku klávesy prebieha periodickým budením riadkov klávesnice logickou jednotkou, pričom program zisťuje prítomnosť logickej jednotky v jednotlivých stĺpcoch. Logickým súčtom vektoru riadkov R a vektoru stĺpcov S získame súradnicu danej klávesy. Preddefinovaná úroveň nestlačenej klávesy v danom stĺpci je logická nula, ktorú zaisťujú pull-down rezistory. Budenie riadkov klávesnice definuje smer bitov použitého I/O portu, čím je zaistená odolnosť voči skratu pri stisku viacerých kláves súčasne v jednom stĺpci.

Posuv budenia riadkov je riadený rutinou prerušenia programu, ktorú vyvoláva časovač nastavený na periódu t = 12,5 ms. Pri uvážení počtu riadkov 4 tým získame periódu 50 ms pre jeden riadok, čím je zaistená odolnosť voči zákmitom tlačidla. Vývojový diagram rutiny prerušenia zachytáva obr. 5.4. Zistenie stavu daného stĺpca je závislé od výsledky predchádzajúceho vyhodnotenia, čím je zaistené prioritné vyhodnotenie v prípade stisku viacerých kláves súčasne. V prípade, že nie je stlačená žiadna klávesa, rutina nastaví príznak uvolnenej klávesy, ktorý je dôležitý pre vyhodnotenie v hlavnej programovej slučke.

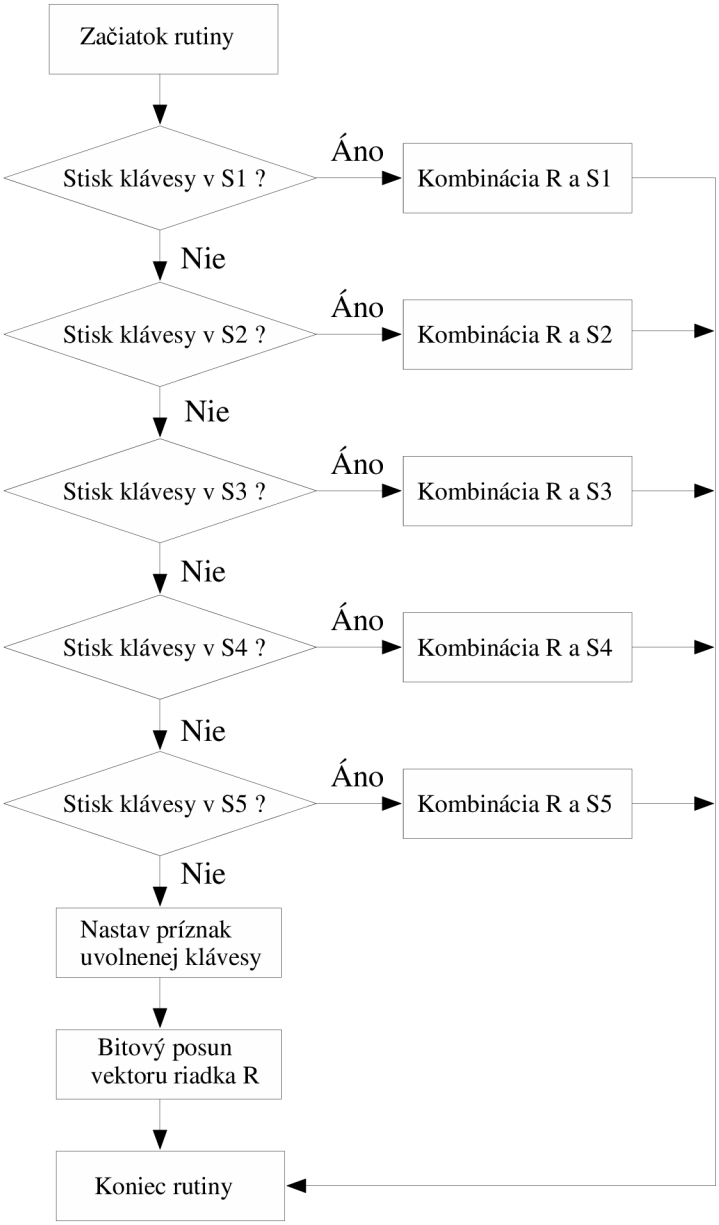


Obr. 5.3: Časový priebeh budenia riadkov klávesnice a čítania stavu v stĺpci

V tejto slučke je v prípade detekcie stisku klávesy nastavený príznak stlačenej klávesy, ktorý zamedzuje viacnásobnému výkonu programu závislého od stisku danej klávesy až do doby, kým nie je nastavený príznak uvolnenej klávesy v obsluhe rutiny

prerušenia. Zmena budenia riadkov je v prípade detekcie stisku taktiež pozastavená až do doby uvolnenia pre elimináciu falošnej detekcie uvolnenia.

Príklad priebehu budenia riadkov R a stisku v stĺpci S2 ukazuje obr. 5.3. V tomto príklade nastal stisk klávesy so súradnicami R3 a S2. Číslo charakterizujúce budenia riadkov má v tento moment hodnotu `0x04`. Stĺpec nadobudol vo vyhodnotení hodnotu `0x02`. Bitovým posunom vektoru riadka o 4 pozície doľava a následnym logickým súčtom získame číslo `0x42`, ktoré obsluha v hlavnej programovej slučke vyhodnotí ako stisk klávesy s označením 8.



Obr. 5.4: Obsluha rutiny prerušenia z časovača pre čítanie stavu sĺpca a zmeny budenia riadku

5.5 Ovládanie GSM modulu

GSM modul Quectel M66 sa ovláda AT príkazmi, ktorých značná podskupina [2] je štandardizovaná a je možné nimi ovládať množstvo ďalších telekomunikačných zariadení. Z toho vyplýva, že naprogramovaná sekvencia príkazov by mala na iné GSM moduly podobné účinky ako v navrhnutej platforme.

Modul sa zapína siahnutím vývodu PWRKEY k zemi na dobu minimálne 1 s. V tej chvíli je už na vývode pomocného zdroja napätia VDD_EXT napätie 2,8 V. Program overuje prítomnosť tohto napätia na detekciu korektného štartu GSM modulu. V prípade, že modul nemá dostatočné napájacie napätie minimálne VBAT = 3,3 V; modul sa okamžite reštartuje a program vyhodnotí chybu štartu.

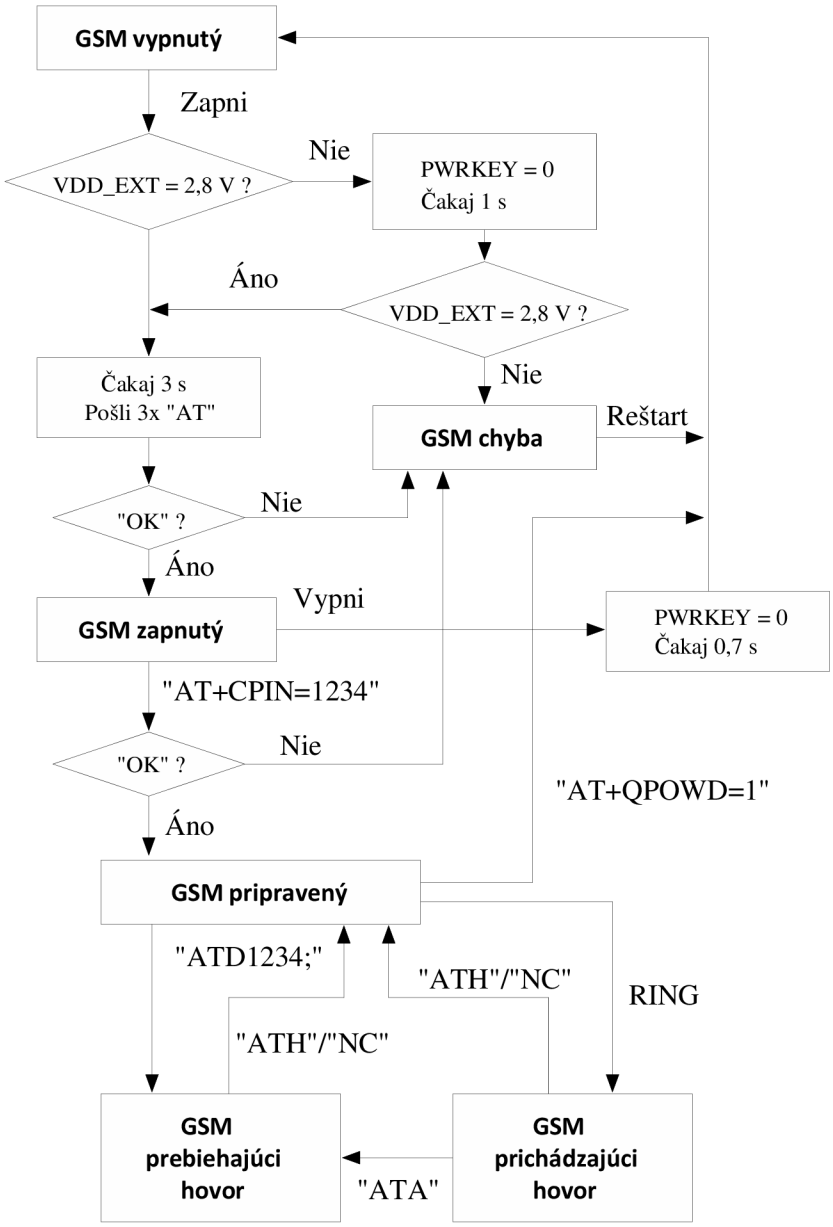
GSM modul prijíma AT príkazy cez rozhranie UART, ktorého hardvérovou perifériou je vybavený použitý MCU. Príkazy je nutné posielať vo formáte `AT+<príkaz><CR>`, kde <CR> je znak zalomenia riadku. Modul odpovedá vo formáte `<CR><LF><odpoveď><LF><CR>`, kde <LF> značí nový riadok. Táto sekvencia zlepšuje prehľad pri výpise do konzoly v prípade pripojenia modulu k asynchrónnemu sériovému terminálu.

Podľa programovacej príručky [15] sa odporúča po zapnutí modulu počkať 3 s na inicializáciu softvéru a následne modulu 3× poslať príkaz `AT`, ktorým dôjde k synchronizácii rýchlosti prenosu dát (tzv. baudrate). Po úspešnej synchronizácii odpovie modul `OK`. Táto odpoveď sprevádza akýkoľvek úspešne vykonaný príkaz.

