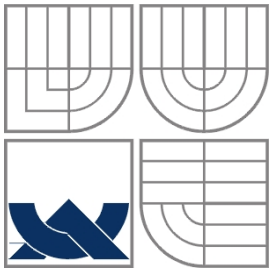
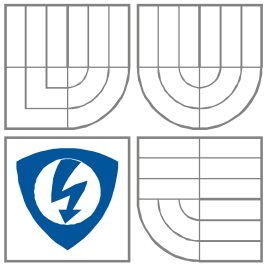


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

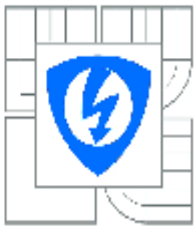
PROGRAMOVATELNÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ
PROGRAMMABLE REMOTE CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
PETR ZEMÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
Ing. PAVEL KUČERA, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Petr Zemánek ***ID:*** 125714
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Programovatelné dálkové ovládání

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku dálkového ovládání spotřebičů v domácnosti. Sestavte a otestujte zařízení pro časově programovatelné dálkové ovládání nejrůznějších domácích spotřebičů. Zařízení umožní získávat, ukládat a reprodukovat IR (Infra Red) signály z nejčastěji používaných protokolů pro IR přenos informace. Zařízení vybavte systémem hodin reálného času, s pomocí něhož bude v zadaných intervalech samočinně ovládat domácí spotřebiče. Vybavte zařízení uživatelským rozhraním pro nastavování parametrů obsluhou. Zařízení doplňte o vhodné rozhraní pro snadné připojení k PC. Pro PC vytvořte grafickou uživatelskou aplikaci pro snadné a přehledné nastavování parametrů dálkového ovladače. Systém navrhněte jako bateriově napájené zařízení s minimalizací spotřeby elektrické energie.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Váňa, V.: "ARM pro začátečníky", BEN, Praha 2009. ISBN 978-80-7300-246-6.

[2] Prosise, J.: "Programování ve Windows pomocí MFC." 2. vydání. Praha, Computer Press, 2002. ISBN 80-7226-309-9.

Termín zadání: 6.2.2012 ***Termín odevzdání:*** 28.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Pavel Kučera, Ph.D.
Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Tato práce se zabývá hardwarovým a softwarovým řešením programovatelného dálkového ovládání. Rozebírá teorii infračerveného záření i jeho použití v oblasti bezdrátového přenosu dat. Jsou uvedeny způsoby modulace infračerveného záření a přenosové protokoly používané dálkovými ovladači.

Následně jsou uvedeny vlastnosti architektury ARM Cortex-M3 a konkrétního vybraného mikrokontroléru STM32L151C8. Následuje vlastní řešení hardware a software zařízení.

Je popsán příjem, uložení a následné vysílání infračerveného signálu získaného z originálního dálkového ovladače.

Popisuje vytvořený komunikační protokol, který umožňuje komunikaci mezi PC aplikací a programovatelným dálkovým ovládáním přes rozhraní USB.

Následuje uživatelský manuál k PC aplikaci a uživatelskému rozhraní přímo v programovatelném dálkovém ovládání, kterým lze zařízení také ovládat a zadávat všechny příkazy jako v PC aplikaci.

Klíčová slova

Dálkové ovládání domácích spotřebičů, IR datový přenos, ARM Cortex-M3

Abstract

This thesis deals with the hardware and software design for programmable remote control. It describes the theory of infrared radiation and its applications in wireless data transmission, modulation methods of infrared radiation and transmission protocols, that remote controls use.

It describes features of the ARM Cortex-M3 and selected microcontroller STM32L151C8. It is followed by the hardware and software solution for programmable remote control.

This thesis solves receiving, storage and transmission infrared signal from original remote control.

It describes a communication protocol, that allows communication between PC application and programmable remote control via USB.

It contains user manuals for PC application and programmable remote control user interface, what user allows device control and allows to enter all commands like in PC application.

Keywords

Remote control of home appliances, IR data transfer, ARM Cortex-M3

Bibliografická citace:

ZEMÁNEK, P. *Programovatelné dálkové ovládání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 56s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Pavel Kučera, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Programovatelné dálkové ovládání jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: **28. května 2012** ……

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Kučerovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **28. května 2012** ……

podpis autora

Obsah

1 Úvod ... 10
2 IR datový přenos ... 11
2.1 Rušení ... 11
2.2 Modulace ... 11
2.2.1 Pulsní modulace ... 12
2.2.2 FSK modulace ... 12
2.2.3 Bi-phase modulace ... 12
2.2.4 Pulsně šířková modulace ... 13
2.3 Přenosové protokoly ... 13
2.3.1 ITT protokol ... 13
2.3.2 JVC protokol ... 14
2.3.3 NEC protokol ... 15
2.3.4 Extended NEC protokol ... 16
2.3.5 Sony SIRC protokol ... 17
2.3.6 RC-5 protokol ... 17
2.3.7 RC-6 protokol ... 18
3 Mikrokontrolér ... 20
3.1 Cortex-M3 ... 20
3.1.1 Výrobci mikrokontrolérů Cortex-M3 ... 22
3.1.2 STM32L151C8 ... 22
4 Hardwarová část ... 25
4.1 Napájení ... 25
4.2 Mikrokontrolér ... 26
4.3 IR vysílače a přijímače ... 28
4.4 Uživatelské rozhraní ... 30
4.5 Měření spotřeby ... 31
5 Softwarová část ... 33
5.1 Uložení akce ... 33
5.2 Uložení tlačítka ... 34
5.3 Příjem IR signálu ... 35
5.4 Vysílání příkazu ... 35

5.4.1 Srovnání originálního dálkového ovladače a PDO 36
5.5 Režim nízkého příkonu 37
5.6 Uložení časového rozvrhu 37
5.7 Uložení seznamu tlačítek 37
5.8 Komunikace mezi PDO a PC 38
5.9 Komunikační protokol 39
5.10 Manuál k obsluze Programovatelného dálkového ovládání 42
5.10.1 Vytvoření akce 42
5.10.2 Aktualizace data a času 42
5.10.3 Smazání akce 43
5.10.4 Nahrát tlačítko 43
5.10.5 Test tlačítka 44
5.10.6 Smazat tlačítko 45
5.10.7 Nastavení 45
5.10.8 Úsporný režim 45
5.11 Manuál k obsluze PC aplikace 46
6 ZÁVĚR 48

1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je vytvořit hardwarové a softwarové řešení Programovatelného dálkového ovládání (dále jen PDO). Výsledné zařízení umožňuje ovládání nejrůznějších domácích spotřebičů pomocí IR rozhraní (nahrazuje originální dálkové ovladače dodané k jednotlivým spotřebičům).

PC aplikací nebo rozhraním v PDO uživatel vytvoří časový rozvrh akcí, podle kterého se PDO bude řídit a ovládat domácí spotřebiče. PDO vybavené časovým rozvrhem pracuje samostatně bez potřeby zásahu uživatele a v nastavených časových okamžicích vysílá příkazy získané z originálních dálkových ovladačů.

Za použitý mikrokontrolér, který je základem zařízení, jsem zvolil architekturu ARM Cortex-M3 konkrétně STM32L151C8 od firmy STMicroelectronics. Je navržen s ohledem na nízký příkon, proto se používá pro bateriové aplikace. Další výhodou mikrokontroléru jsou implementované hodiny reálného času (RTC), které PDO nezbytně potřebuje.

PDO se připojuje k PC přes rozhraní USB, v použitém mikrokontroléru je implementováno rozhraní USB *full-speed device*. Díky tomu není třeba žádných převodníků (USB-UART apod.).

Po prozkoumání jednotlivých IR přenosových protokolů a jejich nasazení v dálkových ovladačích jsem se rozhodl signály z dálkových ovladačů nedekódovat, ale průběh signálu uložit do paměti SRAM mikrokontroléru a následně rekonstruovat při vysílání.

PC aplikace kromě časového rozvrhu akcí ukládá i seznam tlačítek získaných PDO a vytváří databázi již použitých tlačítek dálkových ovladačů domácích spotřebičů. Oboje se ukládá do XML souborů.

2 IR DATOVÝ PŘENOS

Infračervené záření (IR, *infrared*) je elektromagnetické záření s vlnovou délkou (760 nm-1 mm) větší než viditelné světlo. V komunikaci se používá na přenos informací na kratší vzdálenost. U dálkových ovladačů se používá záření o vlnové délce v rozmezí 830-950 nm. Pro přenos informace a pro převod elektrického signálu na optické záření a naopak se používá vysílač (v dálkových ovladačích IR LED dioda) a přijímač.

Na vysílací diodu a přijímací diodu jsou kladeny celkem velké nároky, co se týče vyzařovaného výkonu kvůli velké vzdálenosti a citlivosti na přijímané optické záření. U vysílacích diod je maximální vyzařovací výkon omezen proudem procházející diodou. U přijímací diody můžeme dosáhnout co největší citlivosti dvěma způsoby:

1. zvětšení aktivní plochy čipu diody, kdy velká plocha dokáže pohltit větší množství fotonů a tím se citlivost zvětšuje. Omezení velikosti aktivní plochy je z technologických a ekonomických důvodů. Používají se čipy s aktivní plochou 8 mm^2 [10],
2. přidáním optického filtru a selekci záření před dopadem na diodu.

2.1 Rušení

Přijímač, který očekává užitečné optické záření, je zaplavován velkým množstvím rušivých signálů elektromagnetického charakteru. Slunce nebo domácí osvětlení (žárovky) generují záření, které ve svém spektru obsahuje i infračervenou složku. Přenos tepla zářením je také zdrojem infračerveného záření.

Zdrojů rušení je mnoho, proto se elektrický signál musí upravit než je převeden na optické záření.

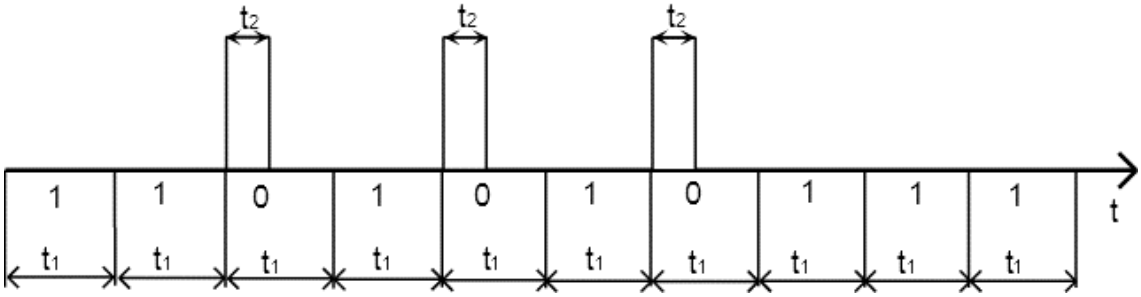
2.2 Modulace

V dnešní době se používá výhradně digitální přenos dat, délka přenášených datových rámců závisí na konkrétní aplikaci. Některé nejčastěji používané způsoby modulace byly přijaty jako standard. Čtyři nejběžněji používané reprezentace bitů přenášeného rámce jsou [11]:

- Pulsní modulace,
- FSK modulace,
- Bi – phase modulace,
- Pulsně šířková modulace.

2.2.1 Pulsní modulace

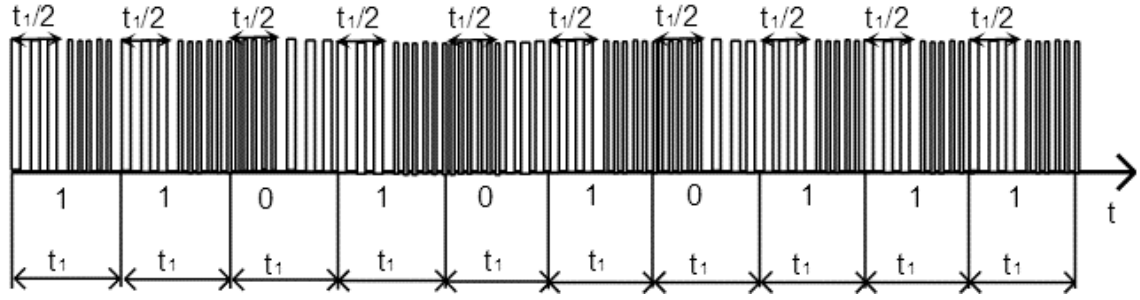
je jedním z nejjednodušších způsobů kódování dat přenášených infračerveným zářením. Principem této modulace je rozdělení signálu na stejně velká tzv. časová okna. V tomto okně se buď vyskytne, nebo nevyskytne impuls konstantní délky, zpravidla podstatně menší, než je délka časového okna. Výskyt tohoto impulsu v okně je považován za logickou nulu, jeho absence pak za logickou jedničku. Hodinové impulsy na přijímací straně se synchronizují s hranou přijímaného signálu. Při přenosu většího bloku jedničkových bitů, kdy nejsou vysílány žádné impulsy, může přijímač vypadnout ze synchronismu. Proto se zde používá tzv. bit-stuffing, kdy po určitém počtu bitů log. 1 je vyslán navíc jeden bit log. 0. Tento bit musí přijímací strana odstranit [11].



Obr. 1: Princip pulsní modulace [11]

2.2.2 FSK modulace

FSK (*frequency shift keying*) se používá jako velice bezpečná metoda přenosu. Princip spočívá v modulování bitů pomocí dvou frekvencí, jak je znázorněno na Obr. 2. Nevýhodou je vyšší cena zařízení, vyšší energetická náročnost a pomalejší datový přenos [11].