Prihlásenie GSM modulu do siete prebehne pomocou príkazu `AT+CPIN=1234`, kde číslo 1234 je príklad zadávaného PIN kódu SIM karty. V prípade úspešného prihlásenia sa do siete modul odpovie `Ready`.

Telefónny hovor modul započne príkazom `ATD123456789;`. V prípade, že neprichádza odpoveď od druhej strany alebo druhá strana hovor ukončí, modul odpovie `NO CARRIER`. Telefónny hovor je možné ukončiť príkazom `ATH`, prijatie prichádzajúceho hovoru prebehne pomocou `ATA`. Prichádzajúci hovor je tiež sprevádzaný nastavením logickej nuly na výstupe modulu s označením RING.

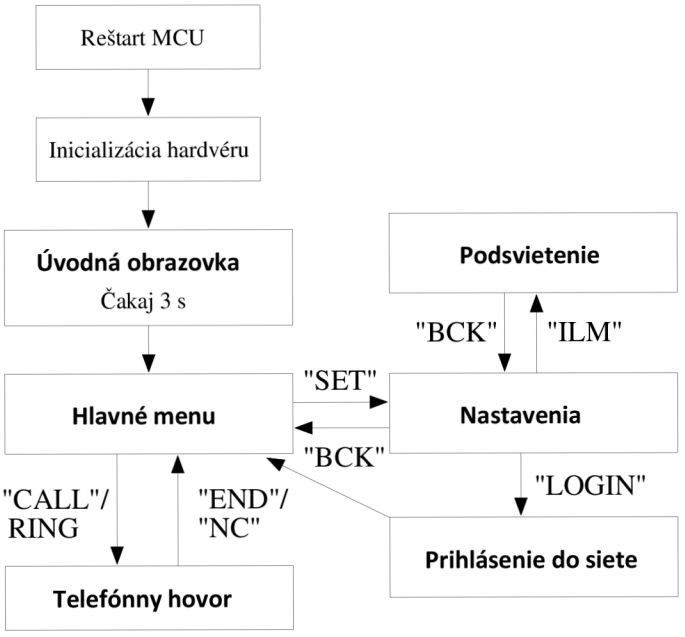
Vypnutie modulu prebehne odoslaním príkazu `AT+QPOWD=1`, ktorého súčasťou je odhlásenie modulu z mobilnej siete. Ďalší spôsob vypnutia je siahnutím vývodu PWRKEY k zemi na dobu v rozpätí 0,7 s až 1 s. V takomto prípade však neprebehne odhlásenie modulu zo siete. Vývojový diagram prevádzky GSM modulu poskytuje obr. 5.5.



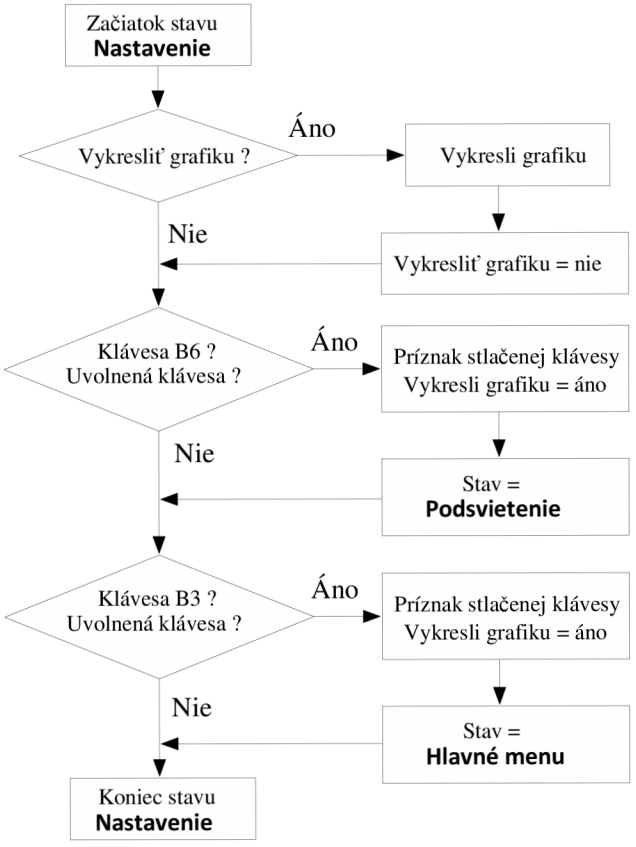
Obr. 5.5: Vývojový diagram prevádzky GSM modulu pomocou stavového automatu

5.6 Štruktúra programu

Program charakterizujú dva stavové automaty. Prvý popisuje ovládacie menu a druhý stav GSM modulu. Stavový automat GSM modulu je opísaný vo vývojovom diagrame na obr. 5.5. Stavový automat ovládacieho menu je popísaný diagramom na obr. 5.6. Hlavná programová slučka programu obsahuje prakticky iba obsluhu stavov, tak ako ukazuje obr. 5.8.

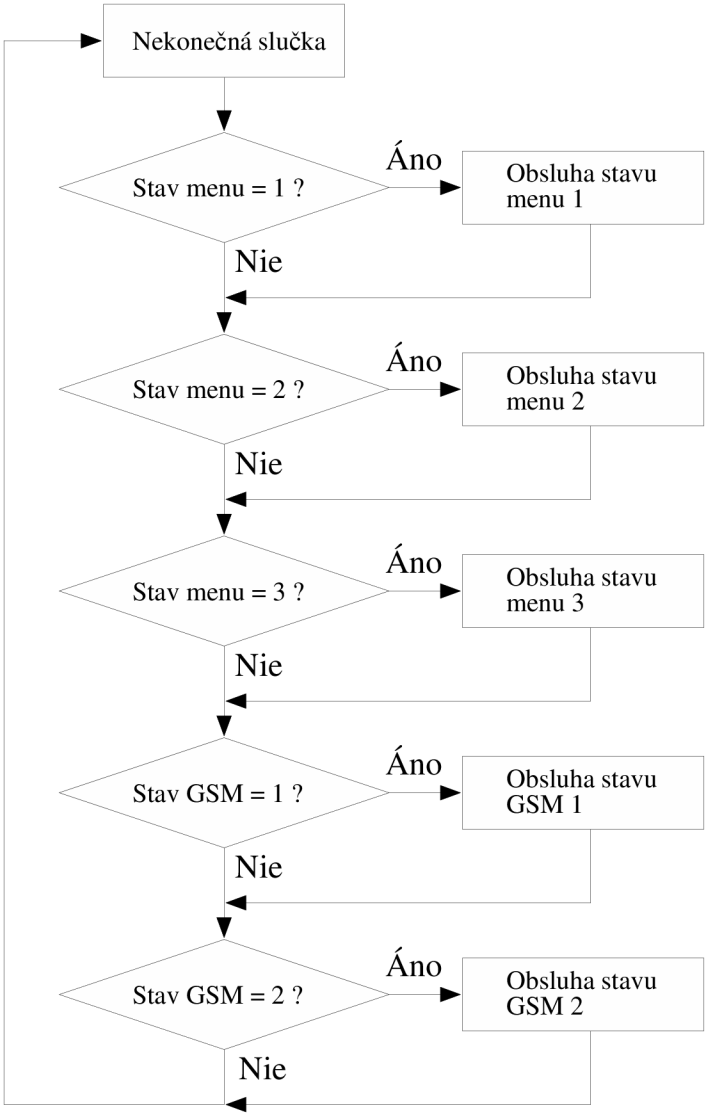


Obr. 5.6: Vývojový diagram ovládacieho menu, využitie stavového automatu



Obr. 5.7: Obsluha stavu menu Nastavenia

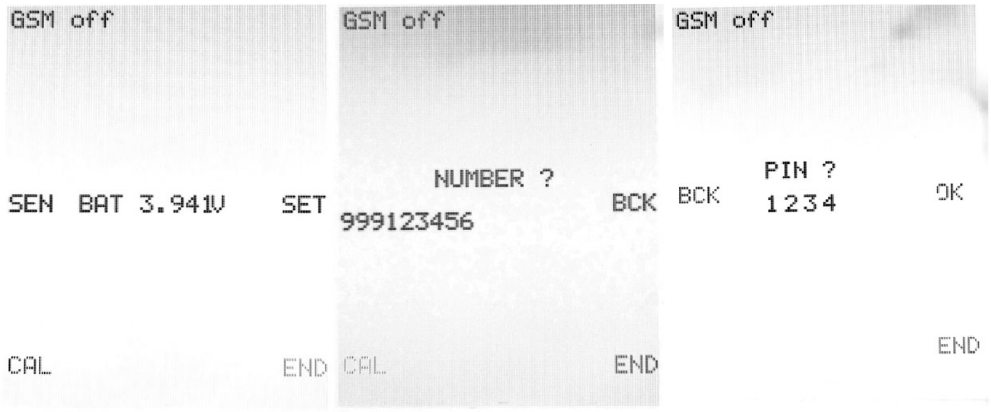
Obr. 5.7 uvádza príklad obsluhy stavu, ktorý charakterizuje menu Nastavenia. V ňom je možný prechod do stavu Podsvietenie alebo prechod do stavu Hlavné menu. Prechod nastane v prípade, že je stlatečná určená klávesa a zároveň bol vynulovaný predchádzajúci príznak stlačenej klávesy. Vyhodnotenie klávesy je sprevádzané nastavením príznaku stlačenej klávesy. V tomto kroku je tiež nastavený príznak pre vykreslenie novej grafiky, ktorý je overovaný na začiatku obsluhy každého stavu. Je to z dôvodu šetrenia výpočtovým výkonom pri riadení displeja.



Obr. 5.8: Obsah hlavnej programovej slučky

5.7 Vizuálny vzhľad menu

Pre zjednodušenie tvorby ovládacieho programu boli využité len základné funkcie knižnice displeja [48]. Sú to napr. vykreslenie znakov a textu na displej aleboo vykreslenie farebnej výplne pre vymazanie už nepotrebného obsahu. Užívateľ ovláda telefón pomocou kláves po okrajoch displeja s označením B1 až B6. Týmto klávesám prislúchajú v jednotlivých menu príslušné funkcie. Príklad vyhotovených menu poskytujú snímky displeja na obr. 5.9



Obr. 5.9: Príklad vytvoreného menu pre ovládanie telefónu. Zľava doprava: Hlavné menu, zadanie telefónneho čísla, vloženie PIN kódu pri prihlásení do siete

6 TESTOVANIE A MERANIE PARAMETROV

Napriek faktu, že väčšina funkcionality z pohľadu užívateľa je tvorená obsahom programu, pre overenie funkčnosti zostrojeného telefónu bolo treba zistiť aj elektrické charakteristiky. Kapitola sa zaoberá zväčša meraním spotreby energie za rôznych podmienok a naopak dobíjaním energie do batérie.