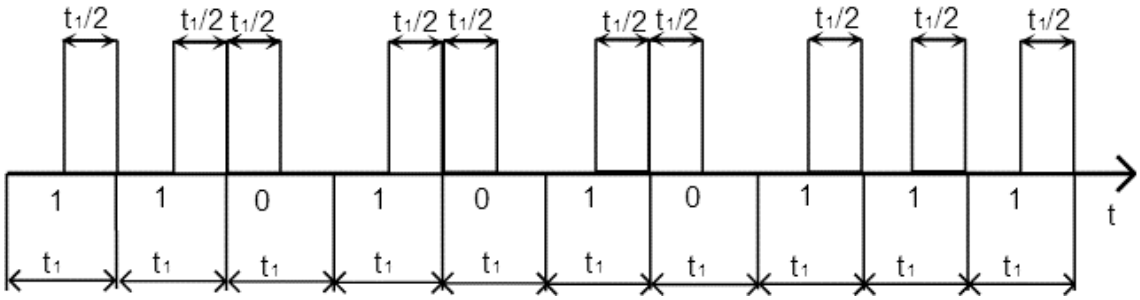


Obr. 2: Princip FSK modulace [11]

2.2.3 Bi-phase modulace

Princip *Bi-phase* modulace je znázorněn na Obr. 3 a spočívá opět v rozdělení signálu na tzv. časová okna. Tato časová okna mají stejnou velikost a pro detekci daného bitu se bere změna úrovně signálu uvnitř tohoto okna. Pokud je změna kladná, tj. z log. 0 na

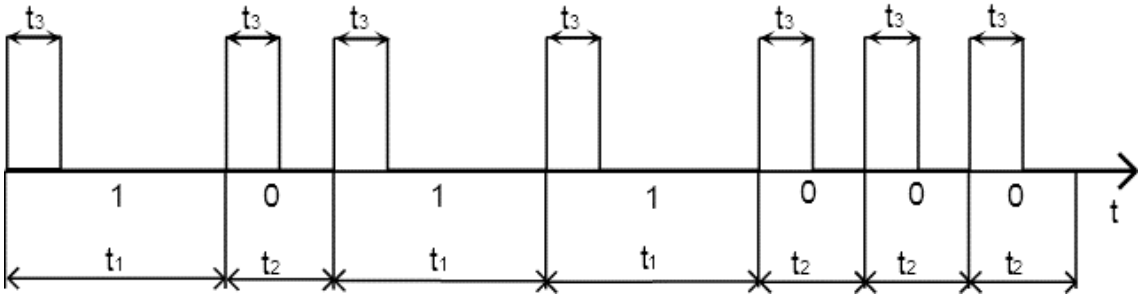
log. 1, je bit vyhodnocen jako log. 1, v opačném případě jako log. 0. Tento typ modulace se používá poměrně často, například RC-5 protokol, který bude rozebrán později [11].



Obr. 3: Princip Bi-phase modulace [11]

2.2.4 Pulsně šířková modulace

Principem pulsně šířkové modulace je opět rozdělení signálu do tzv. časových oken, tentokrát však ne stejně dlouhých (viz Obr. 4). Jednotlivá časová okna jsou synchronizována náběžnou hranou signálu a detekce bitu se provádí podle délky okna. Kratšímu oknu odpovídá bit log. 0, delšímu pak bit log. 1 [11].



Obr. 4: Princip pulsně šířkové modulace [11]

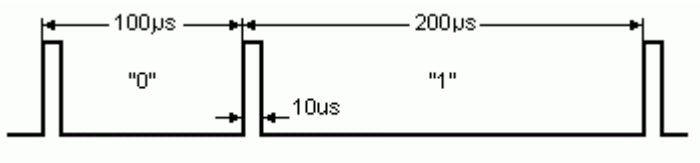
2.3 Přenosové protokoly

Dálkové ovladače používají různé přenosové protokoly pro přenos dat (adresy spotřebiče a příkazu) mezi dálkovým ovladačem a spotřebičem. Mnoho výrobců si pro své spotřebiče vytvořilo vlastní protokoly. Jeden konkrétní spotřebič komunikuje („rozumí“) pouze jedním protokolem.

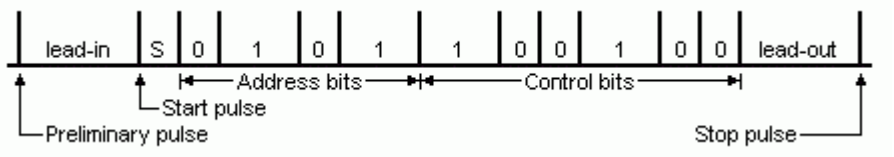
2.3.1 ITT protokol

- Jeden z nejstarších a nejjednodušších protokolů.
- Nepoužívá modulaci na nosné frekvenci.
- Pouze 14 krátkých pulzů během zprávy, délka pulzu 10 µs.

- Délka zaváděcího (*lead-in*) a ukončovacího (*lead-out*) intervalu je 300 µs.
- Výhodný pro bateriové aplikace.
- Dekódování podle délky mezery.
- 4 bity adresní, 6 bitů pro příkaz (*command*).



Obr. 5: Kódování jednoho bitu [3]

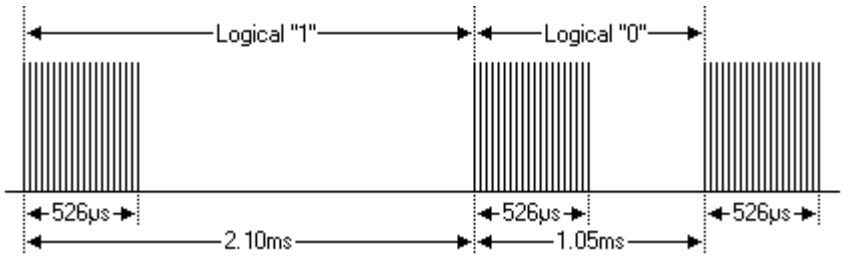


Obr. 6: Časový průběh ITT protokolu [3]

2.3.2 JVC protokol

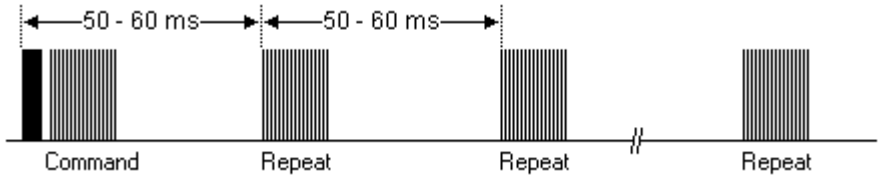
- Využívá pulsně šířkovou modulaci.
- 8 bitů adresních, 8 bitů pro příkaz (*command*).
- Nosná frekvence je 38 kHz, doporučená střída 1/3 nebo 1/4.

Z Obr. 9 je vidět jak je vyřešen problém, který vzniká pokud uživatel drží tlačítko ovladače po delší dobu. První poslaný rámec po stisku tlačítka obsahuje tzv. „*pre-pulse*“, které další rámce vysílané při držení tlačítka neobsahují.



Obr. 7: Kódování jednoho bitu [3]

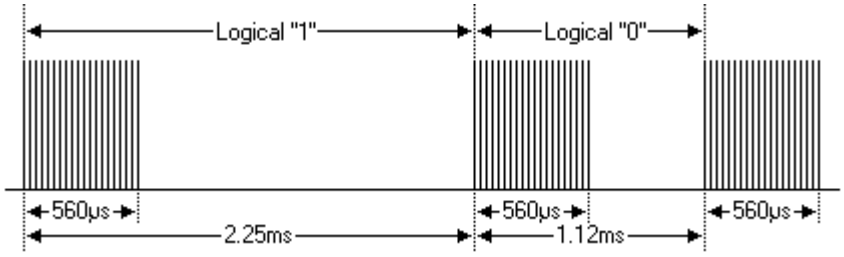
Obr. 8: Časový průběh JVC protokolu [3]



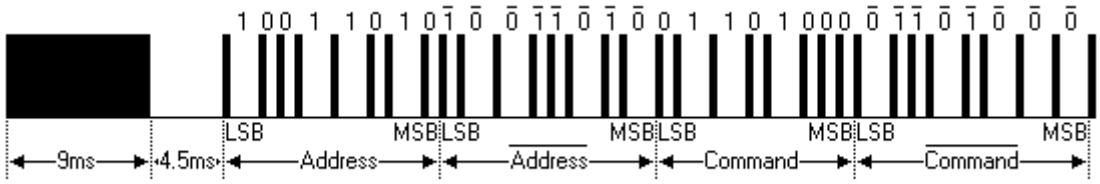
Obr. 9: Držení tlačítka [3]

2.3.3 NEC protokol

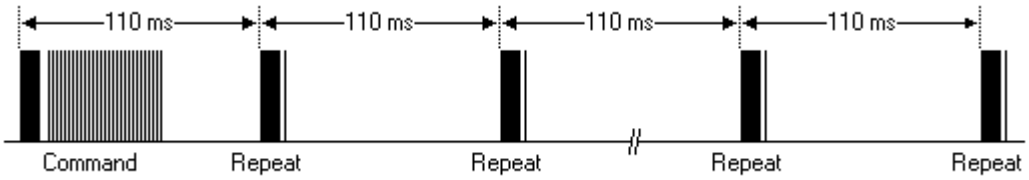
- Využívá pulsně šířkovou modulaci.
- 8 bitů adresních, 8 bitů pro příkaz (*command*).
- Adresa a příkaz (*command*) je vysílán dvakrát pro kontrolu.
- Nosná frekvence je 38 kHz, doporučená střída 1/3 nebo 1/4.



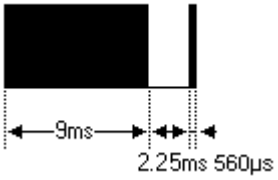
Obr. 10: Kódování jednoho bitu [3]



Obr. 11: Časový průběh NEC protokolu [3]



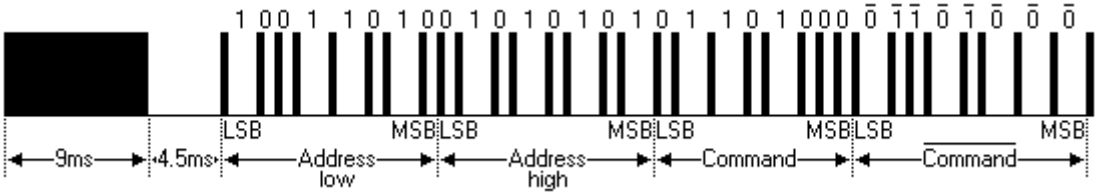
Obr. 12: Držení tlačítka [3]



Obr. 13: Opakovací kód (*Repeat*) [3]

2.3.4 Extended NEC protokol

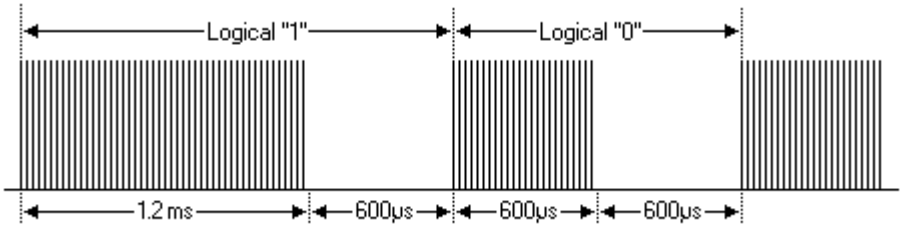
- Stejný jako NEC protokol pouze adresa není 8bitová, ale 16bitová.
- Adresa se vysílá pouze jednou.



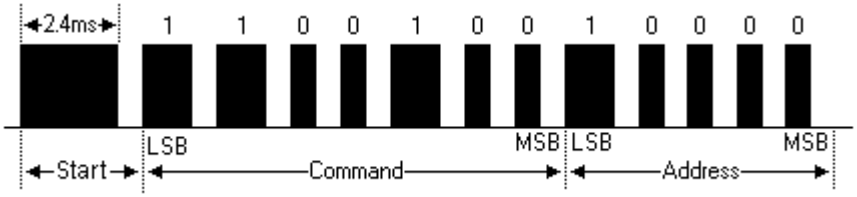
Obr. 14: Časový průběh Extended NEC protokolu [3]

2.3.5 Sony SIRC protokol

- Využívá pulsně šířkovou modulaci.
- 5 bitů adresa, 7 bitů pro příkaz (*command*).
- Nosná frekvence je 40 kHz, doporučená střída 1/3 nebo 1/4.
- Příkaz je posílán opakovaně s periodou opakování 45 ms, dokud je tlačítko stisknuto.



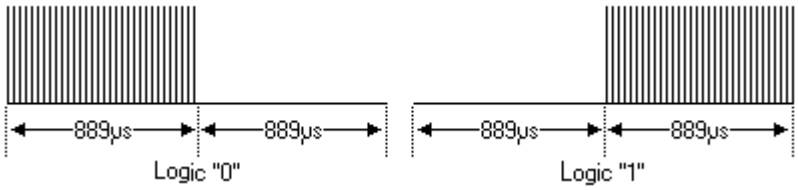
Obr. 15: Kódování jednoho bitu [3]



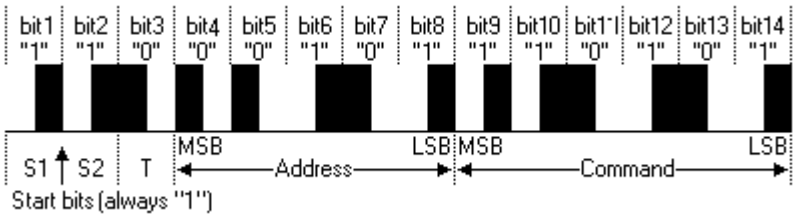
Obr. 16: Časový průběh Sony SIRC protokolu [3]

2.3.6 RC-5 protokol

- Využívá *bi-phase* modulaci.
- 5 bitů adresa, 6 bitů pro příkaz (*command*).
- Nosná frekvence je 36 kHz, doporučená střída 1/3 nebo 1/4.
- Příkaz je posílán opakovaně s periodou opakování 114 ms, dokud je tlačítko stisknuto.
- Bit T z Obr. 18 se nazývá *toggle* bit a pokud je tlačítko stisknuto jeho hodnota se nezmění, při každém stisknutí tlačítka se bit invertuje.