6.1 Spotreba telefónu v rôznych režimoch

Pre overenie splnenia kritéria nízkej spotreby a úspory energie bol zmeraný prúdový odber zo zdroja napätia pri rôznych režimoch prevádzky telefónu. Prvé dve merania prebehli pri vypnutom GSM module, pričom v prvom prípade bol mikrokontrolér držaný v stave reset stiahnutím vývodu $\overline{\text{MCLR}}$ k zemi. V tomto stave je MCU v nečinnosti a jediným spotrebičom energie je stabilizátor 2,8 V; radič displeja, pamäť EEPROM a senzory. Druhý prípad predstavuje prevádzku vytvoreného programu, pričom podsvietenie displeja je budené signálom so striedou 2,4%. V ďalším režimoch bol zapnutý GSM modul, prihlásenie GSM modulu do siete a nakoniec nastavenie podsvietenia displeja na plný svit. Výsledky obsahuje tab. 6.1.

Tab. 6.1: Spotreba telefónu v rôznych režimoch

Napájacie napätie	3,35 V	4,0 V	4,45 V
MCU RESET	1,09 mA	1,10 mA	1,12 mA
Nečinnosť	8,23 mA	8,25 mA	8,69 mA
GSM modul zapnutý	20,68 mA	20,55 mA	21,08 mA
GSM modul prihlásený	22,30 mA	20,83 mA	21,14 mA
100% podsvietenie	45,9 mA	45,8 mA	46,5 mA

6.2 Spotreba GSM modulu

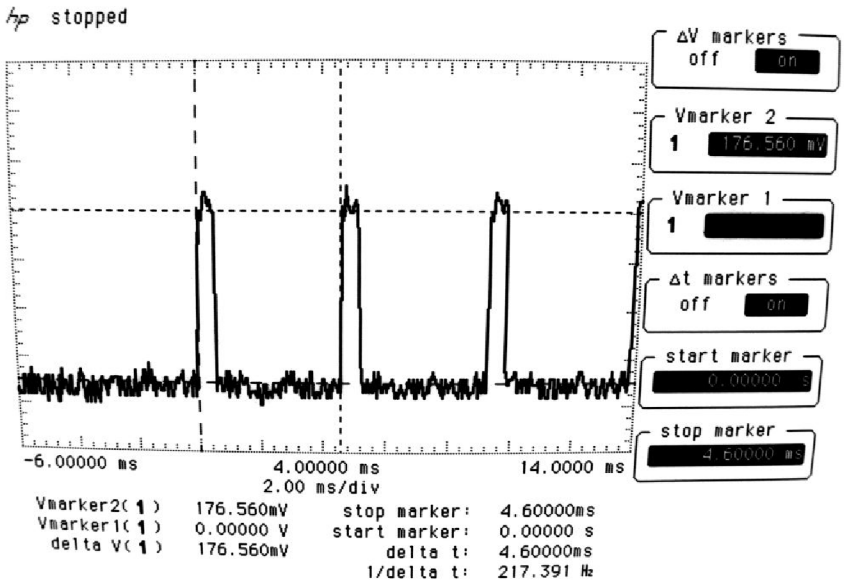
Najväčším spotrebičom energie je GSM modul počas komunikácie v sieti. GSM modul sa vyznačuje energetickými nárokmi, ktorým bolo potrebné počas návrhu prispôsobiť vedenie prívodov z batérie, z ktorej je modul napájaný priamo. Výrobca Quectel deklaruje maximálnu prúdovú špičku 1,6 A počas vysielacieho burstu. Osciloskopom bol zmeraný prúdový odber pri rôznych napájacích napätiach modulu v režime vysielania aj príjmu. Najväčší prúdový odber nastal pri počiatku vysielania,

po niekoľkých sekundách sa odber znížil a ustálil na stabilnej hodnote. Zistené hodnoty sú zaznamenané v tab. 6.2. Príklad oscilogramu počas vysielania na začiatku poskytuje snímka obrazovky osciloskopu na obr. 6.1.

Tab. 6.2: Špičkový prúdový odber GSM modulu počas komunikácie v sieti

Napájacie napätie	3,35 V	4,0 V	4,45 V
TX začiatok	1,53 A	1,35 A	1,45 A
TX ustálené	156 mA	100 mA	100 mA
RX začiatok	1,7 A	1,62 A	1,55 A
RX ustálené	375 mA	256 mA	231 mA

Vysvetlivky: TX = vysielanie, RX = príjem



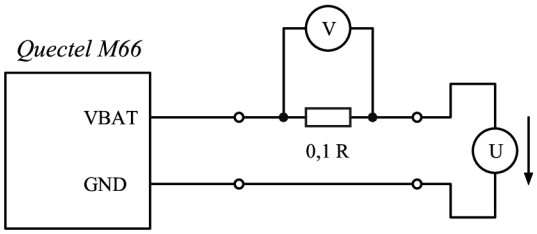
Obr. 6.1: Priebeh odberu prúdu GSM modulu na začiatku vysielania

6.3 Metodika merania

Keďže modul sa vyznačuje spotrebou presahujúcu jednotku ampéra, bolo nutné pre meranie prúdového odberu zostaviť zapojenie, ktoré nespôsobí úbytok napätia na module vedúci k neočakávanému reštartu. Na obr. 6.2 sa nachádza zapojenie obsahujúce rezistor fy. Vishay rady Dale NS-5 [49] hodnoty $0,1\ \Omega$. Na ňom je meraný úbytok napätia multimetrom s presnosťou 6½, z ktorého je vypočítaný prechádzajúci prúd. Priame meranie odberu prúdu multimetrom na prúdovom meracom rozsahu

nie je možné, keďže úbytok vzniknutý na prívodných vodičoch spôsoboval reštart modulu. Zoznam použitých prístrojov je uvedený v tab. 6.3.

GSM modul bol počas merania registrovaný v sieti operátora Telefónica O2 CZ. Podľa nekomerčnej webovej stránky http://www.gsmweb.cz/o2/ bola zistená vzdialenosť telefónu od najbližšej BTS 120 m. Prostredím bola hustá mestská zástavba.



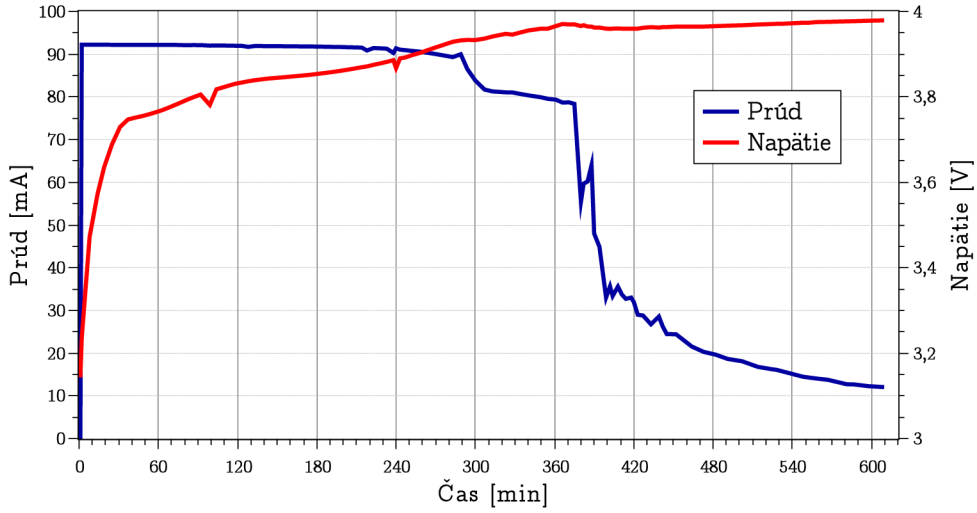
Obr. 6.2: Zapojenie telefónu/GSM modulu pre meranie spotreby

Tab. 6.3: Použité prístroje pre meranie parametrov

Prístroj	Použitie	Typ, model
Multimeter	Meranie napätia batérie	Fluke 187
Multimeter	Meranie úbytku bočníka	Philips PM2534
Zdroj	Napájanie telefónu/GSM modulu	Agilent 6632B
Osciloskop	Meranie úbytku bočníka	HP 54502A
Bočník	Meranie prúdového odberu	Vishay Dale NS-5 $0,1\ \Omega$ 1% 5W

6.4 Nabíjanie batérie

Overenie funkcie nabíjania batérie spočíva v zistení charakteristiky nabíjania a jej porovnaní s charakteristikou deklarovanou výrobcom. Merané parametre boli napätie batérie a nabíjací prúd. Meranie začalo pri napätí Vbat = 3,15 V a malo trvanie 10 hodín. Podľa dátoveho listu [23] dôjde po 6 hodinách nabíjania k aktivácii ochrany, ktorá ukončí nabíjanie. K tomuto javu však nedošlo, obvod v nepravidelných intervaloch odpájal a pripájal batériu k svojmu zdroju prúdu. Tento jav je pravdepodobne spôsobený prúdovým odberom samotného telefónu, ktorý sa prejavil v offsete nabíjacieho prúdu. Ako vidno na zmeranej charakteristike na obr. 6.3, nabíjaci prúd vo fáze konštantného prúdu dosahoval voči nastavenému prúdu 100 mA hodnotu len 92,2 mA. Napätie batérie nedosiahlo hodnotu 4,2 V; pri ktorej má nabíjací obvod prejsť do režimu konštantného napätia.



Obr. 6.3: Priebeh nabíjacieho prúdu a napätia batérie; nabíjací obvod MCP73834; kapacita batérie 750 mAh

6.5 MPPT menič pre solárny panel

V predchádzajúcich kapitolách bolo navrhnuté použite solárneho panela pre dobíjanie batérie v teréne. Keďže sa nepodarilo zakúpiť hotový panel, ktorý by svojimi rozmermi korešpondoval s rozmermi zhotoveného telefónu, panel bol zostavený z jednotlivých solárnych článkov. Výsledné parametre panela sú v tab. 3.8.

Funkčnosť meniča MPPT pre panel bola zistená umelým osvetlením panela stolnou lampou s reflektorom béžovej farby. Zdroj svetla bola vláknová žiarovka s výkonom 60 W vzdialená 6 cm od povrchu panela. Keďže žiarovka je tiež značným zdrojom tepla, meranie prebehlo bezprostredne po zapnutí zdroja svetla a po uplynutí doby 60 s. Meranou veličinou bol prúd tečúci bočníkom zaradeným medzi batériou a telefónom podľa obr. 6.2. Zistené výsledky sú v tab. 6.4. V nej vidno, že počas prevádzky programu je väčšina získanej energie z panela použitá na napájanie mikrokontroléru a iba jej malá časť sa dostáva do batérie vo forme nabíjacieho prúdu. Tento údaj charakterizuje podiel prúdu tečúceho do batérie a rozdielu prúdu odoberaného z batérie podľa tab. 6.1 a zisteného nabíjacieho prúdu.

Tab. 6.4: Výsledky merania parametrov solárneho panela a meniča MPPT

Čas	t = 0 s	t = 60 s
MCU RESET	8,51 mA	6,4 mA
MCU IDLE	810 uA	640 uA
Efektivita nabíjania	10 %	7,8 %

6.6 Zhodnotenie výsledkov meraní

Meraním spotreby prúdu sa ukázalo, že najväčším nedostatkom zostrojeného telefónu je nevhodná optimalizácia vytvoreného programu. Ten nevyužíva možnosti mikrokontroléra prejsť do režimu nečinnosti alebo spánku, pri ktorom podľa dátového listu MCU [19] sú aktívne len vybrané periférie. Permanentný prúdový odber spôsobuje, že nabíjací obvod nie je schopný nabiť batériu na napätie viac než 4,0 V.

Meraním prúdového odberu GSM modulu počas vysielania bolo zistené, že maximálna dosiahnutá hodnota je porovnateľná s hodnotou uvedenou v špecifikácii modulu [12]. Z toho je možné dedukovať, že navrhnuté vedenie k anténe spolu s použitou anténou nepredstavuje nejakú vážnejšiu diskontinuitu požadovanej impedancie 50 Ω. GSM modul je teda v navrhnutom zariadení schopný prevádzky.

Výrobca modulu sa v špecifikácii ani v návrhovej príručke nezmieňuje o definícii vyzváňacieho tónu v prípade príchodzieho telefónneho hovoru. Až praktickým testovaním sa zistilo, že modul generuje vyzváňaciu melódiu zloženú z 3 tónov vo forme NF signálu na výstupe pre slúchadlo. Zmena tohto signálu by bola možná len generovaním tónu v D/A prevodníku naviazaným na MCU a jeho následné multiplexovanie so vstupným signálom zosilňovača slúchadla. Melódia je však subjektívne príjemná, takže jej ponechanie zapadá do konceptu otvorenej platformy.

Overenie funkčnosti senzorov neelektrických veličín prebehlo len čiastočne. Napriek faktu, že výrobcovia obidvoch senzorov dodávajú k svojim produktom knižnice napísané v jazyku C, implementovať sa podarilo len knižnicu senzora vlhkosti SHT21. Množstvo použitej pamäte pred integrovaním knižnice bolo 22%, po jej integrovaní vzrástlo na 54%. Tento nárast je spôsobený spôsobom konštrukcie knižnice, ktorá je napísaná univerzálne a slúži na demonštráciu funkcie pre zákazníkov. Senzor dodával výsledky merania vlhkosti, ktorá sa celý čas pohybovala v rozsahu 0% až 100%. Jej reakcia bola testovaná vlhkým dychom do oblasti senzora. Ďalši získaný údaj vo forme teploty okolitého vzduchu sa zhodoval s meraním ortuťovým teplomerom, ktorého špička bola umiestnená do bezprostrednej blízkosti senzora. Funkčnosť senzora atmosférického tlaku BMP180 sa nepodarilo overiť.

Testovanie meniča MPPT bolo síce úspešné, avšak sporná je efektivita dobíjania batérie daným solárnym panelom. Ten nie je ani za laboratórnych podmienok schopný dodávať dostatok energie na prevýšenie aktuálnej spotreby telefónu.

ZÁVER

Cieľom tejto práce bol návrh a konštrukcia mobilného telefónu, ktorý sa dá zostaviť z bežne dostupných súčiastok. Užívateľovi je známa schéma zapojenia a zdrojové kódy obslužného softvéru. Inšpiráciou k vzniku tejto platformy bol vlastnoručne postavený telefón, ktorého autor však nezverejnil podklady ani výrobnú dokumentáciu.

Jadrom navrhnutého telefónu je GSM modul, čo je súčiastka, ktorá v sebe zahŕňa všetky obvody potrebné na prácu s GSM sieťou. Od užívateľa nie sú vyžadované pokročilé znalosti rádiotechniky alebo telekomunikačných technológií. Oslobodený je tiež od nutnosti splnenia legislatívnych podmienok pre prevádzku v telekomunikačnej sieti.

Základným nosným prvkom konštrukcie je obojstranná doska plošného spoja, na ktorej sú umiestnené všetky súčiastky. DPS má tvar zaobleného obdĺžnika s výrezmi vhodnými na montáž skrutkami do plastovej krabičky. Tú je možné vyrobiť napr. na 3D tlačiarni. Všetky použité elektronické súčiastky s výnimkou senzorov neelektrických veličín sa dajú osadiť pomocou mikrospájky. Senzory vyžadujúce osadenie pretavením, však nie sú nutné pre funkčnosť systému.

Riadiacim prvkom telefónu je 16-bitový mikrokontrolér fy. Microchip, ktorý má podporu kompilácie programu vytvorého v jazyku C. Pre zistenie funkčnosti platformy bol vytvorený jednoduchý program, ktorý vie v spolupráci s GSM modulom prevádzkovať telefónne hovory.

Počas meraní elektrických parametrov zostrojeného zariadenia neboli zistené žiadne vážne nedostatky alebo chyby, ktoré by bránili v prevádzke. Napájacia časť modulu a anténne vedenie s riadenou impedanciou 50 Ω bolo navrhnuté uspokojivo, keďže prúdový odber modulu počas vysielania spĺňa špecifikáciu výrobcu.

Zisteným nedostatkom návrhu je zapojenie obvodu pre nabíjanie batérie. Ten nedokáže nabiť batériu na jej maximálnu hodnotu napätia, keďže časť nabíjacieho prúdu je konzumovaná samotným zariadením počas prevádzky. Menič MPPT pre zber energie zo solárneho panela sa ukázal ako funkčný, avšak jeho praktické využitie je sporné. Solárny panel, ktorého rozmery nepresahujú obrysy telefónu nie je schopný dodávať za osvetlenia slnečným svitom dostatok energie pre dobíjanie batérie.

Napriek zisteným negatívam je skonštruované zariadenie schopné prevádzky a je vhodné pre vývoj vyspelšieho softvéru. Prípadni záujemci o stavbu majú k dispozícii výrobné podklady. Väčšinu súčiastok je možné zakúpiť v Českej republike. Ďalšie komponenty ako displej alebo anténa sú k dispozícii na portáloch eBay alebo AliExpress.

Cieľ práce bol naplnený a dáva priestor pre ďalší rozvoj v danej tématike Otvorená platforma mobilného telefónu.

LITERATÚRA

[1] ETSI. ETSI TS 100 910 V8.20.0. *Digital cellular telecommunications system; Radio Transmission and Reception* [online]. 2013, [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/100900_100999/100910/08.20.00_60/ts_100910v082000p.pdf.

[2] ETSI. ETSI TS 127 007 V11.8.0. *AT command set for User Equipment* [online]. 2013, [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/127000_127099/127007/11.08.00_60/ts_127007v110800p.pdf.

[3] DUDEK, Ondřej. *Struktura sítě GSM*. Semestrální práce. 2005. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05_semestralky/Struktura_GSM_Ondrej_Dudek.pdf.

[4] Openmoko. *Openmoko introduction* [online]. 2014, [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: http://wiki.openmoko.org/wiki/Introduction.

[5] Golden Delicious Computers GmbH. *GTA04* [online]. 2013, [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: http://projects.goldelico.com/p/gta04-main/.

[6] ARDUINO. *Arduino GSM Shield* [online]. 2011, [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: http://arduino.cc/en/Main/ArduinoGSMShield.

[7] Rhydo Technologies (P) Ltd. *GSM/GPRS RS232 MODEM-SIM900* [online]. 2013, [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: http://www.rhydolabz.com/wiki/?p=902.

[8] STARČOK, Tomáš. *Univerzální komunikátor GSM*. Bakalárská práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2014. 77 s. Vedúci práce doc. Ing. Josef Šandera, Ph.D.

[9] SUKUBA, Jaromír. *LPC810 rotary dial mobile phone* [online]. 2011, [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: http://jaromir.xf.cz/phone/phone1.html.

[10] PARADISO, Joseph A. a Thad STARNER. Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics. *IEEE Pervasive Computing*. 2005. Dostupné z: http://resenv.media.mit.edu/pubs/papers/2005-02-E-HarvestingPervasivePprnt.pdf.

[11] SCHUSS, Christian a Timo RAHKONEN. Solar Energy Harvesting Strategies for Portable Devices such as Mobile Phones *Proceeding of the 14th Conference*

of FRUCT Association. Oulu: University of Oulu, 2011. Dostupné z: https://fruct.org/publications/fruct14/files/Shu_13.pdf.

[12] Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. *Quectel M66* [online]. 2014, Product Specification [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: http://www.quectel.com/UploadFile/Product/Quectel_M66_GSM_Specification_V1.0.pdf.

[13] Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. *Quectel M66* [online]. 2014, Hardware Design [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: https://www.tigal.com/download/quectel/m66/quectel_m66_hardware_design_v1.0.pdf.

[14] Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. *Quectel M66* [online]. 2014, Reference Design [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: https://www.tigal.com/download/quectel/m66/quectel_m66_reference_design_20140807.pdf.

[15] Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. *Quectel M66* [online]. 2014, AT Commands Manual [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: https://www.tigal.com/download/quectel/m66/quectel_m66_at_commands_manual_v1.0.pdf.

[16] 2J s.r.o. *2J020* [online]. 2014, [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: http://www.2j-antennae.com/images/products/2J010-020.pdf.

[17] Cellevia Bateries. *Lithium Polymer Battery Pack (LP443450) 750mAh 3.7V with Protection Circuit Module (PCM)* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.tme.eu/nl/Document/ce2ce3709909060ce18e7a0812e70574/ACCU-LP443450_CL.pdf.

[18] Sitronix Technology Corporation. ST7735R. *262K Color Single-Chip TFT Controller/Driver* [online]. 2009, [cit. 2014-11-06]. Dostupné z: http://www.adafruit.com/datasheets/ST7735R_V0.2.pdf.