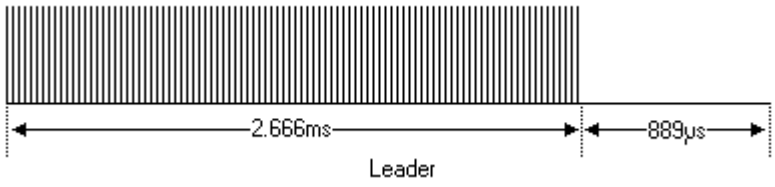
Obr. 17: Kódování jednoho bitu [3]



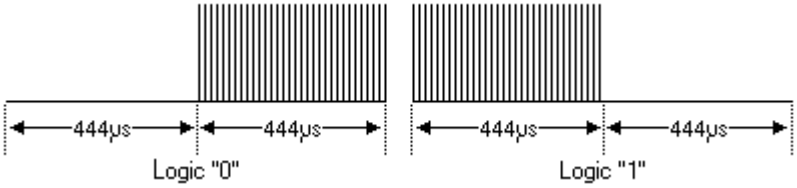
Obr. 18: Časový průběh RC-5 protokolu [3]

2.3.7 RC-6 protokol

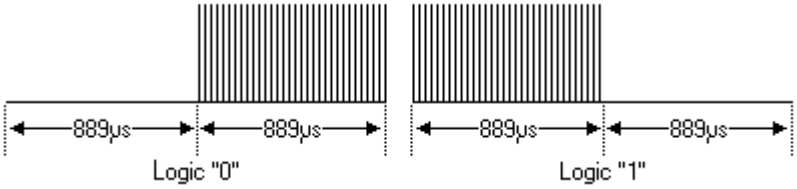
- Protokol rozlišuje 8 módů podle bitů mb0 až mb2.
- Využívá bi-phase modulaci.
- Proměnný počet bitů, záleží na zvoleném módu.
- Nosná frekvence je 36 kHz, doporučená střída mezi ¼ a ½.
- Tři různé druhy bitů: zaváděcí (*Leader*) bit, normální (*Normal*) bit a ukončovací (*Trailer*) bit.



Obr. 19: Zaváděcí (*Leader*) bit [3]



Obr. 20: Normální (*Normal*) bit [3]



Obr. 21: Ukončovací (*Trailer*) bit [3]

2.3.7.1 Mód 0

LS SB	mb2 ... mb0	TR	a7 ... a0	c7 .... c0	
Header			Control	Information	Signal free

Obr. 22: Mód 0 [3]

Z Obr. 22 je vidět, že příkaz se skládá ze tří částí: *Header*, *Control*, *Information* a *Signal free*. *Header* začíná zaváděcím (*Leader*) bitem, následuje start bit, který je vždy log. 1. Bity mb2 až mb0 určují zvolený mód. Poslední je ukončovací (*trailer*) bit. *Control* obsahuje 8bitovou adresu (možno adresovat až 256 zařízení). *Information* obsahuje 8 bitů příkazu (*command*). *Signal free* je doba, po kterou žádné zařízení nesmí vysílat jakákoliv data (trvá 2,666 ms).

3 MIKROKONTROLÉR

Jádrem PDO je mikrokontrolér, ve kterém je uložen časový rozvrh s kódy příkazů pro domácí spotřebiče, komunikuje s programem v PC přes sběrnici USB, ovládá IR vysílače a přijímá data z IR přijímačů.

Tato práce se zabývá mikrokontroléry ARM konkrétně ARM s architekturou Cortex-M3. Ne proto, že by PDO mělo tak vysoké nároky na mikrokontrolér, kvůli kterým by nešlo použít 8bitové mikrokontroléry např.: 8051, Atmel AVR, Microchip PIC, atd. Mikrokontrolér ARM je použit, protože jejich vliv v oblasti mikrokontrolérů je značný a postupně vytlačí již zmíněné 8bitové a 16bitové mikrokontroléry. Jejich cena je srovnatelná, jejich výpočetní výkon je nesrovnatelně větší, efektivita kódu lepší a všechny Cortex-M3 mikrokontroléry jsou 32bitové.

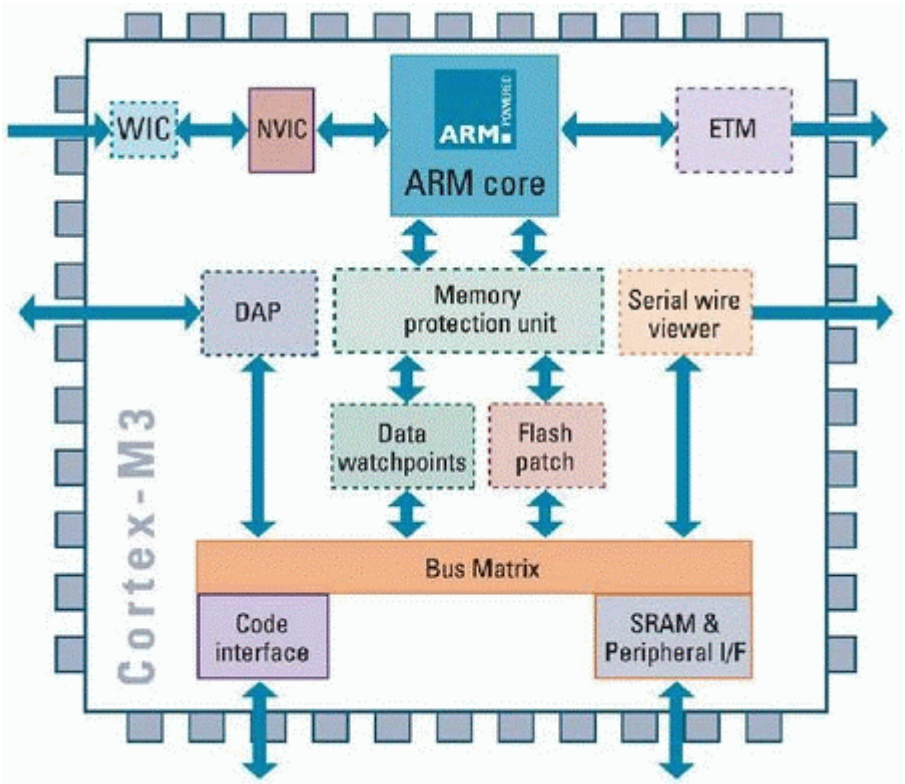
3.1 Cortex-M3

Rodina procesorů Cortex-M3 jsou první procesory architektury ARMv7-M, které byly navrženy s cílem dosáhnout vysokého výkonu systému a maximální efektivity levných vestavěných aplikací, jako jsou například průmyslové řídicí systémy, automobilová elektronika, drátové a bezdrátové telekomunikační systémy, systémy elektrického ovládání atd. Aby tohoto bylo možno dosáhnout, muselo dojít v základní architektuře k mnoha změnám. Zejména velmi zjednodušit proces tvorby softwarového balíku. Výsledkem je cenově efektivní využití procesorů architektury Cortex-M3 a to i v těch nejjednodušších aplikací [4].

Vlastnosti architektury Cortex-M3 podle [9]:

- Jádro ARMv7-M
- Podpora instrukčního souboru ARM Thumb / Thumb-2
- Tří úrovňová pipeline linka s predikcí větvení
- Výkon: 1,25 DMIPS/MHz
- Až 4 GB adresovatelné paměti
- Přímý bitový přístup i manipulace, hardwarová manipulace se zásobníkem, hardwarové dělení a If/then instrukce
- Instrukce 32bitového násobení a dělení v jednom hod. cyklu (znamínkové násobení / dělení v 2 až 12 hodinových cyklech)
- CPU tvoří 33 tisíc hradel, maximálně 60 tisíc celá kompletní implementace
- Plocha (jádro + periferie): 0,86 mm^2 pro technologii 0,18 mikronů

- Spotřeba: běžná 0,19 mW/MHz nebo až 0,085 mW/MHz
- Konfigurovatelný NVIC (Nested Vectored Interrupt Controller) pro řízení 1 až 240 přerušení s 256 úrovněmi priorit, integrovaný časovač systémových taktů (systemtick timer) pro RealTime OS
- Sériové dvouvodičové ladící rozhraní SWD (Serial Wire Debug)



Obr. 23: Blokové schéma Cortex-M3 [4]

3.1.1 Výrobci mikrokontrolérů Cortex-M3

Při výběru konkrétního mikrokontroléru ARM Cortex-M3 připadaly v úvahu tyto typy:

- **Texas Instruments**
  - Stellaris ARM Cortex-M3 MCU
    - řada 3000 – se sběrnicí USB
- **STMicroelectronics**
  - STM32
    - F1 *Mainstream* řada
    - L1 *Ultra Low Power* řada
- **NXP Semiconductors**
  - Cortex-M3
    - LPC1300 řada
- **Energy Micro**
  - EFM32
    - *Leopard Gecko* mikrokontroléry
- **Toshiba**
  - TX03 řada
- **Atmel**
  - SAM3S řada
  - SAM3U řada
- **Fujitsu**
  - *High performance line*
    - *Basic group*
  - *Low power line*
    - *Low power group*
    - *Ultra low leak group*

3.1.2 STM32L151C8

Pro PDO byl vybrán mikrokontrolér *STM32L151C8* od firmy STMicroelectronics. Vybraný mikrokontrolér patří do řady L1 Ultra Low Power a jeho vlastnosti výborně splňují požadavky na hledaný mikrokontrolér. Vlastnosti *STM32L151C8* podle údajů výrobce [14]:

- Rozsah napájecího napětí: 1,65 V až 3,6 V (bez BOR) nebo 1,8 V až 3,6 V (s BOR),
- Teplotní rozsah: -40 až 85 °C
- Funkce nízkého příkonu:
  - 5 módů: *Low-power run*, *Sleep*, *Low-power sleep*, *Stop*, *Standby*
- Jádro: ARM 32bitové Cortex-M3
  - 32 MHz maximální frekvence
- Management resetu a napájení
  - BOR (*Brown out reset*)
  - POR (*Power on reset*), PDR (*Power down reset*)
  - PVD (*Programmable voltage detector*)
- Hodinový management
  - 1 až 24 MHz krystalový oscilátor
  - 32 kHz oscilátor pro RTC s kalibrací
  - Vnitřní 16 MHz RC oscilátor
  - Vnitřní 37 kHz RC oscilátor
- Kalendář RTC
  - Alarm, periodický *wakeup* z *Stop* nebo *Standby* módu
- Paměti
  - 64 kB Flash paměti s ECC
  - 4 kB EEPROM datové paměti s ECC
  - 10 kB SRAM paměti
- Vývojové prostředky
  - SWD (*Serial Wire Debug*), JTAG
- 1 × USB 2.0 *full-speed device*

3.1.2.1 Hodiny reálného času (RTC)

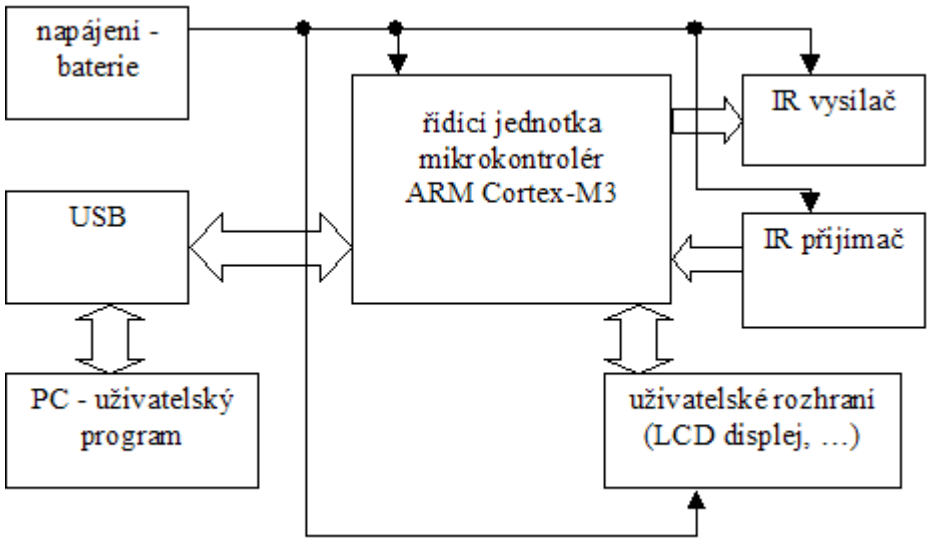
Hodiny reálného času (RTC) jsou nezávislé BCD čítače/časovače. RTC obsahuje dva programovatelné alarmy vyvolávající přerušení, periodický programovatelný návrat (*wakeup*) z režimů se sníženou spotřebou. Dva 32bitové registry obsahují v BCD kódu sekundy, minuty, hodiny (12ti nebo 24 hodinový formát), pořadí dnu v týdnu, den v měsíci, měsíc a rok. Práce s počtem dnů v měsíci (28, 29, 30 nebo 31) probíhá

automaticky hardwarově. Nastavování letního času musí programátor ošetřit softwarově. Po resetu jsou registry chráněny proti nežádoucímu přepsání.

3.1.2.2 Vstupně/výstupní univerzální porty (GPIO)

STM32L151C8 obsahuje 37 GPIO (*General-purpose I/O*) pinů. Každý z těchto pinů může být nastaven jako vstupní (bez rezistoru, s *pull-up* nebo *pull-down* rezistorem, analogový) nebo jako výstupní (*push-pull*, kdy pracují oba výstupní tranzistory, s otevřeným kolektorem *open-drain*). Všechny lze nastavit jako zdroj vnějšího přerušení (reakce na náběžnou hranu, sestupnou hranu nebo na obě hrany signálu). Neobvyklou, ale důležitou vlastností některých z těchto pinů je tzv. *5V tolerant*. To znamená, že piny jsou kompatibilní s TTL logikou (maximální napětí na vstupu až 5,5 V nezávisle na napájení mikrokontroléru).