[19] Microchip Technology Inc. PIC24FJ128GC006. *16-Bit Flash Microcontrollers with 12-Bit Pipeline A/D, Sigma-Delta A/D, USB On-The-Go and XLP Technology* Datasheet [online]. 2014, [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30009312c.pdf.

[20] Microchip Technology Inc. *Section 12. I/O Ports with Peripheral Pin Select (PPS)* [online]. 2007, [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39711b.pdf.

[21] Microchip Technology Inc. 24AA16/24LC16B. *16K I2C Serial EEPROM* Datasheet [online]. 2014, [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21703L.pdf.

[22] Microchip Technology Inc. MCP1700. *Low Quiescent Current LDO* Datasheet [online]. 2014, [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001826C.pdf.

[23] Microchip Technology Inc. MCP73833/4. *Stand-Alone Linear Li-Ion / Li-Polymer Charge Management Controller* Datasheet [online]. 2006, [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22005a.pdf.

[24] ROSU-HAMZESCU, Mihnea a Sergiu OPREA. *Practical Guide to Implementing Solar Panel MPPT Algorithms* [online]. 2006, [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00001521A.pdf.

[25] MEMS and Nanotechnology Exchange. *What is MEMS Technology?* [online]. 2014, [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: https://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html.

[26] Bosch Sensortec GmbH. BMP180. *Digital pressure sensor* [online]. 2013, [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: http://www.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf.

[27] Sensirion AG. SHT21. *Humidity and Temperature Sensor IC* [online]. 2013, [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT21_Datasheet_V4.pdf.

[28] BUCHMANN, Isidor. BU-204: Lithium-based Batteries. *Battery University* [online]. 2011, [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries/.

[29] BUCHMANN, Isidor. BU-206: Li-polymer Battery: Substance or Hype?. *Battery University* [online]. 2010, [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype/.

[30] BUCHMANN, Isidor. BU-409: Charging Lithium-ion. *Battery University* [online]. 2010, [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries/.

[31] BUCHMANN, Isidor. BU-903: How to Measure State-of-charge. *Battery University* [online]. 2014, [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge.

[32] Micrel Inc. MIC2860-P. *Micropower, 150-mA Low-Noise Ultra Low-Dropout CMOS Voltage Regulator* Datasheet [online]. 2013, [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: http://www.micrel.com/_PDF/mic2860-p.pdf.

[33] CHEMANDY ELECTRONICS Ltd. *Coplanar Waveguide With Ground Characteristic Impedance Calculator* [online]. 2014, [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://chemandy.com/calculators/coplanar-waveguide-with-ground-calculator.htm.

[34] Isola Group. *DE104 Laminate and Prepreg* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.isola-group.com/wp-content/uploads/2013/12/DE104-Laminate-and-Prepreg-Data-Sheet-Isola.pdf.

[35] Texas Instruments. AN-1496. *Noise, TDMA Noise, and Suppression Techniques* [online]. Application Note [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.ti.com/lit/an/snaa033d/snaa033d.pdf.

[36] Bestar Acoustic. BCM-9745. *Omni-Directional Electret Condenser Microphone* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.bestartech.com/PDFs/BeStar_Microphones.pdf.

[37] Texas Instruments. LM4889. *1 Watt Audio Power Amplifier* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm4889.pdf.

[38] SoniCrest. *HSC1315A* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.ecom.cz/open_sheet/sheet_name=D10285.

[39] Attend. *115B-AAA0-R01* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.tme.eu/cz/Document/e892f32ab30468916f29398d0fd82fe4/simcn.pdf.

[40] NXP Semiconductor. UM10204. *I2C-bus specification and user manual* [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf.

[41] Texas Instruments. *I2C Bus Pullup Resistor Calculation* [online]. Application Report [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.ti.com/lit/an/slva689/slva689.pdf.

[42] USB Implementers Forum, Inc. *USB Battery Charging Specification Revision 1.2*. 2010. Dostupné z: http://komposter.com.ua/documents/BC1.2_FINAL.pdf.

[43] STMicroelectronics. SPV1040. *High efficiency solar battery charger with embedded MPPT* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00287506.pdf.

[44] STMicroelectronics. AN3319. *STEVAL-ISV006V2: solar battery charger using the SPV1040* [online]. Application Note [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/CD00292052.pdf.

[45] JONES, David. EEVblog #186 - Soldering Tutorial Part 3 - Surface Mount. EEVblog. *Electronic Engineering Video Blog* [online]. Tutorial [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=b9FC9fAlfQE.

[46] Microchip Technology Inc. *MPLAB® XC16 C Compiler User's Guide* [online]. 2014, [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002071E.pdf.

[47] Microchip Technology Inc. *PICkit™ 3 Programmer/Debugger User's Guide* [online]. 2014, [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PICkit_3_User_Guide_51795A.pdf.

[48] ToughDev. *Experimenting with ST7735 1.8-inch 128x160 color LCD on a PIC microcontroller* [online]. 2013, [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: http://www.toughdev.com/viewpost.php?id=3803296508836326426.

[49] Vishay. Vishay Dale NS, RS. *Wirewound Resistors, Industrial, Precision Power, Silicone Coated, Axial Lead* [online]. Datasheet [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: http://www.vishay.com/docs/30204/rsns.pdf.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

BBP Baseband processor – procesor riadiaci mobilnú komunikáciu

BGA Ball grid array – puzdro s guličkovými vývodmi

BTS Base Transceiver Station – základňová stanica

CC Constant Current - režim konštantného prúdu

CV Constant Voltage - režim konštantného napätia

ETSI European Telecommunications Standards Institute – Európsky ústav pre telekomunikačné normy

GSM Global System for Mobile Communications – globálny systém pre mobilnú komunikáciu

GPS Global Position System – globálny pozičný systém

I/O Input/Output – vstupno-výstupný port

LDO Low-dropout – nízkoúbytkový stabilizátor napätia

LGA Land grid array – puzdro s plošnými vývodmi

MPPT Maximum power point tracking - sledovanie pracovného bodu s maximálnym výkonom

MS Mobile Station – mobilná stanica

QFN Quad Flat No-lead package – bezvývodové puzdro

SIM Subscriber Identity Module – účastnícka identifikačná karta

SMS Short Message Service – krátka textová správa

SOIC Small outline integrated circuit – malé puzdro pre povrchovú montáž

SOT-23 Small outline tranzistor – malé puzdro tranzistoru

SSOP Shrink Small-outline package – miniaturné puzdro pre povrchovú montáž

TQFP Quad Flat Package - štvorcové puzdro pre povrchovú montáž

UART Universal asynchronous receiver/transmitter – univerzálne asynchronné sériové rozhranie