4 HARDWAROVÁ ČÁST



Obr. 24: Blokové schéma PDO

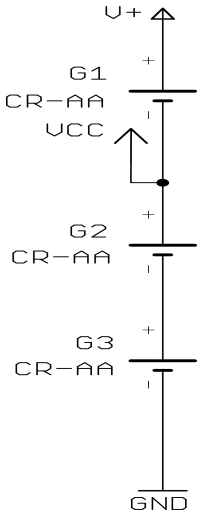
Na Obr. 24 je vidět blokové schéma PDO. Nejdůležitější blokem je mikrokontrolér, který řídí ostatní bloky a je „mozkem“ celého zařízení. Jedná se o *STM32L151C8* od firmy STMicroelectronics, protože obsahuje hodiny reálného času (RTC), datovou paměť EEPROM, USB a je navržen pro bateriové aplikace z hlediska minimálního příkonu.

Při návrhu schématu byly vyřešeny tyto problémy:

- napájení – baterie,
- zapojení mikrokontroléru,
- konektor pro programování mikrokontroléru a ladění programu,
- výběr a zapojení IR vysílačů (IR LED diody) a IR přijímačů,
- zapojení USB konektoru,
- uživatelské rozhraní (LCD displej, maticová klávesnice),
- optimalizace celého zapojení z hlediska spotřeby.

4.1 Napájení

PDO napájí tři tužkové AA baterie. Napětí na svorkách jednoho článku alkalické baterie se při vybíjení snižuje od 1,5 V do 1 V [12]. Mikrokontrolér *STM32L151C8* potřebuje napájecí napětí v rozmezí 1,65 V až 3,6 V bez BOR nebo 1,8 V až 3,6 V s BOR [21]. Třetí článek zvyšuje napájecí napětí na 4,5 V kvůli použitému LCD displeji.

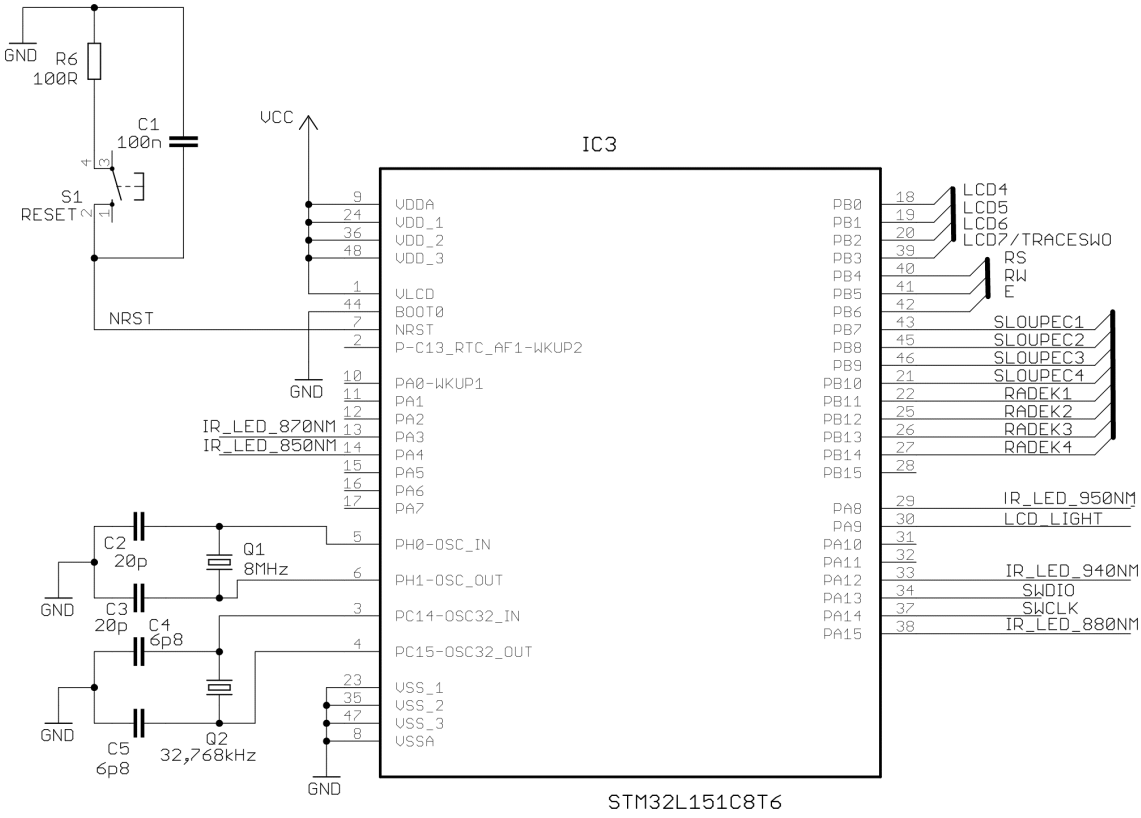


Obr. 25: 3× AA baterie

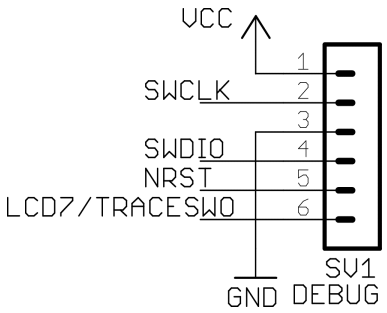
Z Obr. 25 je vidět, že z baterií jsou vyvedeny dvě napájecí napětí. Symbol *VCC* označuje ve schématu napětí 3V pro napájení mikrokontroléru, symbol *V+* označuje napětí 4,5 V pro napájení LCD displeje, IR přijímačů a IR vysílačů.

4.2 Mikrokontrolér

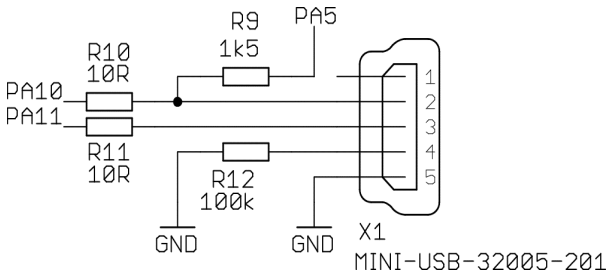
Zapojení *STM32L151C8* je na Obr. 26. Obsahuje tlačítko pro reset mikrokontroléru, jeden krystal 8 MHz pro jádro mikrokontroléru a přesný 32,768 kHz krystal pro hodiny reálného času. Pro programování a ladění programu je vyveden konektor pro *Serial Wire Debug* (SWD alternativa JTAG) viz Obr. 27, rozložení pinů je kompatibilní s vývojovým kitem *STM32L-DISCOVERY* a k programování a ladění byl použit právě tento vývojový kit. K připojení USB je použit Mini-USB-B konektor viz Obr. 28.



Obr. 26: Zapojení STM32L151C8



Obr. 27: Konektor pro SWD



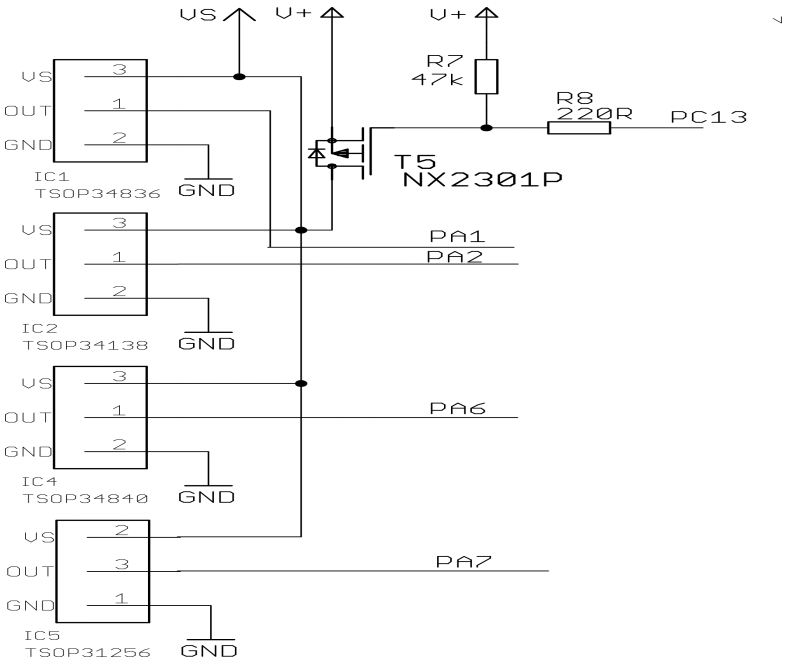
Obr. 28: Mini USB-B konektor

4.3 IR vysílače a přijímače

Pro příjem optického signálu z originálního dálkového ovládače k dalšímu zpracování mikrokontrolérem je zapotřebí speciální integrovaný obvod, který přijímá signál jen o vlnové délce odpovídající IR záření a jen signál, který je modulován na určitou nosnou frekvenci, jak už bylo zmíněno v kapitole Přenosové protokoly. Vzhledem k tomu, že PDO má být co nejuniverzálnější, je použito více IR přijímačů, pro příjem signálů modulovaných na různých nosných frekvencích. Jedná se o *TSOP34836*, *TSOP34138*, *TSOP34840, TSOP31256*. Jak už názvy integrovaných obvodů napovídají, pomocí nich lze přijímat signály o nosných frekvencích 36, 38, 40 a 56 kHz. Všechny použité řady obvodů *TSOP348..*, *TSOP341.*. *TSOP312..* jsou od stejného výrobce *Vishay Semiconductors* a jejich parametry se od sebe výrazně neliší, jejich výhodou je rozsah napájecího napětí vhodný pro naše použití a šířka pásma vlnové délky optického signálu, na kterou přijímač dokáže reagovat. Parametry [24], [25] a [26]:

Napájecí napětí:	2,7 – 5,5 V
Odebíraný proud:	1,3 mA
Šířka pásma vlnové délky:	850 – 1050 nm (870 – 1020 nm pro *TSOP312..*)
	(odečteno pro 70 % relativní citlivosti přijímače)

Tranzistorem *T5* lze IR přijímače odpojit od napájení v případě, kdy nebude potřeba žádné optické signály přijímat. IR přijímače jsou napájeny všemi bateriemi tzn. 4,5 V. Výstupy všech IR přijímačů jsou připojeny na piny mikrokontroléru, které mají vlastnost *5V tolerant*.



Obr. 29: IR přijímače

Jako vysílače IR signálu jsou použity IR LED diody *LD 274-3*, *TSAL6200*, *SFH486*, *TSFF5410* a *TSHG6400* spínané MOSFET tranzistory *PMV16UN*. Protože napájecí napětí je 4,5 V, lze zapojit dvě IR LED diody do série. PDO obsahuje pět různých typů IR LED diod, kvůli univerzálnosti zařízení, aby mohlo vysílat na různých vlnových délkách z IR spektra (850, 870, 880, 940 a 950 nm). Hodnota odporu rezistorů *R1* až *R5* je vypočítána pro proud IR LED diodou I_{FM} a napájecí napětí 4,5 V. Hodnoty rezistorů *R3*, *R4* a *R5* byly zaokrouhleny, aby odpovídaly vyráběným rezistorům.

$$R1 = \frac{U_R}{I_{FM}} = \frac{4{,}5 - 2 \cdot 1{,}5}{0{,}2} = 7{,}5\Omega \qquad (1)$$

$$R2 = \frac{U_R}{I_{FM}} = \frac{4{,}5 - 2 \cdot 1{,}5}{0{,}2} = 7{,}5\Omega \qquad (2)$$

$$R3 = \frac{U_R}{I_{FM}} = \frac{4{,}5 - 2 \cdot 1{,}6}{0{,}2} = 6{,}5\Omega \cong 6{,}8\Omega \qquad (3)$$

$$R4 = \frac{U_R}{I_{FM}} = \frac{4{,}5 - 2 \cdot 1{,}6}{0{,}2} = 6{,}5\Omega \cong 6{,}8\Omega \qquad (4)$$

$$R5 = \frac{U_R}{I_{FM}} = \frac{4{,}5 - 2 \cdot 1{,}6}{0{,}2} = 6{,}5\Omega \cong 6{,}8\Omega \qquad (5)$$

Parametry tranzistoru *PMV16UN* z [32]:

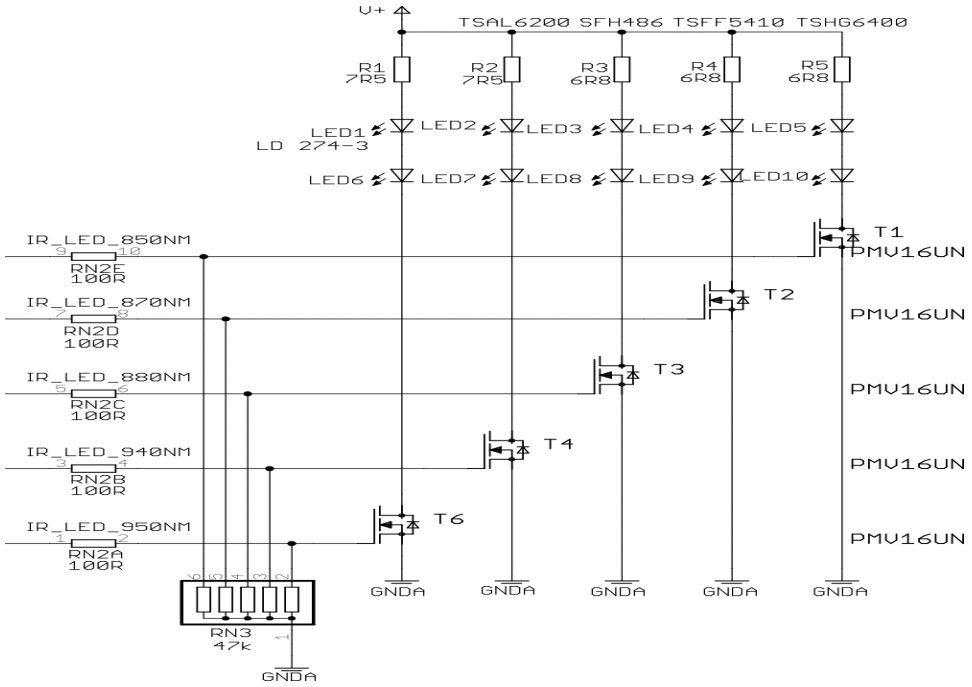
nízké prahové napětí $U_{GS(th)}$: 0,7 V

trvalý kolektorový proud I_D: 5,8 A

Parametry IR LED diod z [27], [28], [29], [30] a [31]:

	LD 274-3	TSAL6200	SFH486	TSFF5410	TSHG6400
Vlnová délka λ [nm]	950	940	880	870	850
Opakovatelný špičkový proud při střídě 0,5 I_{FM} [mA]	200	200	200	200	200
Úbytek napětí (při proudu I_{FM}) U_F [V]	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6
Intenzita záření (při proudu I_{FM}) I_e [mW/sr]	160	100	84	130	130
Vyzařovaný výkon (při proudu I_{FM}) Φ_e [mW]	–	75	–	–	110

Tab. 1: Parametry IR LED diod

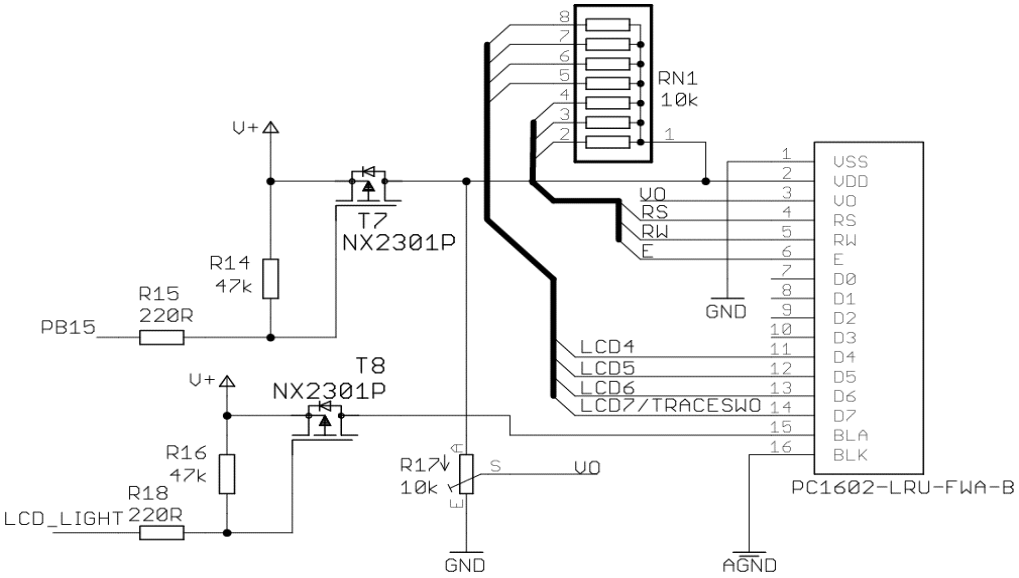


Obr. 30: IR vysílače

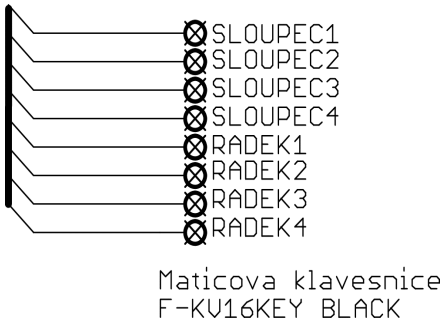
4.4 Uživatelské rozhraní

Ke komunikaci mezi PDO a uživatelem slouží uživatelské rozhraní na Obr. 31 a Obr. 32. Jeho součástí je LCD displej *PC1602-LRU-FWA-B* a maticová klávesnice *F-KV16KEY BLACK*. Použitý LCD displej v sobě obsahuje řadič, který znaky poslané po sběrnici *D0..7* zobrazuje na displeji. Pin *E* (*Enable*) aktivuje čtení/zápis dat, *RS* (*Register Selection input*) volba mezi datovým (log. 1) a instrukčním (log. 0) registrem, *R/W#* (*Read/Write mode*) mód čtení/zápisu. LCD displej pracuje v režimu 4bitové komunikace, kdy jsou využity pouze čtyři datové vodiče *D4* až *D7* a datový byte se posílá po půlbytech nejprve horní půlbyte a potom dolní půlbyte. Potenciometrem *R17* lze nastavit kontrast LCD displeje. Tranzistor *T7* připojuje LCD displej na napájecí napětí 4,5 V. Tranzistorem T8 lze zapnout podsvícení LCD displeje.

Maticová klávesnice je připojena k mikrokontroléru bez *pull-up* rezistorů, protože se využívá vnitřních *pull-up* rezistorů mikrokontroléru. Piny mikrokontroléru označené *SLOUPEC* jsou nastaveny jako výstupní (*open-drain* s *pull-up* rezistorem). Piny mikrokontroléru označené *RADEK* jsou nastaveny jako vstupní (s *pull-up* rezistorem).



Obr. 31: LCD displej



Obr. 32: Maticová klávesnice

4.5 Měření spotřeby

Teoretické hodnoty napájecího proudu získané z katalogových listů:

úsporný režim (Stop)	1,9	µA
IR vysílání	56,7	mA
IR příjem	11,9	mA
LCD podsvícení zapnuto	246,7	mA
aktivní režim	6,7	mA

Tab. 2: Teoretické hodnoty napájecího proudu

Naměřené hodnoty napájecího proudu při různých režimech PDO měřené na vývojovém kitu STM32L-DISCOVERY. Použitý multimetr při měření proudu ovlivňoval PDO natolik, že zařízení nefungovalo. Bylo nutné zapojit místo baterií zdroj napětí a proud měřit v napájecích větvích zvlášť.

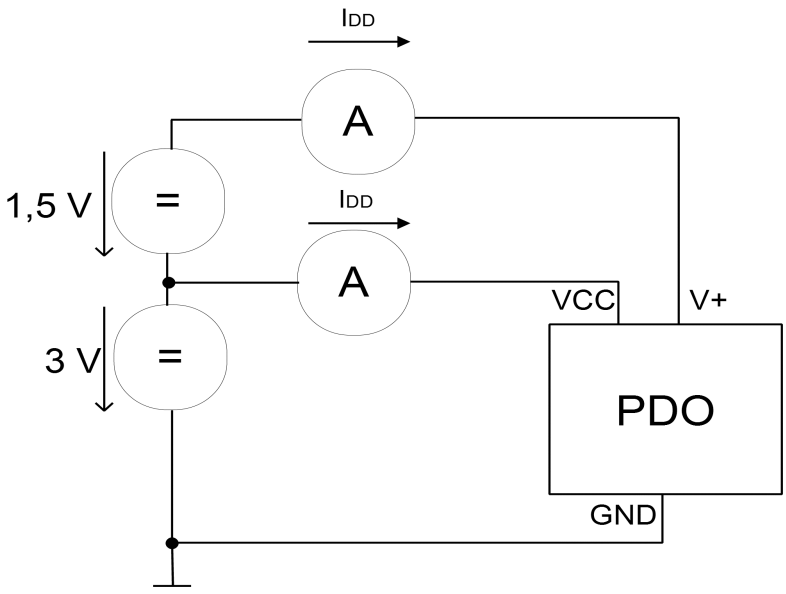
Teoretická hodnota napájecího proudu při IR vysílání byla vypočtena jako střední hodnota obdélníkového průběhu, o výšce maximálního proudu procházejícího IR LED diodou I_{FM}, se střídou ¼.

Použité přístroje: multimetr RC CEM DT-9929
zdroj napětí PSM 3/5A

	napájecí větev								
	4,5 V (V+)				3V (VDD)				
	I_{DD}		$\lvert\Delta_P\rvert$	δ_P	I_{DD}		$\lvert\Delta_P\rvert$	δ_P	
	[mA]		[mA]	[%]	[mA]		[mA]	[%]	
úsporný režim (Stop)	0,000	mA	0,0003	±(1,0+0,008%)	0,005	mA	0,0004	±(1,0+0,008%)	
IR vysílání	9,1	mA	0,1	±(1,0+0,008%)	8,01	mA	0,08	±(1,0+0,008%)	
IR příjem	3,18	mA	0,03	±(1,0+0,008%)	8,02	mA	0,08	±(1,0+0,008%)	
LCD podsvícení zapnuto	143	mA	1	±(1,0+0,008%)	8,03	mA	0,08	±(1,0+0,008%)	
aktivní režim	2,79	mA	0,03	±(1,0+0,008%)	8,01	mA	0,08	±(1,0+0,008%)	
USB komunikace	2,79	mA	0,03	±(1,0+0,008%)	8,7	mA	0,1	±(1,0+0,008%)	

Tab. 3: Naměřené hodnoty napájecího proudu

$$\left|\Delta_P\right| = \frac{\left|I_{DD}\cdot\delta_M\right| + \left|I_R\cdot\delta_R\right|}{100} = \frac{\left|8{,}7\cdot 10^{-3}\cdot 1\right| + \left|40\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}008\right|}{100} = 0{,}1mA \qquad (6)$$



Obr. 33: Schéma zapojení pro měření napájecího proudu

5 SOFTWAROVÁ ČÁST

Jedná se o dva programy, první je program pro mikrokontrolér a druhý uživatelská aplikace v PC.

Program pro mikrokontrolér zpracovává signály z IR přijímačů, kvůli univerzálnosti PDO (mohlo napodobit, co nejvíce ovladačů od nejrůznějších domácích spotřebičů) průběh přijímaného signálu vzorkuje, získané vzorky uloží a potom při vysílání zrekonstruuje. Dále pomocí uživatelského rozhraní lze nastavit datum a čas, kdy má zařízení vyslat uložený příkaz. Komunikace mezi PDO a PC zajišťuje USB sběrnice. Časový harmonogram vytvořený v PC aplikaci uloží do paměti mikrokontroléru stejně jako akce vytvořené přes rozhraní přímo v PDO. PDO je plně ovladatelné přes uživatelské rozhraní. Program pro mikrokontrolér je psán v jazyce C.

PC aplikace umožňuje totéž jako uživatelské rozhraní v PDO. Výhoda aplikace spočívá v jednodušším a uživatelsky přívětivějším prostředí (všechny funkce lze vykonat stisknutím tlačítek v okně aplikace). PC aplikace je Windows Forms Application (.NET Framework 4) vytvořená v Microsoft Visual Studio 2010, psaná v jazyce C++.

5.1 Uložení akce

Zadaný časový okamžik vyslání průběhu tlačítka je reprezentován instancí třídy Akce v PC aplikaci nebo proměnnou struktury AKCE definovanou v programu pro mikrokontrolér PDO. Formát uložení data a času byl zvolen k úspoře paměti mikrokontroléru. Třída Akce (programovací jazyk C++) a struktura AKCE (programovací jazyk C) obsahují stejné prvky:

```
char* nazev;
unsigned int datum_cas;
unsigned short cas;
Tlacitko *prikaz;
```

`char* nazev` – ukazatel na řetězec názvu akce (kvůli velikosti použitého LCD displeje je omezen název akce na 16 znaků).

`unsigned int datum_cas` – proměnná pro uložení data a času.

datum_cas[0:4] – hodiny v rozsahu 0 až 23,

datum_cas[5:19] – rok v rozsahu 0 až 9999,

datum_cas[20:23] – měsíc v rozsahu 1 až 12,

datum_cas[24:28] – den v rozsahu 1 až 31,

datum_cas[29:31] – den v týdnu v rozsahu 1 (pondělí) až 7 (neděle).

`unsigned short cas` – proměnná pro uložení času.

cas[0:5] – sekundy v rozsahu 0 až 59,

cas[6:11] – minuty v rozsahu 0 až 59,

cas[12] – letní čas (0 - zimní čas, 1 – letní čas).

`Tlacitko *prikaz` – ukazatel na instanci třídy Tlacitko, ve které je uložen průběh tlačítka získaný z dálkového ovladače.

5.2 Uložení tlačítka

Získaný průběh tlačítka z dálkového ovladače je reprezentován instancí třídy Tlacitko v PC aplikaci nebo proměnnou struktury PRIKAZ definovanou v programu pro mikrokontrolér PDO. Třída Tlacitko (programovací jazyk C++) a struktura PRIKAZ (programovací jazyk C) obsahují stejné prvky:

```
char *nazev;
unsigned short delka;
unsigned short *prikaz;
unsigned char special;
unsigned char opakovat;
```

`char* nazev` – ukazatel na řetězec názvu tlačítka (kvůli velikosti použitého LCD displeje je omezen název tlačítka na 16 znaků).

`unsigned short *prikaz` – ukazatel na pole hodnot reprezentující počet navzorkovaných log. 0 nebo log. 1 z časového průběhu signálu získaného vybraným IR přijímačem. První hodnota představuje začátek vzorkování (rozsvícení IR LED diody).

unsigned short delka – počet prvků v poli *prikaz.

`unsigned char special` – vlastnosti časového průběhu.

special[0:1] – nosná frekvence signálu (0 – 36 kHz, 1 – 38 kHz, 2 – 40 kHz, 3 – 56 kHz),

special[2:4] – určuje IR LED diodu podle vlnové délky vyzařovaného světla (0 – 850 nm, 1 – 870 nm, 2 - 880 nm, 3 – 940 nm, 4 – 950 nm),

special[5:7] – vyhrazeno pro dekódovaný IR protokol dálkového ovladače (nepoužito, 0 – vzorkování časového průběhu).

`unsigned char opakovat` – počet opakování vyslání časového průběhu (0 – časový průběh se posílá pouze jednou).

5.3 Příjem IR signálu

Uložení signálu tlačítka dálkového ovladače je realizováno vzorkováním výstupu vybraného IR přijímače konstantní periodou vzorkování 10 μs. Na začátku vzorkování se inkrementuje první hodnota v poli `*prikaz` a to se opakuje s odstupem určeným periodou vzorkování dokud se na výstupu IR přijímače nezmění logická úroveň. Celý proces vzorkování trvá 300 ms. Poté se v poli, které obsahuje doby trvání logických jedniček a nul vyhledá maximální hodnota a ta se prohlásí za dobu trvání mezery mezi opakováním příkazu nebo jeho částí viz Přenosové protokoly. Následně se pole prochází od poslední položky a hledá stejnou hodnotu jako maximální v toleranci ±5 %. Jakmile je hodnota nalezena, hledání se ukončí, délka pole se zmenší (poslední prvek pole je právě nalezená hodnota). Tato úprava je nutná z toho důvodu, že vzorkování může skončit během příjmu příkazu a při volbě opakovaného vysílání by na konci každého vyslání byla jen část příkazu tlačítka.