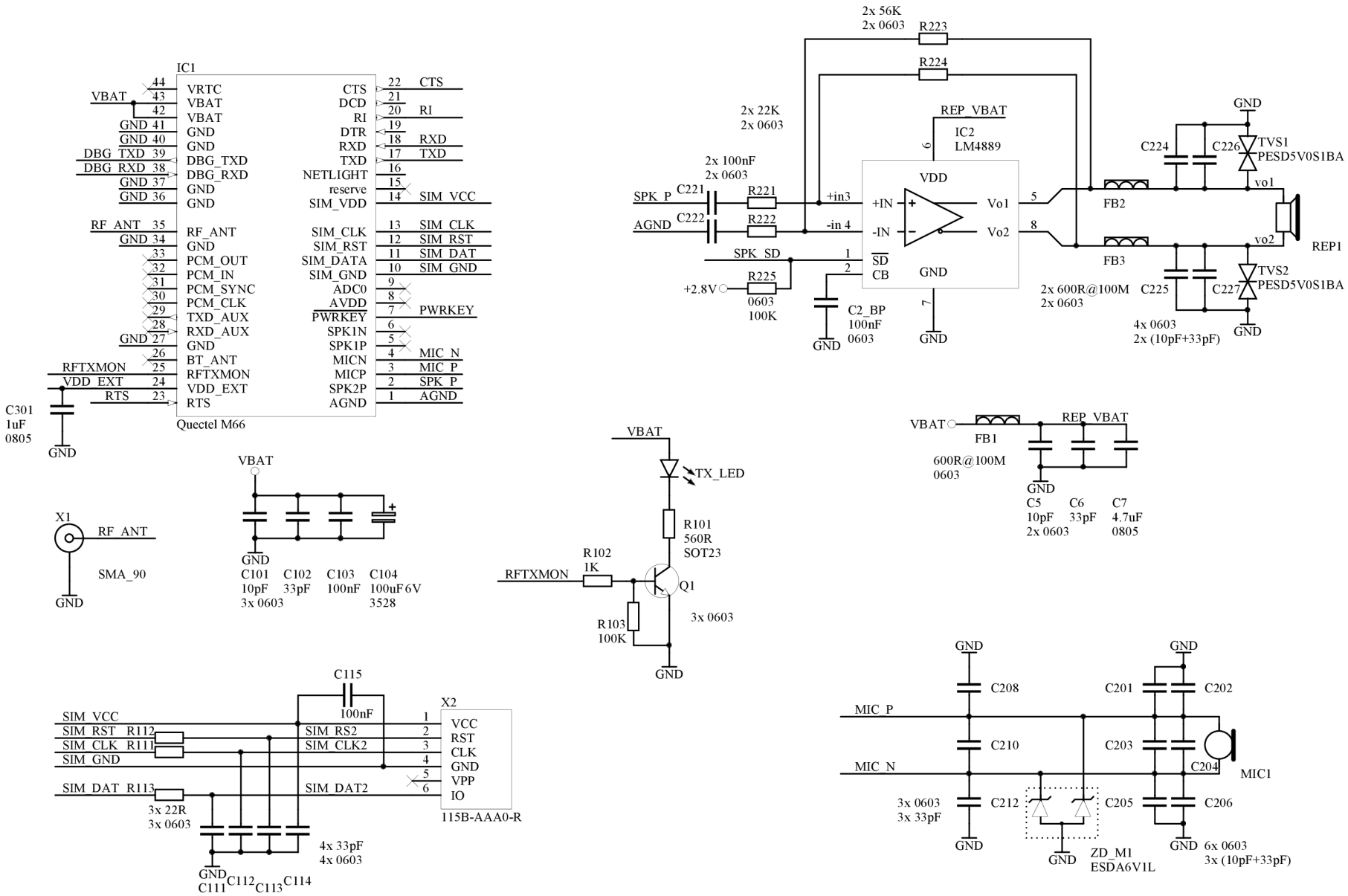
ZOZNAM PRÍLOH

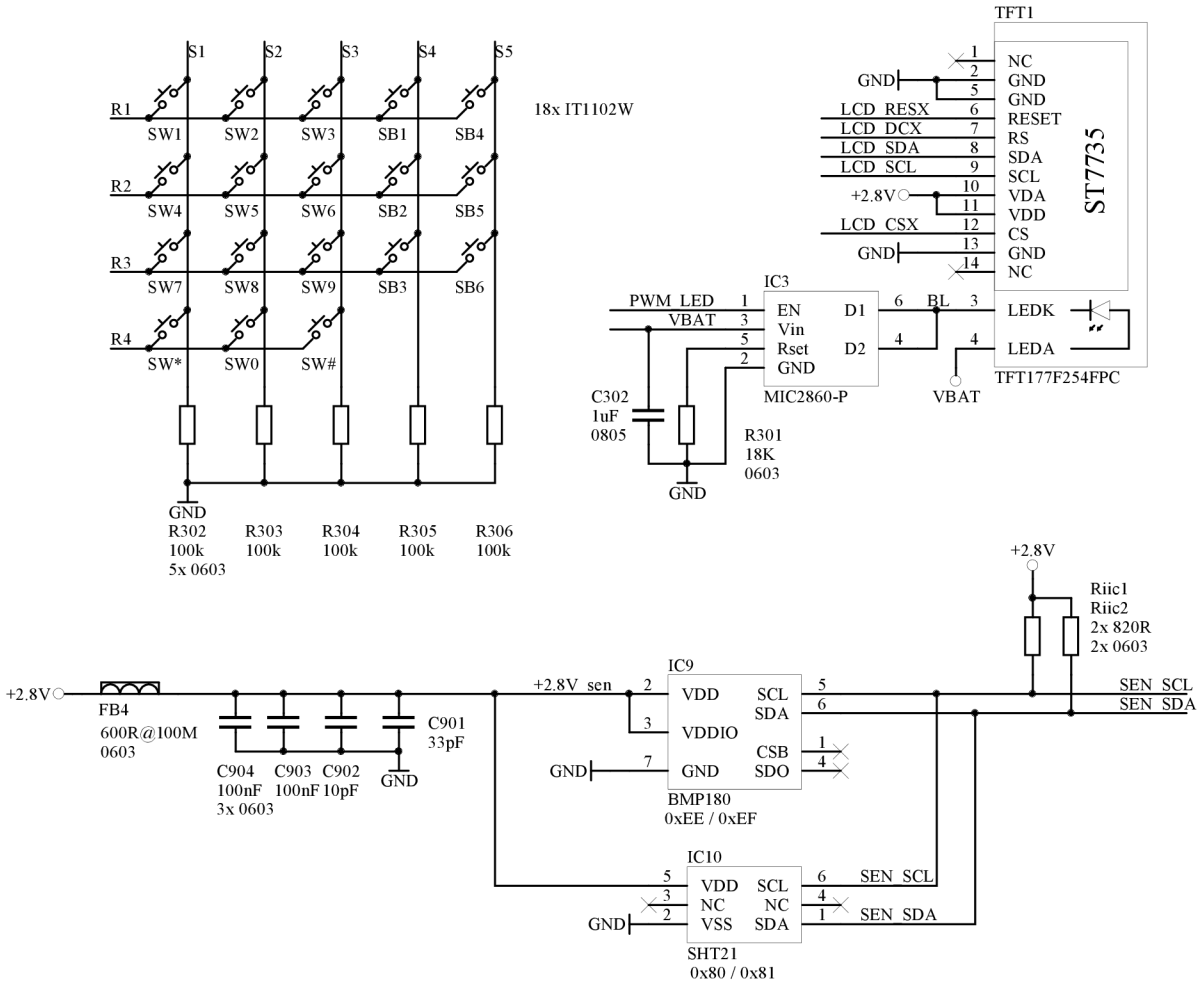
A Výrobná dokumentácia **70**
A.1 Schémy 70
A.2 Motív plošných spojov 75
A.3 Zoznam súčiastok 77