Nepodařilo se realizovat automatický výběr nosné frekvence IR signálu, kdy mikrokontrolér vzorkuje výstupy všech IR přijímačů a následným porovnáváním vybere jeden průběh a tím i nosnou frekvenci. IR přijímače, které se mají lišit právě nosnou frekvencí přijímaného optického signálu, zpracovávají i signály modulované na jinou nosnou frekvenci. Z tohoto důvodu musí výběr učinit uživatel.

5.4 Vysílání příkazu

Mikrokontrolér pin, připojený k IR vysílači, střídavě nastavuje do log. 1 nebo log. 0. Doby trvání jednotlivých logických úrovní jsou uloženy v poli `*prikaz`. V případě, kdy má být na pinu log. 1 (IR LED dioda svítí), mikrokontrolér signál moduluje na nosnou frekvenci (se střídou ¼) zvolenou již při příjmu.

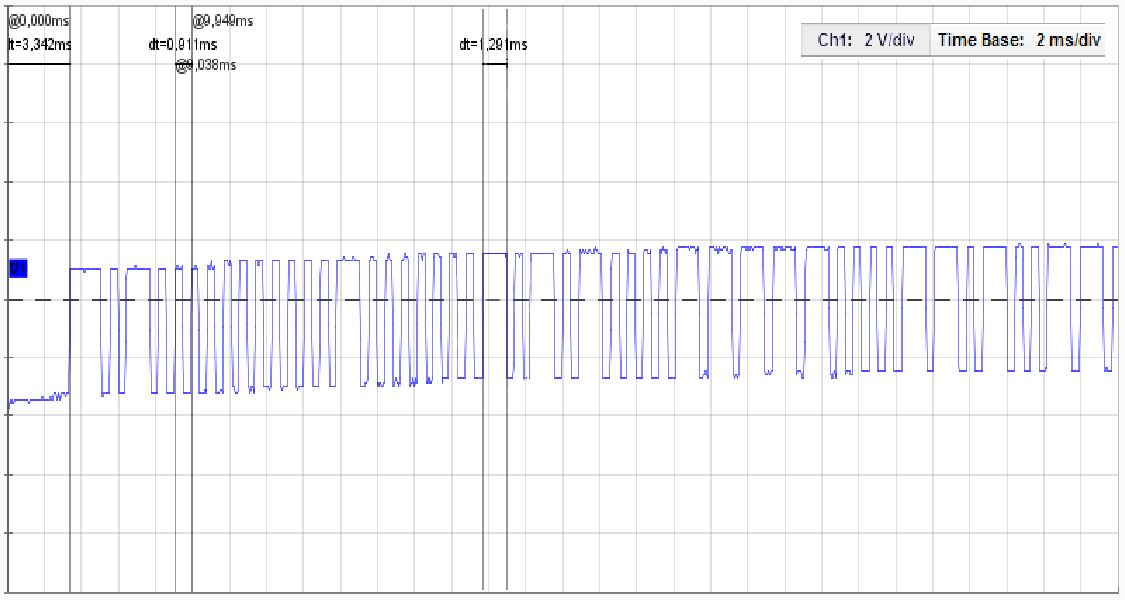
Způsob vysílání, kdy se signál postupně posílá na všechny IR vysílače se neosvědčil. Bylo experimentálně zjištěno, že některé spotřebiče reagují na všechny nebo na více použitých vlnových délek záření z IR spektra a příkaz poslaný jednou provedou vícekrát (až pětkrát).

Vysílání na všech použitých vlnových délkách (všechny IR vysílače pracují) současně bylo zavrženo kvůli riziku vzájemného rušení IR vysílačů navzájem.

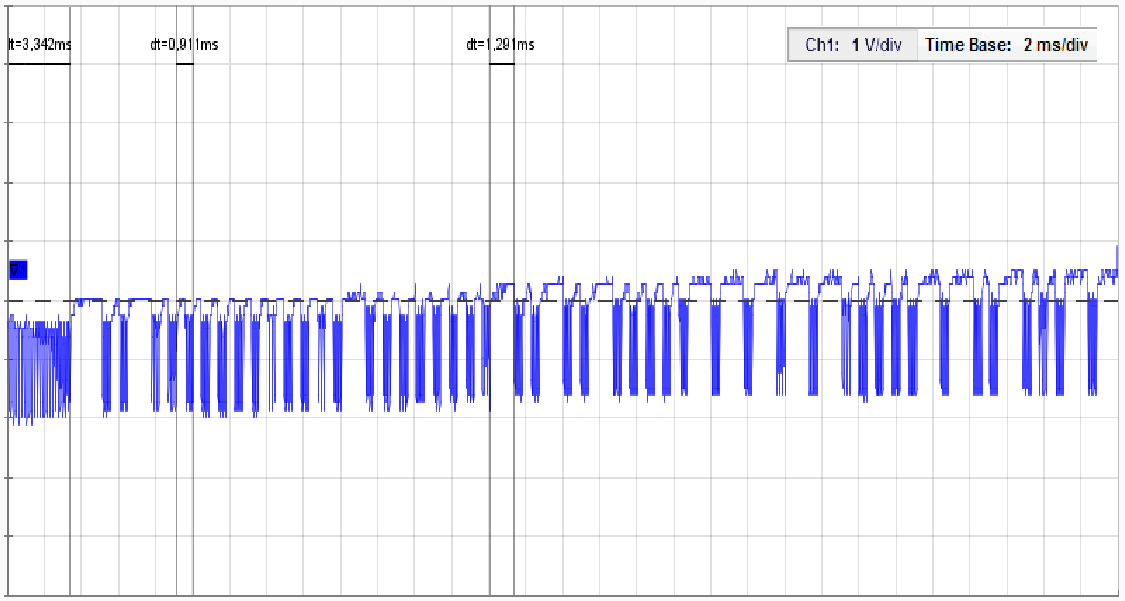
Proto již při příjmu uživatel zvolí IR vysílač (na základě vlnové délky), kterým se signál bude vysílat.

5.4.1 Srovnání originálního dálkového ovladače a PDO

Na Obr. 34 je zobrazen časový průběh signálu tlačítka Play/Stop získaný z dálkového ovladače rádia Panasonic RX-D25. Nosnou frekvenci signálu odstranil IR přijímač PDO. Na Obr. 35 je stejný signál vyslaný PDO (nosná frekvence je 36 kHz). Měřeno osciloskopickou sondou USBscope50.



Obr. 34: Originální dálkový ovladač, rádio Panasonic RX-D25



Obr. 35: Průběh signálu vyslaný PDO

5.5 Režim nízkého příkonu

Po stisknutí tlačítka * nebo po deseti minutách nečinnosti přechází mikrokontrolér do režimu nízkého příkonu konkrétně do režimu *Stop*. Během tohoto režimu zůstávají zapnuty paměti SRAM a FLASH, RTC a GPIO port B. Jako zdroj hodin je použit vnitřní oscilátor (*MSI – Internal Multi Speed oscillator*), frekvence je nastavena na 65 kHz. Návrat umožňuje přerušení od RTC alarmu nebo stisknutí tlačítka D.

5.6 Uložení časového rozvrhu

Časový rozvrh akcí, vytvořený v PC aplikaci nebo nahraný z PDO, PC aplikace načítá při spuštění a ukládá při ukončení do XML souboru *rozvrh.xml* vždy ve stejném formátu. Strom XML dokumentu vypadá následovně:

```
<schedule>
   <action>
         <name> </name> - název akce
         <date></date> - datum akce
         <commandname></commandname> - název tlačítka
         <commandlength></commandlength> -unsigned short delka
         <command></command> - unsigned short *prikaz
         <commandspecial></commandspecial>-unsigned char special
         <commandrepeate></commandrepeate>-unsigned char opakovat
  </action>
</schedule>
```

5.7 Uložení seznamu tlačítek

Seznam všech tlačítek získaných od používaných dálkových ovladačů PC aplikace načítá při spuštění a ukládá při ukončení do XML souboru *tlacitka.xml* vždy ve stejném formátu. Strom XML dokumentu vypadá následovně:

```
<buttonlist>
   <button>
         <commandname></commandname> - název tlačítka
         <commandlength></commandlength> - unsigned short delka
         <command></command> - unsigned short *prikaz
         <commandspecial></commandspecial> - unsigned char special
         <commandrepeate></commandrepeate> - unsigned char opakovat
   </button>
</buttonlist>
```

5.8 Komunikace mezi PDO a PC

Komunikace mezi PDO a PC je realizována, jak už bylo zmíněno, USB rozhraním. Firma STMicroelectronics poskytuje PC ovladače pro viruální sériový port (RS-232) a proto vytvořená PC aplikace komunikuje s PDO pomocí knihoven a funkcí (jazyk C++) pro sériový port. Ovladače podporují tyto operační systémy: Windows 98SE, 2000, XP, Vista, Seven (x86 a x64 Windows platformy).

Pro mikrokontrolér STM32L151C8 výrobce vytvořil funkce v jazyce C, díky nimž se připojený mikrokontrolér do USB portu PC, po instalaci ovladačů, jeví jako sériový port. Tyto funkce jsou použity v programu pro mikrokontrolér PDO.

PDO se může od USB sběrnice odpojit softwarově (bez odpojení kabelu uživatelem) nastavením pinu *PA5* do log. 0 (viz Obr. 28). Tohoto se využívá při přechodu PDO do úsporného režimu.

BaudRate	**115200**
DataBits	8
DiscardNull	False
DtrEnable	False
Handshake	None
Parity	None
ParityReplace	63
PortName	COM1
ReadBufferSize	**10240**
ReadTimeout	**1000**
ReceivedBytesThreshold	1
RtsEnable	False
StopBits	One
WriteBufferSize	**10240**
WriteTimeout	-1

Obr. 36: Parametry virtuálního sériového portu

5.9 Komunikační protokol

Ke komunikaci mezi aplikací v PC a PDO je definován komunikační protokol. Jedná se o binárně orientovaný protokol, formát protokolu a seznam příkazů je zobrazen níže.

počet Bytů[0:7]	počet Bytů[8:15]	příkaz	příkaz negace	data	konec 0xFF	konec negace 0x00
1B	1B	1B	1B	xB	1B	1B

Tab. 4: Formát komunikačního protokolu

Příkaz v pořádku 0x00	Chybný příkaz 0x01	Aktualizace data a času 0x02	Nahrát rozvrh 0x03	Poslat akci 0x04	Nahrát tlačítko 0x05
0x06	0x06	0x0F	0x06	počet Bytů[0:7]	0x07
0x00	0x00	0x00	0x00	počet Bytů[8:15]	0x00
0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05
0xFF	0xFE	0xFD	0xFC	0xFB	0xFA
0xFF	0xFF	rok[0:7]	0xFF	datum_cas[0:7]	Tlacitko.special
0x00	0x00	rok[8:15]	0x00	datum_cas[8:15]	0xFF
		měsíc		datum_cas[16:23]	0x00
		den		datum_cas[24:31]	
		den v týdnu		cas[0:7]	
		hodina		cas[8:15]	
		minuta		index tlačítka[0:7]	
		sekunda		index tlačítka[8:15]	
		letní čas		Akce.nazev	
		0xFF		0xFF	
		0x00		0x00	

Tab. 5: Seznam příkazů část 1

Poslat tlačítko 0x06	Paměť plná 0x07	Paměť prázdná 0x08	Nahrát akci 0x09	Smazat rozvrh a seznam tlačítek 0x0A	Inicializace 0x0B	Poslat seznam tlačítek 0x0C
počet Bytů[0:7]	0x06	0x06	0x06	0x06	0x06	0x08
počet Bytů[8:15]	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00
0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C
0xF9	0xF8	0xF7	0xF6	0xF5	0xF4	0xF3
Tlacitko.delka[0:7]	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	0xFF	počet tlačítkek[0:7]
Tlacitko.delka[8:15]	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	počet tlačítkek[8:15]
Tlacitko.special						0xFF
Tlacitko.opakovat						0x00
Tlacitko.prikaz[0:7]						
Tlacitko.prikaz[8:15]						
Tlacitko.nazev						
0xFF						
0x00						

Tab. 6: Seznam příkazů část 2

Poslat rozvrh 0x0D	Nahrát seznam tlačítek 0x0E
0x08	0x06
0x00	0x00
0x0D	0x0E
0xF2	0xF1
počet akcí[0:7]	0xFF
počet akcí[8:15]	0x00
0xFF	
0x00	

Tab. 7: Seznam příkazů část 3

- Příkaz v pořádku – odpověď, že příkaz byl v pořádku vykonán.
- Chybný příkaz – odpověď, že příkaz nebyl v pořádku vykonán.
- Aktualizace data a času – provede aktualizaci data a času PDO.
- Nahrát rozvrh – požadavek zaslání časového rozvrhu akcí.
- Poslat akci – příkaz posílá akci.
- Nahrát tlačítko – požadavek o poslání tlačítka ovladače, pokud nepředcházel příkaz Nahrát seznam tlačítek, jedná se o vytvoření nového tlačítka, jinak se posílá tlačítko ze seznamu tlačítek v PDO.
- Poslat tlačítko – příkaz posílá tlačítko, pokud nepředcházel příkaz Poslat seznam tlačítek, jedná se o testování tlačítka, jinak se uloží do seznamu tlačítek.
- Paměť plná – příkaz signalizuje plnou paměť.
- Paměť prázdná – příkaz signalizuje prázdnou paměť.
- Nahrát akci – požadavek o poslání akce.
- Smazat rozvrh a seznam tlačítek – příkaz smazání časového rozvrhu a seznamu tlačítek z paměti PDO.
- Inicializace – příkaz pro ověření připojení PDO k PC (odpověď PDO je Příkaz v pořádku).
- Poslat seznam tlačítek – signalizuje, že následující tlačítka se mají ukládat do seznamu tlačítek.
- Poslat rozvrh – inicializuje přenos časového rozvrhu akcí.
- Nahrát seznam tlačítek – požadavek zaslání seznamu tlačítek.