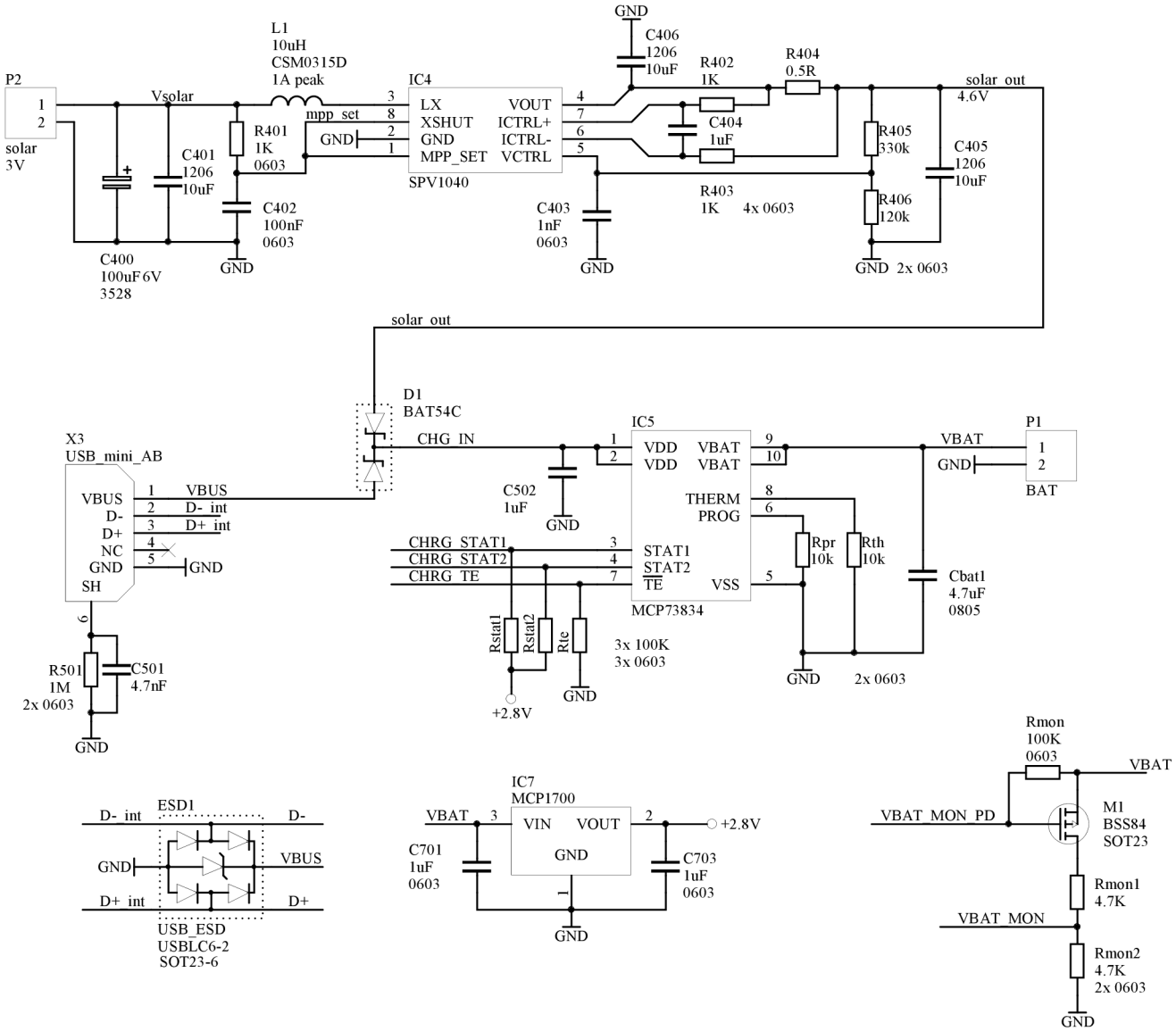
B Fotografie prístroja **79**

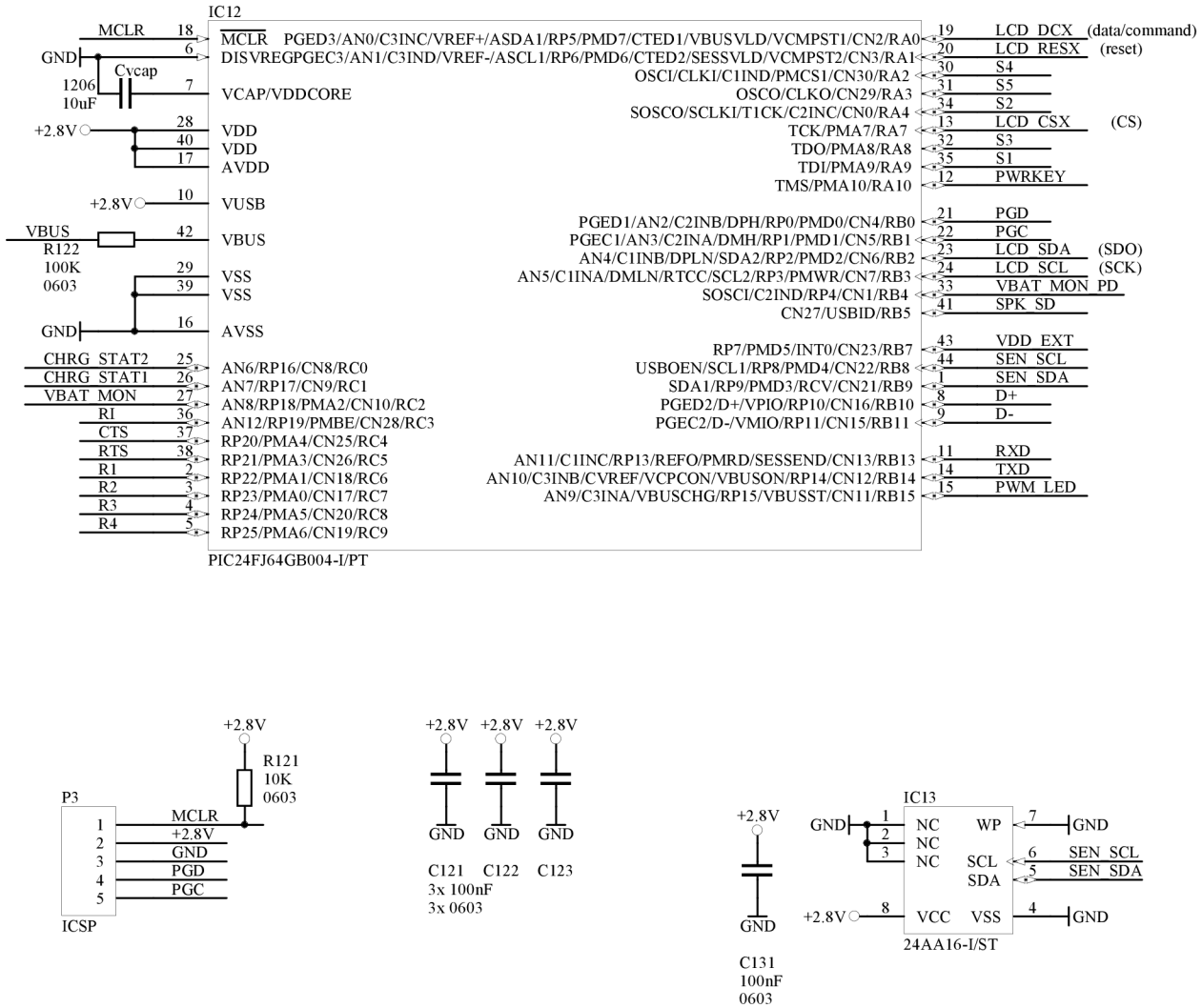
A VÝROBNÁ DOKUMENTÁCIA

A.1 Schémy

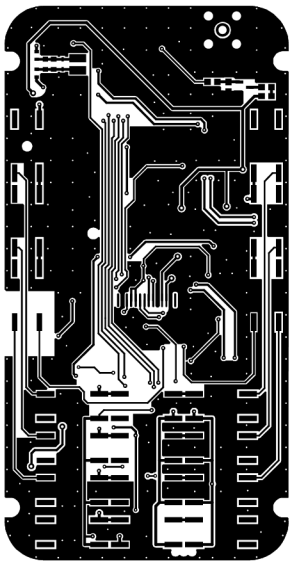

IC1
Quectel M66
VRTC
VBAT
GND
DBG_TXD
DBG_RXD
RF_ANT
PCM_OUT
PCM_IN
PCM_SYNC
PCM_CLK
TXD_AUX
RXD_AUX
BT_ANT
RFTXMON
VDD_EXT
RTS
CTS
DCD
RI
DTR
RXD
TXD
NETLIGHT
reserve
SIM_VDD
SIM_CLK
SIM_RST
SIM_DATA
SIM_GND
ADC0
AVDD
PWRKEY
SPK1N
SPK1P
MICN
MICP
SPK2P
AGND
SIM_VCC
MIC_N
MIC_P
SPK_P
C301
1uF
0805
X1
RF_ANT
SMA_90
C101 C102 C103 C104
10pF 33pF 100nF 100uF 6V
3x 0603 3528
TX_LED
R101
560R
SOT23
R102
1K
Q1
R103
100K
3x 0603
C115
100nF
X2
SIM_RS2
SIM_CLK2
SIM_DAT2
R112
R111
R113
3x 22R
3x 0603
4x 33pF
4x 0603
C111 C112 C113 C114
115B-AAA0-R
2x 56K
2x 0603
R223
R224
2x 22K
2x 0603
REP_VBAT
IC2
LM4889
VDD
2x 100nF
2x 0603
C221
C222
R221
R222
+in3
-in 4
+IN
-IN
Vo1
Vo2
SPK_SD
SD
CB
+2.8V
R225
0603
100K
C2_BP
100nF
0603
C224
C226
TVS1
PESD5V0S1BA
FB2
FB3
REP1
2x 600R@100M
2x 0603
C225
C227
TVS2
4x 0603
2x (10pF+33pF)
FB1
600R@100M
0603
C5 C6 C7
10pF 33pF 4.7uF
2x 0603 0805
C208
C201 C202
C210
C203
C204
MIC1
3x 0603
3x 33pF
C212
C205
C206
ZD_M1
ESDA6V1L
6x 0603
3x (10pF+33pF)


S1
S2
S3
S4
S5
R1
R2
R3
R4
SW1
SW2
SW3
SB1
SB4
SW4
SW5
SW6
SB2
SB5
SW7
SW8
SW9
SB3
SB6
SW*
SW0
SW#
18x IT1102W
GND
R302
100k
5x 0603
R303
100k
R304
100k
R305
100k
R306
100k
TFT1
GND
LCD_RESX
LCD_DCX
LCD_SDA
LCD_SCL
+2.8V
LCD_CSX
GND
NC
GND
GND
RESET
RS
SDA
SCL
VDA
VDD
CS
GND
NC
ST7735
IC3
PWM_LED
VBAT
EN
Vin
Rset
GND
D1
D2
BL
LEDK
LEDA
MIC2860-P
TFT177F254FPC
VBAT
C302
1uF
0805
R301
18K
0603
GND
+2.8V
Riic1
Riic2
2x 820R
2x 0603
+2.8V
FB4
600R@100M
0603
C904
100nF
C903
100nF
C902
10pF
3x 0603
GND
C901
33pF
+2.8V_sen
IC9
VDD
VDDIO
GND
SCL
SDA
CSB
SDO
GND
BMP180
0xEE / 0xEF
SEN_SCL
SEN_SDA
IC10
VDD
NC
VSS
SCL
NC
SDA
GND
SEN_SCL
SEN_SDA
SHT21
0x80 / 0x81

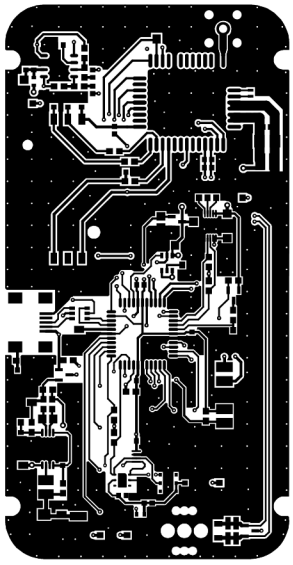

P2
solar
3V
Vsolar
C400
100uF 6V
3528
C401
1206
10uF
R401
1K
0603
C402
100nF
0603
GND
L1
10uH
CSM0315D
1A peak
mpp_set
IC4
LX
XSHUT
GND
MPP_SET
VOUT
ICTRL+
ICTRL-
VCTRL
SPV1040
C406
1206
10uF
R402
1K
R404
0.5R
C404
1uF
R403
1K
4x 0603
C403
1nF
0603
R405
330k
R406
120k
C405
1206
10uF
2x 0603
solar_out
4.6V
solar_out
D1
BAT54C
CHG_IN
X3
USB_mini_AB
VBUS
D-
D+
NC
GND
SH
VBUS
D- int
D+ int
R501
1M
2x 0603
C501
4.7nF
C502
1uF
IC5
VDD
VDD
VBAT
VBAT
THERM
PROG
STAT1
STAT2
TE
VSS
MCP73834
CHRG_STAT1
CHRG_STAT2
CHRG_TE
Rstat1
Rstat2
Rte
3x 100K
3x 0603
+2.8V
Rpr
10k
Rth
10k
2x 0603
Cbat1
4.7uF
0805
VBAT
P1
BAT
ESD1
D- int
D+ int
D-
D+
USB_ESD
USBLC6-2
SOT23-6
IC7
MCP1700
VIN
VOUT
C701
1uF
0603
C703
1uF
0603
Rmon
100K
0603
VBAT_MON_PD
M1
BSS84
SOT23
Rmon1
4.7K
VBAT_MON
Rmon2
4.7K
2x 0603


IC12
MCLR 18
GND 6
Cvcap
1206
10uF
7
+2.8V
28
40
17
+2.8V 10
VBUS
R122
100K
0603
42
29
39
GND 16
CHRG_STAT2 25
CHRG_STAT1 26
VBAT_MON 27
RI 36
CTS 37
RTS 38
R1 2
R2 3
R3 4
R4 5
MCLR PGED3/AN0/C3INC/VREF+/ASDA1/RP5/PMD7/CTED1/VBUSVLD/VCMPST1/CN2/RA0
DISVREGPGEC3/AN1/C3IND/VREF-/ASCL1/RP6/PMD6/CTED2/SESSVLD/VCMPST2/CN3/RA1
VCAP/VDDCORE
VDD
VDD
AVDD
VUSB
VBUS
VSS
VSS
AVSS
AN6/RP16/CN8/RC0
AN7/RP17/CN9/RC1
AN8/RP18/PMA2/CN10/RC2
AN12/RP19/PMBE/CN28/RC3
RP20/PMA4/CN25/RC4
RP21/PMA3/CN26/RC5
RP22/PMA1/CN18/RC6
RP23/PMA0/CN17/RC7
RP24/PMA5/CN20/RC8
RP25/PMA6/CN19/RC9
PIC24FJ64GB004-I/PT
OSCI/CLKI/C1IND/PMCS1/CN30/RA2
OSCO/CLKO/CN29/RA3
SOSCO/SCLKI/T1CK/C2INC/CN0/RA4
TCK/PMA7/RA7
TDO/PMA8/RA8
TDI/PMA9/RA9
TMS/PMA10/RA10
PGED1/AN2/C2INB/DPH/RP0/PMD0/CN4/RB0
PGEC1/AN3/C2INA/DMH/RP1/PMD1/CN5/RB1
AN4/C1INB/DPLN/SDA2/RP2/PMD2/CN6/RB2
AN5/C1INA/DMLN/RTCC/SCL2/RP3/PMWR/CN7/RB3
SOSCI/C2IND/RP4/CN1/RB4
CN27/USBID/RB5
RP7/PMD5/INT0/CN23/RB7
USBOEN/SCL1/RP8/PMD4/CN22/RB8
SDA1/RP9/PMD3/RCV/CN21/RB9
PGED2/D+/VPIO/RP10/CN16/RB10
PGEC2/D-/VMIO/RP11/CN15/RB11
AN11/C1INC/RP13/REFO/PMRD/SESSEND/CN13/RB13
AN10/C3INB/CVREF/VCPCON/VBUSON/RP14/CN12/RB14
AN9/C3INA/VBUSCHG/RP15/VBUSST/CN11/RB15
19 LCD_DCX (data/command)
20 LCD_RESX (reset)
30 S4
31 S5
34 S2
13 LCD_CSX (CS)
32 S3
35 S1
12 PWRKEY
21 PGD
22 PGC
23 LCD_SDA (SDO)
24 LCD_SCL (SCK)
33 VBAT_MON_PD
41 SPK_SD
43 VDD_EXT
44 SEN_SCL
1 SEN_SDA
8 D+
9 D-
11 RXD
14 TXD
15 PWM_LED
+2.8V
R121
10K
0603
P3
1 MCLR
2 +2.8V
3 GND
4 PGD
5 PGC
ICSP
+2.8V +2.8V +2.8V
GND GND GND
C121 C122 C123
3x 100nF
3x 0603
+2.8V
GND
C131
100nF
0603
IC13
GND 1 NC
2 NC
3 NC
WP 7 GND
SCL 6 SEN_SCL
SDA 5 SEN_SDA
+2.8V 8 VCC
VSS 4 GND
24AA16-I/ST