5.10 Manuál k obsluze Programovatelného dálkového ovládání

Po zapnutí přístroje se zobrazí datum a čas. Tlačítkem # uživatel prochází hlavní nabídkou PDO.

Hlavní nabídku tvoří:

1. Vytvoření akce,
2. Aktualizace data a času,
3. Smazání akce,
4. Nahrát tlačítko,
5. Test tlačítka,
6. Smazání tlačítka,
7. Nastavení.

Volba jednotlivých položek nabídky se provádí stiskem příslušné klávesy (např.: stisknutí klávesy 1 vyvolá Vytvoření akce). Stisknutím tlačítka * přejde PDO do úsporného režimu šetření energie z baterií.

5.10.1 Vytvoření akce

Po zobrazení nápisu na LCD displeji ,,Zadejte rok:“ zadejte na klávesnici rok právě vytvářené akce ovládání spotřebiče (nutné zadat ve formátu rrrr např.: 2012).

Poté PDO automaticky přechází na určení měsíce, po zobrazení ,,Zadejte měsíc:“ zadejte na klávesnici měsíc ve formátu mm (např.: únor – 02).

Následně zadejte den v měsíci a den v týdnu vykonání akce (na LCD displeji se zobrazí nápis ,,Zadejte den:“) ve formátu ddd (např.: 16. Pondělí – 161).

Následuje zadání hodiny, po zobrazení ,,Zadejte hodinu:“ zadejte hodinu ve 24 hodinovém formátu hh (např.: 7 hodin ráno – 07).

Následuje zadání minut, po zobrazení ,,Zadejte minuty:“ zadejte minuty ve formátu mm (např.: 5 minut – 05).

Následuje výběr tlačítka ovladače ze seznamu uloženého v paměti PDO. Po zobrazení ,,Seznam tlačítek“ tlačítkem # se posouváte v seznamu tlačítek. Volbu konkrétního tlačítka ovladače provedete stiskem tlačítka A.

Výběrem tlačítka se Vytvoření akce ukončí a PDO se vrátí do hlavní nabídky. Ukončit Vytvoření akce můžete kdykoliv stiskem tlačítka *.

5.10.2 Aktualizace data a času

Aktualizace data a času PDO se provádí obdobně jako Vytvoření akce.

Po zobrazení nápisu na LCD displeji ,,Zadejte rok:“ zadejte na klávesnici aktuální rok (nutné zadat ve formátu rrrr např.: 2012).

Poté PDO automaticky přechází na určení měsíce, po zobrazení ,,Zadejte měsíc:“ zadejte na klávesnici měsíc ve formátu mm (např.: únor – 02).

Následně zadejte den v měsíci a den v týdnu (na LCD displeji se zobrazí nápis ,,Zadejte den:“) ve formátu ddd (např.: 16. Pondělí – 161).

Následuje zadání hodiny, po zobrazení ,,Zadejte hodinu:“ zadejte hodinu ve 24 hodinovém formátu hh (např.: 7 hodin ráno – 07).

Následuje zadání minut, po zobrazení ,,Zadejte minuty:“ zadejte minuty ve formátu mm (např.: 5 minut – 05).

Následuje zadání sekund, po zobrazení ,,Zadejte sekundy:“ zadejte sekundy ve formátu ss (např.: 5 sekund – 05).

Po ukončení Aktualizace data a času se PDO vrátí do hlavní nabídky. Ukončit Aktualizace data a času můžete kdykoliv stiskem tlačítka *.

5.10.3 Smazání akce

Výběr akce začíná nápisem na LCD displeji ,,Rozvrh akcí“, v případě prázdného časového rozvrhu akcí se zobrazí ,,Prázdná paměť“.

Procházejte rozvrh tlačítkem #, smazání vybrané akce proveďte tlačítkem A. Smazání akce můžete kdykoliv ukončit tlačítkem *.

5.10.4 Nahrát tlačítko

Slouží k nahrání tlačítka ovladače do paměti PDO. Nejprve se zobrazí nápis ,,Zadejte frekvenci“ určující nosnou frekvenci signálu, stiskem tlačítka 1 až 4 vyberte nosnou frekvenci signálu:

1 – 36 kHz,

2 – 38 kHz,

3 – 40 kHz,

4 – 56 kHz.

Po zobrazení ,,Zmáčkněte tlačítko“ nasměrujte dálkový ovladač na IR přijímače a zmáčkněte tlačítko, které chcete uložit.

Po zobrazení ,,Příjem signálu“ stiskem tlačítka # přejdete na volbu vlnové délky. Nejprve se zobrazí nápis ,,Zadejte vlnovou délku“ , stiskem tlačítka 1 až 5 vyberte vlnovou délku optického signálu:

1 – 850 nm,
2 – 870 nm,
3 – 880 nm,
4 – 940 nm,
5 – 950 nm.

Poté PDO automaticky požádá o zadání počtu opakování určující počet opakování vyslání optického signálu. Zobrazí se ,,Zadejte počet opakování“ a klávesou 0 až 9 volíte počet opakování (0krát až 9krát).

Stisknutím tlačítka # přejdete do testování tlačítka, zobrazí se ,,Test?“ a po stisku tlačítka # se uložené tlačítko ovladače zkušebně odešle pro testování správnosti uložení průběhu získaného z dálkového ovladače. Poté PDO přejde do hlavní nabídky. Nahrát tlačítko můžete kdykoliv ukončit tlačítkem *.

5.10.5 Test tlačítka

Test tlačítka probíhá obdobně jako Nahrát tlačítko. Slouží k testu získání průběhu tlačítka z dálkového ovladače. Nejprve se zobrazí nápis ,,Zadejte frekvenci“ určující nosnou frekvenci signálu, stiskem tlačítka 1 až 4 vyberte nosnou frekvenci signálu:

1 – 36 kHz,
2 – 38 kHz,
3 – 40 kHz,
4 – 56 kHz.

Po zobrazení ,,Zmáčkněte tlačítko“ nasměrujte dálkový ovladač na IR přijímače a zmáčkněte tlačítko, které chcete testovat.

Po zobrazení ,,Příjem signálu“ stiskem tlačítka # přejdete na volbu vlnové délky. Nejprve se zobrazí nápis ,,Zadejte vlnovou délku“ , stiskem tlačítka 1 až 5 vyberte vlnovou délku optického signálu:

1 – 850 nm,
2 – 870 nm,
3 – 880 nm,
4 – 940 nm,
5 – 950 nm.

Poté PDO automaticky požádá o zadání počtu opakování určující počet opakování vyslání optického signálu. Zobrazí se „Zadejte počet opakování“ a klávesou 0 až 9 volíte počet opakování (0krát až 9krát).

Stisknutím tlačítka # přejdete do testování tlačítka, zobrazí se „Test?“ a po stisku tlačítka # se tlačítko ovladače zkušebně odešle pro testování správnosti uložení průběhu získaného z dálkového ovladače. Poté PDO přejde do hlavní nabídky. Test tlačítka můžete kdykoliv ukončit tlačítkem *.

5.10.6 Smazat tlačítko

Výběr tlačítka začíná nápisem na LCD displeji „Seznam tlačítek“, v případě prázdného seznamu tlačítek se zobrazí „Prázdná paměť“.

Procházejte seznamu tlačítek tlačítkem #, smazání vybraného tlačítka proveďte tlačítkem A. Smazání tlačítka můžete kdykoliv ukončit tlačítkem *.

5.10.7 Nastavení

Procházet v nastavení můžete tlačítkem #. Vrátit se do hlavní nabídky lze tlačítkem *. Položka nastavení obsahuje:

LCD podsvícení
klávesa 1 zapne podsvícení LCD displeje,
klávesa 0 vypne podsvícení LCD displeje.
Smazat rozvrh
klávesou A smažete časový rozvrh akcí.
Letní čas
klávesa 1 nastavíte letní čas (+ 1 hodina),
klávesa 0 nastavíte zimní čas (- 1 hodina).

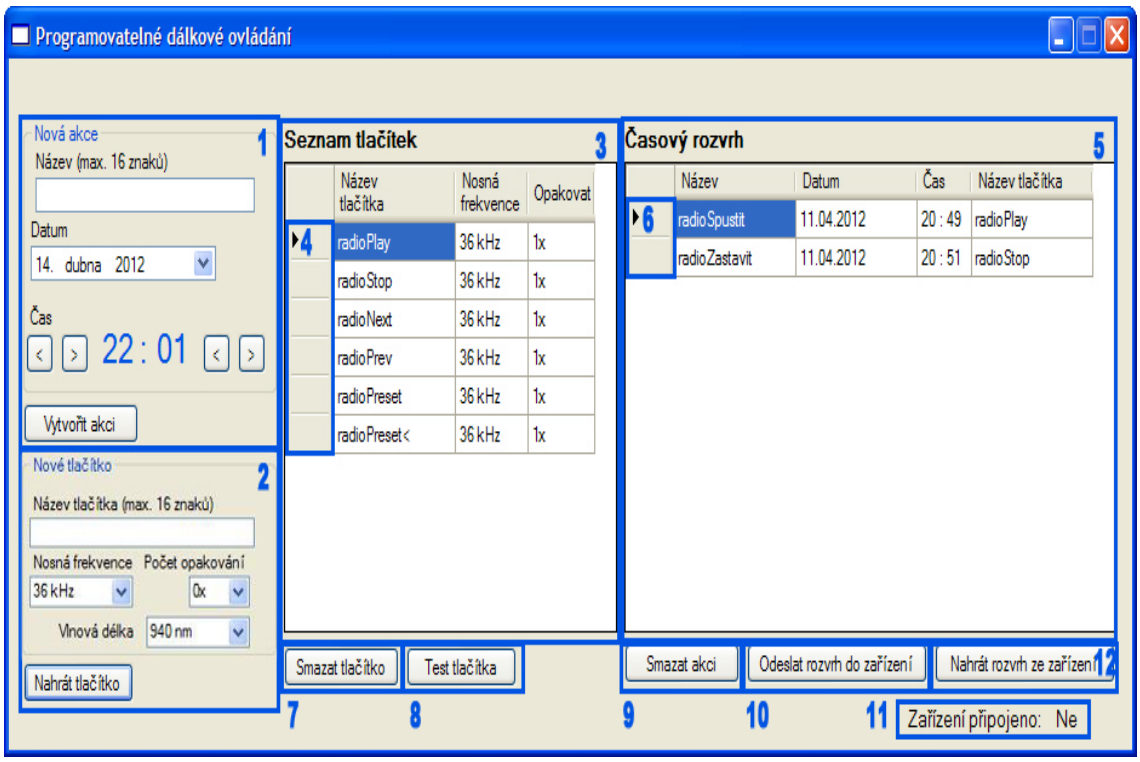
5.10.8 Úsporný režim

Úsporný režim snižuje spotřebu elektrické energie z baterií. V tomto režimu je vypnut LCD displej a IR přijímače. Mikrokontrolér je nastaven do režimu nízkého příkonu. Všechna data a nastavení zůstávají uloženy v paměti a po návratu z úsporného režimu jsou opět k dispozici.

Přejít do úsporného režimu lze z hlavní nabídky stisknutím tlačítka * nebo PDO do něho automaticky přechází po deseti minutách nečinnosti. Návrat umožňuje tlačítko D.

5.11 Manuál k obsluze PC aplikace

PC aplikace slouží k ovládání PDO připojeného k PC pomocí sběrnice USB. Dále k ukládání časového rozvrhu akcí a databáze kódů tlačítek získaných z dálkových ovladačů do souborů *rozvrh.xml* a *tlacitka.xml*.



Obr. 37: Uživatelská PC aplikace

1. **Nová akce** – tato skupina položek slouží k vytvoření nové akce ovládání spotřebiče. Pokud položky nejsou po spuštění aplikace zobrazeny klikněte na tlačítko **Vytvořit akci** a položky se zobrazí. Do textového políčka **Název** napište název akce (maximálně 16 znaků kvůli velikosti LCD displeje PDO). Nastavte datum akce v položce **Datum** a šipkami čas akce. Potvrďte vytvoření akce opětovným kliknutím na tlačítko **Vytvořit akci** (způsobí skrytí všech položek kromě tlačítka **Vytvořit akci**).
2. **Nové tlačítko** – tato skupina položek slouží k nahrání tlačítka dálkového ovladače do paměti PC. Pokud položky nejsou po spuštění aplikace zobrazeny klikněte na tlačítko **Nahrát tlačítko** a položky se zobrazí. Zadejte název tlačítka do textového políčka **Název tlačítka** (maximálně 16 znaků kvůli velikosti LCD displeje PDO). Vyberte ze seznamu **Nosná frekvence** nosnou frekvenci optického signálu, **Vlnová délka** vlnovou délku optického

signálu a ve seznamu **Počet opakování** zvolte počet opakování vyslání tlačítka dálkového ovladače. Nahrání tlačítka spusťte kliknutím na tlačítko **Nahrát tlačítko**, poté nasměrujte dálkový ovladač na IR přijímače PDO a stiskněte tlačítko. Po úspěšném uložení dat do paměti se všechny položky kromě tlačítka **Nahrát tlačítko** skryjí.

3. **Seznam tlačítek** – zobrazuje seznam tlačítek uložených v paměti PC. Výběr konkrétního tlačítka umožňuje kliknutí na hlavičku v seznamu.
4. **Hlavička seznamu tlačítek** – slouží pro výběr tlačítka.
5. **Časový rozvrh** – zobrazuje časový rozvrh akcí dálkového ovládání spotřebičů uložených v paměti PC. Výběr konkrétní akce umožňuje kliknutí na hlavičku v seznamu.
6. **Hlavička časového rozvrhu** – slouží pro výběr akce.
7. **Smazat tlačítko** – tlačítko pro smazání vybraného tlačítka ze seznamu tlačítek.
8. **Test tlačítka** – tlačítko pro zkušební odeslání vybraného tlačítka ze seznamu tlačítek.
9. **Smazat akci** – tlačítko pro smazání vybrané akce z časového rozvrhu.
10. **Odeslat rozvrh do zařízení** – tlačítko pro uložení časového rozvrhu akcí do paměti PDO.
11. **Zařízení připojeno** – signalizuje připojení PDO k PC pomocí sběrnice USB.
12. **Nahrát rozvrh ze zařízení** – tlačítko pro nahrání časového rozvrhu akcí z paměti PDO.

6 ZÁVĚR

Vytvořil jsem programovatelné dálkové ovládání pro automatické ovládání domácích spotřebičů. Zařízení jsem sestavil a otestoval na nepájivém kontaktním poli, použil jsem vývojový kit STM32L-DISCOVERY od firmy STMicroelectronics, program pro mikrokontrolér jsem napsal v jazyce C ve vývojovém prostředí Atollic TrueSTUDIO Lite 2.2.0 (nenašel jsem žádné vývojové prostředí pro mikrokontrolér STM32L151C8, které by bylo zdarma). PC aplikace je Windows Forms Application (.NET Framework 4) vytvořená v Microsoft Visual Studio 2010, psaná v jazyce C++.

Po prostudování IR přenosových protokolů a po experimentálním ověření, jestli dálkové ovladače dodržují přenosové protokoly, jsem se rozhodl signál z dálkových ovladačů nedekódovat, ale průběh signálu vzorkovat, uložit a poté při vysílání rekonstruovat. Tento způsob uložení příkazu tlačítka sice spotřebuje více paměti mikrokontroléru, ale je univerzální. PDO obsahuje více IR přijímačů (rozdílných nosnou frekvencí přijímaného IR záření) a více IR vysílačů (IR LED diod lišících se vlnovou délkou emitovaného záření) kvůli univerzálnosti PDO. Jak jsem popsal v kapitolách Příjem IR signálu a Vysílání příkazu, nepodařilo se mi realizovat automatický výběr nosné frekvence a vlnové délky optického signálu, a proto tento krok musí učinit uživatel. Pro případné další použití by šlo vypustit všechny IR LED diody kromě IR LED diody o vlnové délce emitovaného záření 940 nm, protože jsem se nesetkal se spotřebičem, který nereagoval na tuto IR LED diodu.

Časový rozvrh akcí a seznam tlačítek program pro mikrokontrolér ukládá do paměti SRAM (velikost paměti 10 kB). Seznam tlačítek, časový rozvrh a aktuální datum a čas se po přechodu mikrokontroléru do režimu nízké spotřeby zálohují do paměti EEPROM (velikost paměti 4 kB). V případě výpadku napájení (např.: výměna baterií) dojde ke ztrátě dat kromě zálohovaných v paměti EEPROM. PC aplikace ukládá časový rozvrh do XML souboru *rozvrh.xml* a seznam tlačítek do XML souboru *tlacitka.xml*.

Mikrokontrolér STM32L151C8 nemá obvod RTC zálohovaný, při výpadku napájení dojde k resetování obvodu RTC a datum a čas se načte z paměti EEPROM, tím dojde ke zpoždění aktuálního data a času.

Funkci PDO jsem ověřil na těchto spotřebičích: rádio Panasonic RX-D25, rádio Aiwa NSX-R17, televize Panasonic Viera TX-26LXD70F, DVD přehrávač Philips DVP3142, televize Tesla TTLS2110TS, set top box ECG DVT 950 PVR, televize Grundig Lenaro, set top box EVOLVE DT1505, televize Mascom MC3732S, set top box Topfield DV3, HIFI DAEWOO AMI-308M, ELTA DVD/CD přehrávač 8891 DVDN, televize Panasonic Viera TX-P37C2E, satelitní přijímač TechniSat DigiPlus STR1, rádio Panasonic RX-ES29, DVD přehrávač GoGEN DX303, VCR LG LV4961, set top box Strong SRT5200, televize THOMSON 21MG15ET, televize SAMSUNG LE32C550J1W, set top box Topfield TF6000CR, HIFI Sony CMT-EH15.

Literatura

[1] VÁŇA, Vladimír. *ARM pro začátečníky*. 1. vyd. Praha: BEN, 2009. 195 s. ISBN 978-80-7300-246-61.

[2] MATOUŠEK, David. *Práce s inteligentními displeji LCD: 1. díl*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006. 224 s. ISBN 80-7300-121-7.

[3] BERGMANS, San. *SB-Projects* [online]. ©2001, poslední revize 8.11.2011 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>

[4] *Úvod do architektury Cortex-M3 - díl. 1* [online]. ©2010, poslední revize 10.2.2010 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.pandatron.cz/?1252&uvod_do_architektury_cortex-m3_-_dil._1 >

[5] *Úvod do architektury Cortex-M3 - díl. 2* [online]. ©2010, poslední revize 26.2.2010 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.pandatron.cz/?1281&uvod_do_architektury_cortex-m3_-_dil._2 >

[6] *Úvod do architektury Cortex-M3 - díl. 3* [online]. ©2010, poslední revize 27.4.2010 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.pandatron.cz/?1389&uvod_do_architektury_cortex-m3_-_dil._3 >

[7] *Úvod do architektury Cortex-M3 - díl. 4* [online]. ©2010, poslední revize 10.6.2010 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.pandatron.cz/?1465&uvod_do_architektury_cortex-m3_-_dil._4 >

[8] *Porovnání Cortex M0 a Cortex M3* [online]. ©2010, poslední revize 8.4.2010 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.mcu.cz/news.php?extend.1729.3 >

[9] VOJÁČEK, Antonín. *Porovnání vlastností CPU ColdFire a ARM* [online]. ©2007, poslední revize 26.11.2007 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.hw.cz/teorie-praxe/art2111-porovnani-vlastnosti-cpu-coldfire-arm.html >

[10] ŠÁRA, Zdeněk. *Teorie datového IR přenosu* [online]. ©1998, poslední revize 17.12.1998 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.hw.cz/ART770-Teorie-datoveho-IR-prenosu.html >

[11] ŠÁRA, Zdeněk. *Normy pro IR datový přenos* [online]. ©1999, poslední revize 4.3.1999 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.hw.cz/docs/ir_prenos/ir_protokoly.html >

[12] *Alkaline battery* [online]. ©2011, poslední revize 19.12.2011 [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://en.wikipedia.org/wiki/Alkaline_battery >

[13] *Stellaris Microcontrollers* [online]. ©2011, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.ti.com/mcu/docs/mculuminaryprodsearch.tsp?sectionId=95&tabId=2485&familyId=1755 >

[14] *STM32 - 32 - bit ARM Cortex MCUs* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.st.com/internet/mcu/class/1734.jsp >

[15] *Experience NXP's Cortex-M3 based microcontroller series* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.nxp.com/products/microcontrollers/cortex_m3/ >

[16] *32-bit Microcontrollers Based on ARM® Processor Cores* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://toshiba.com/taec/Catalog/Family.do?familyid=14&subfamilyid=1630134 >

[17] *EFM32 and EFR Products* [online]. ©2007, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.energymicro.com/products/ >

[18] *Fujitsu Cortex-M3* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.fujitsu.com/global/services/microelectronics/product/micom/roadmap/industrial/fm3/ >

[19] *Atmel ARM-based Solutions* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.atmel.com/products/at91/default.asp?source=cms&category_id=163&family_id=605&source=global_nav >

[20] *Step-up 500mA DC-DC Voltage Converter Module* [online]. ©2010, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.sure-electronics.com/goods.php?id=1183 >

[21] *STM32L151xx and STM32L152xx advanced ARM-based 32-bit MCUs* datasheet. STMicroelectronics, 2011, 598 s.

[22] *STM32L151xx STM32L152xx* datasheet. STMicroelectronics, 2011. 111 s.

[23] *Step-up 500mA Module - RT9266* User's Guide. Hsintien City: Sure Electronics, 2010. 10 s.

[24] *TSOP341..* datasheet. Heilbronn: Vishay Semiconductors, 2003. 8 s.

[25] *TSOP348..* datasheet. Heilbronn: Vishay Semiconductors, 2003. 7 s.

[26] *TSOP312..* datasheet. Heilbronn: Vishay Semiconductors, 2003. 9 s.

[27] *LD 274* datasheet. Regensburg: OSRAM Opto Semiconductors, 2007. 7 s.

[28] *TSAL6200* datasheet. Heilbronn: Vishay Semiconductors, 2011. 5 s.

[29] *SFH486* datasheet. Regensburg: OSRAM Opto Semiconductors, 2010. 7 s.

[30] *TSHG6400* datasheet. Heilbronn: Vishay Semiconductors, 2009. 5 s.

[31] *TSFF5410* datasheet. Heilbronn: Vishay Semiconductors, 2008. 5 s.

[32] *PMV16UN* datasheet. NXP Semiconductors, 2011. 16 s.

[33] *NX2301P* datasheet. NXP Semiconductors, 2010. 16 s.

[34] *STM32L-DISCOVERY* User manual. STMicroelectronics, 2011. 35 s.

[35] *PC1602-LRU-FWA-B-Q* datasheet. Taichung: Powertip Corporation, 2005. 22 s.

[36] *PC1602-F* datasheet. Taichung: Powertip Corporation, 2004. 65 s.

[37] PATOČKA, Miroslav, VOREL, Pavel. *Řídicí elektronika - aktivní obvody: 2. díl*. Brno: VUT Brno, skriptum, 2004. 154 s.

[38] *MSDN – Microsoft Developer Network* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://msdn.microsoft.com/ >

[39] *Class template Vector* [online]. ©2012, [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: < http://www.cplusplus.com/reference/stl/vector/ >

[40] *RC CEM DT-9929 True RMS Průmyslový Multimetr* Uživatelský návod. Praha: GM Electronics, 2009. 27 s.

[41] BEJČEK, Ludvík, ČEJKA, Miloslav, REZ, Jiří, GESCHEIDTOVÁ, Eva, STEIBAUER, Miloslav. *Měření v elektrotechnice.* Brno: VUT Brno, skriptum, 2003. 241 s.

Seznam obrázků

Obr. 1: Princip pulsní modulace [11] 12
Obr. 2: Princip FSK modulace [11] 12
Obr. 3: Princip Bi-phase modulace [11] 13
Obr. 4: Princip pulsně šířkové modulace [11] 13
Obr. 5: Kódování jednoho bitu [3] 14
Obr. 6: Časový průběh ITT protokolu [3] 14
Obr. 7: Kódování jednoho bitu [3] 14
Obr. 8: Časový průběh JVC protokolu [3] 15
Obr. 9: Držení tlačítka [3] 15
Obr. 10: Kódování jednoho bitu [3] 15
Obr. 11: Časový průběh NEC protokolu [3] 15
Obr. 12: Držení tlačítka [3] 16
Obr. 13: Opakovací kód (*Repeat*) [3] 16
Obr. 14: Časový průběh Extended NEC protokolu [3] 16
Obr. 15: Kódování jednoho bitu [3] 17
Obr. 16: Časový průběh Sony SIRC protokolu [3] 17
Obr. 17: Kódování jednoho bitu [3] 18
Obr. 18: Časový průběh RC-5 protokolu [3] 18
Obr. 19: Zaváděcí (*Leader*) bit [3] 18
Obr. 20: Normální (*Normal*) bit [3] 18
Obr. 21: Ukončovací (*Trailer*) bit [3] 19
Obr. 22: Mód 0 [3] 19
Obr. 23: Blokové schéma Cortex-M3 [4] 21
Obr. 24: Blokové schéma PDO 25
Obr. 25: 3× AA baterie 26
Obr. 26: Zapojení STM32L151C8 27
Obr. 27: Konektor pro SWD 27
Obr. 28: Mini USB-B konektor 27
Obr. 29: IR přijímače 28
Obr. 30: IR vysílače 30

Obr. 31: LCD displej 31
Obr. 32: Maticová klávesnice 31
Obr. 33: Schéma zapojení pro měření napájecího proudu 32
Obr. 34: Originální dálkový ovladač, rádio Panasonic RX-D25 36
Obr. 35: Průběh signálu vyslaný PDO 36
Obr. 36: Parametry virtuálního sériového portu 38
Obr. 37: Uživatelská PC aplikace 46

Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry IR LED diod 29
Tab. 2: Teoretické hodnoty napájecího proudu 31
Tab. 3: Naměřené hodnoty napájecího proudu 32
Tab. 4: Formát komunikačního protokolu 39
Tab. 5: Seznam příkazů část 1 39
Tab. 6: Seznam příkazů část 2 40
Tab. 7: Seznam příkazů část 3 40

Seznam použitých symbolů, veličin a zkratek

PDO Programovatelné dálkové ovládání

IR Infračervené (infrared)

LED Dioda emitující světlo (*Light-Emitting Diode*)

LCD Displej z tekutých krystalů (*Liquid crystal display*)

BOR *Brown out reset*

FSK *frequency shift keying*

RTC hodiny reálného času (*Real-time clock*)

USB Univerzální sériová sběrnice (*Universal Serial Bus*)

GPIO Univerzální I / O (*General Purpose Input/Output*)

SWD *Serial Wire Debug*

JTAG *Joint Test Action Group*

XML Rozšiřitelný značkovací jazyk (*Extensible Markup Language*)

UART Univerzální asynchronní přijímač/vysílač (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*)

U_R Úbytek napětí na rezistoru [V]

U_F Úbytek napětí na IR LED diodě v propustném směru [V]

$U_{GS(th)}$ Prahové napětí MOSFET tranzistoru [V]

I_{FM} Opakovatelný špičkový proud [A]

I_D Proud elektrodou D (*drain*) MOSFET tranzistoru [A]

R Elektrický odpor [Ω]

λ Vlnová délka elektromagnetického záření [nm]

Ie Intenzita záření [mW/sr]

Φe Vyzařovaný výkon [mW]

Seznam příloh

Příloha 1: Schéma zapojení

Příloha 2: CD/DVD