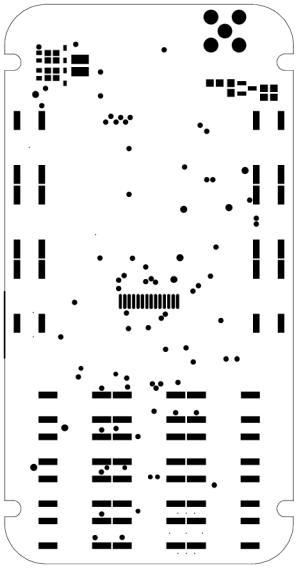
A.2 Motív plošných spojov



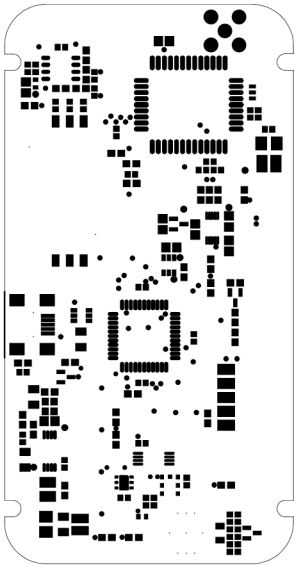
Obr. A.1: Vodivý motív, vrchná strana (top)



Obr. A.2: Vodivý motív, spodná strana (bottom)



Obr. A.3: Nepájivá maska, vrchná strana (top)



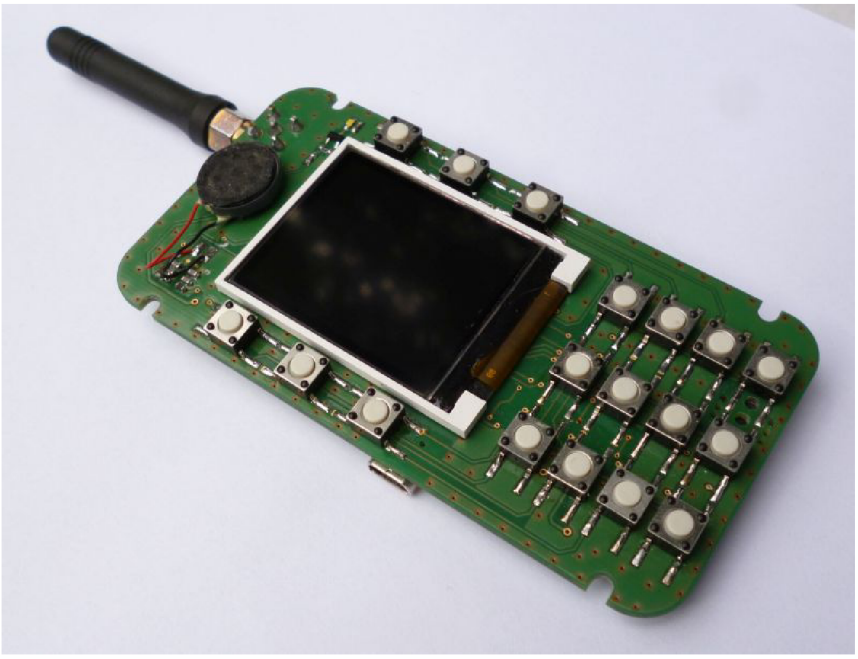
Obr. A.4: Nepájivá maska, spodná strana (bottom)

A.3 Zoznam súčiastok

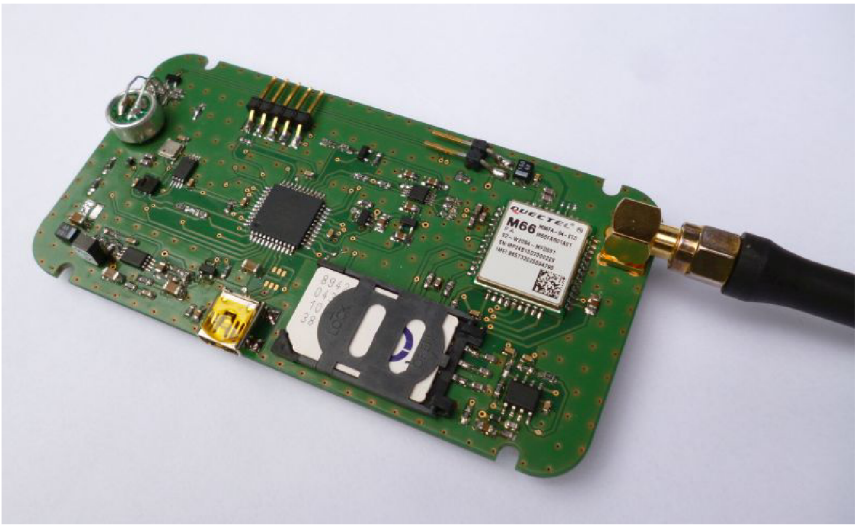
Označenie	Popis	Hodnota	Puzdro	Počet
C104, C400	Kondenzátor, tantalový	100uF	3528	2
C2_BP, C103, C115, C121, C122, C123, C131, C221, C222, C402, C903, C904	Kondenzátor, keramický	100nF	0603	12
C302, C404, C502, C701, C703	Kondenzátor, keramický	1uF	0805	6
C401, C405, C406, Cvcap	Kondenzátor, keramický	10uF	1206	4
C403	Kondenzátor, keramický	1nF	0603	1
C5, C101, C201, C203, C205, C224, C225, C902	Kondenzátor, keramický	10pF	0603	8
C501	Kondenzátor, keramický	4.7nF	0603	1
C6, C102, C111, C112, C113, C114, C202, C204, C206, C208, C210, C212, C226, C227,	Kondenzátor, keramický	33pF	0603	15
C7, Cbat1	Kondenzátor, keramický	4.7uF	0805	2
D1	Schottkyho dióda, dvojitá	BAT54C	SOT23	1
ESD1	Ochrannáé diódy USB portu	USBLC6-2	SOT23-6	1
FB1, FB2, FB3, FB4	Feritová perla, PB_160808	600R@100M	0603	4
IC1	GSM modul	Quectel M66	LCC44	1
IC10	Senzor vzdušnej vlhkosti a teploty	SHT21	LGA-6	1
IC12	Mikrokontrolér	PIC24FJ64GB004	TQFP-44	1
IC13	EEPROM pamät	24AA16-I/ST	TSSOP-8	1
IC2	Diferenciálny operačný zosilňovač	LM4889	SOIC-8	1
IC3	PWM budič LED podsvietenia	MIC2860-P	SOT23-6	1
IC4	Solárny MPPT menič	SPV1040	TSSOP-8	1
IC5	Obvod pre nabíjanie Li-Poly batérií	MCP73834	MSOP-10	1
IC7	Nízkoúbytkový lineárny regulátor 2,8 V	MCP1700-2800	SOT23	1
IC9	Senzor atmosférického tlaku a teploty	BMP180	LGA-8	1
L1	Feritová cievka, Coilcraft LPS5030	10uH; 1,4A	4,9 x 4,9 mm	1
M1	P-mosfet	BSS84	SOT23	1
MIC1	Elektretový mikrofón	BCMP9745P	Ø9,7 x 4,5 mm	1
P1	Konektor batérie, kolíková lišta	2x1	RM2,54	1
P2	Konektor solárneho článku	2x1	RM2,54	1
P3	Programovací konektor ICSP	5x1	RM2,54	1
Q1	Tranzistor NPN	BC847	SOT23	1
R101	Rezistor, hrubovrstvý	560R	0603	1
R102, R401, R402, R403	Rezistor, hrubovrstvý	1K	0603	4
R103, R122, R225, R302, R303, R304, R305, R306, Rmon, Rstat1, Rstat2, Rte	Rezistor, hrubovrstvý	100K	0603	11
R111, R112, R113	Rezistor, hrubovrstvý	22R	0603	3
R121, Rpr, Rth	Rezistor, hrubovrstvý	10K	0603	3
R221, R222	Rezistor, hrubovrstvý	22K	0603	2
R223, R224	Rezistor, hrubovrstvý	56K	0805	2
R301	Rezistor, hrubovrstvý	18K	0603	1
R404	Rezistor, hrubovrstvý	0.5R	0603	1
R405	Rezistor, hrubovrstvý	330k	0603	1
R406	Rezistor, hrubovrstvý	120k	0603	1
R501	Rezistor, hrubovrstvý	1M	0603	1
REP1	reproduktor	HSC1315A	13 x 15 mm	1
Riic1, Riic2	Rezistor, hrubovrstvý	2.2K	0603	2
Rmon1, Rmon2	Rezistor, hrubovrstvý	4.7K	0603	2
Rte	Rezistor, hrubovrstvý	100k	0603	1
SB1	Tlačidlo, SMD	IT-1102W	6 x 6 mm	1
SB1-6	Tlačidlo, SMD		6 x 6 mm	6
SW#	Tlačidlo, SMD		6 x 6 mm	1
SW*	Tlačidlo, SMD		6 x 6 mm	1
SW0-9	Tlačidlo, SMD		6 x 6 mm	10
TFT1	Displej TFT; 1,8"	TFT177F254FPC	46 x 34 mm	1
TVS1, TVS2	Transil	PESD5V0S1BA	SOD-323	2

TX_LED	LED, SMD	Biela	0603	1
X1	Konektor SMA do DPS, lomený	SMA, 90	SMA	1
X2	Konektor SIM karty	115B_AAA0_R	SIM-mini	1
X3	USB-mini konektor, AB	USB-mini, AB	USB-mini, AB	1
ZD_M1	Zenerova dióda, dvojitá	ESDA-6V1L	SOT23	1
BAT	Batéria Li-Poly	LP443450	atyp.	1

B FOTOGRAFIE PRÍSTROJA



Obr. B.1: Pohľad na vrchnú stranu prístroja



Obr. B.2: Pohľad na spodnú stranu prístroja