

Studie aplikace obvodů firmy Microchip v infračerveném dozimetru

The processing electronic module
study for infrared dosimetry

Zdeněk Slovák

Diplomová práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Institut řízení procesů a aplikované informatiky

Vložit oficiální zadání diplomové práce

Úvodem bych chtěl velmi rád poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu ing. Petru Neumannovi Ph. D., za odborný, vstřícný přístup při řešení všech zadaných problémů a veškerou poskytnutou pomoc a spolupráci při řešení diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval/a samostatně a použitou literaturu jsem citoval/a.

Ve Zlíně, 02. 06. 2005

.....

podpis diplomanta

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Infračervené záření může svými účinky negativně ovlivňovat vlastnosti lidského oka. Tato diplomová práce se zabývá mikrokontrolérem PIC od firmy Microchip, použitého v mobilním dozimetru pro měření infračerveného záření a vývojovou deskou PVK od firmy Asix. PIC 16F877A je nízko-příkonový 8-bitový mikroprocesor. PVK40 je vývojová a výuková deska pro mikrokontroléry PIC 16Fxx, 18Fxx se 40 vývody. Široký rozsah vestavěných funkcí, miniaturní provedení modulu a nízká spotřeba energie přispívá k činnosti dlouhou dobu na baterie. Vývojová deska PVK obsahuje všechny obvody pro hlubší nastudování vnitřních periférií mikrokontroléru a několik externích periférií pro experimentování.

Abstrakt ve světovém jazyce

The infrared radiation could influence negatively the human eye. This Master thesis is aimed at the PIC microcontroller by Microchip and the education kit (board) PVK by Asix. PIC 16F877A is a low-power 8-bit microcontroller which is supposed to be applied in an infrared dosimeter mobile module design. PVK40 is the development and education kit for 40-pin microcontroller PIC 16Fxx, 18Fxx. The wide range inbuilt functions, a miniature module design and extremely low energy consumption make it very useful for long term monitoring with one battery load in different even extreme conditions. The board PVK includes all the circuitry necessary for in depth study of most of the microcontroller on-chip peripherals and for experimenting with several external peripherals.

OBSAH

ÚVOD.....	7
1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ.....	8
1.1 Elektromagnetické spektrum	8
1.2 Charakteristika infračerveného záření.....	9
1.2.1 Negativní účinky infračerveného záření	10
1.2.2 Pozitivní účinky infračerveného záření.....	11
1.3 Zdroje infračerveného záření	12
1.3.1 Teplotní zdroje	12
1.3.2 Luminiscenční zdroje	13
1.4 SENZORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ	13
2 VYHODNOCOVACÍ MODUL DOZIMETRU	15
2.1 Princip elektronického modulu	15
2.2 Optické snímače	16
2.2.1 Fotodioda SLD-69IR1	16
2.2.2 Fotodioda TSL26x.....	18
2.2.3 Předzesilovač AD8067 pro SLD-IR691	22
2.3 Vývojová deska PVK40.....	24
2.3.1 Popis periferních obvodů a jejich inicializace	25
2.3.2 Periférie pro zobrazování	27
2.3.3 Periférie pro komunikaci.....	28
3 MIKROPROCESOR.....	29
3.1 Charakteristika PIC16F8xx	29
3.1.1 Základní vlastnosti	29
3.1.2 Technologie CMOS	30
3.1.3 Vnější vlastnosti.....	30
3.1.4 Speciální vlastnosti.....	31
3.1.5 Elektrické parametry.....	32
3.2 Architektura a instrukční cyklus.....	33
3.2.1 Popis vývodů mikrokontroléru PIC 16F8xx	34
3.2.2 Instrukční cyklus a jeho vykonávání	39
3.3 Uspořádání paměti.....	39
3.3.1 Univerzální registry.....	40
3.3.2 Speciální systémové registry.....	41
3.3.3 Zásobník adres STACK	46
3.3.4 Nepřímé adresování a registry INDF a FSR.....	47
3.3.5 Stránkování programové paměti.....	47
3.4 Porty	48
3.4.1 Operační registr W a TRIS registry	48
3.4.2 Port A	49
3.4.3 Port B.....	49
3.4.4 Port C.....	49
3.4.5 Port D	50
3.4.6 Port E.....	50
3.4.7 Synchronní sériový port (SSP).....	50
3.4.8 Paralelní port	50
3.5 Časovací moduly	51
3.5.1 Předdělič.....	51

3.5.2	Modul TIMER 0 (TMR0).....	51
3.5.3	Modul TIMER 1 (TMR1).....	52
3.5.4	Modul TIMER 2 (TMR2).....	53
3.5.5	Modul CCP1 a CCP2.....	53
3.6	SCI – sériová linka	54
3.6.1	Asynchronní režim	54
3.6.2	Synchronní režim master	55
3.6.3	Synchronní režim SLAVE	55
3.7	Modul A/D převodníku	55
3.7.1	A/D převod.....	57
3.7.2	Vysoká rychlost převodu – nízké rozlišení.....	58
3.7.3	Funkce A/D převodníku během stavu SLEEP	59
3.7.4	Vliv RESETu na A/D převod.....	59
3.8	Speciální vlastnosti CPU.....	60
3.8.1	Výběr oscilátoru	62
3.8.2	RESET	63
3.8.3	Přerušení	65
3.8.4	WDT (Watchdog Timer).....	66
3.8.5	Stav SLEEP.....	67
3.8.6	Ochrana programového kódu.....	67
3.8.7	Sériové programování v koncovém zapojení	67
3.8.8	I n-circuit debugger.....	67
3.8.9	ID Locations.....	67
3.9	Popis instrukcí PIC 16F8x	68
4	VÝVOJOVÉ A PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ.....	69
4.1	Vývojové prostředí pro PIC	69
4.1.1	Emulátor MU Beta	70
4.2	Programátor PIQUICK.....	71
4.3	Monitorování stavu aplikací (INSIDER)	71
ZÁVĚR.....		72
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		74
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		75
SEZNAM OBRÁZKŮ		77
SEZNAM TABULEK.....		78

ÚVOD

V lidském těle je cílovým orgánem pro vnímání světla oko. Výzkumem je dokázáno, že fyzikální účinky světla nejsou pouze pozitivní ale také škodlivé. Na lidské oko má negativní účinky infračervená složka denního světla. Zvláště u lidí, kteří trpí myopií (krátkozrakostí), u kterých nedochází k úplné kompenzaci této vady dioptrickými skly. Dioptrická skla úplně nekompenzují lom paprsků vstupujícího záření, tedy ohnisko světelného a také infračerveného záření vstupujícího do oka, není na sítnici, ale vždy před ní -ve sklivci. Záření svými tepelnými účinky způsobuje poškození buněčných struktur, neboť sklivec není teplotně kompenzován tak, jako například sítnice.

V této problematice se nabízí preventivní řešení v podobě filtrace infračervené složky vhodným filtrem zabudovaným do brýlových skel. My jsme se zaměřili na princip měření IR složky vhodným optickým snímačem a převodem této informace na napětí pomocí mikropočítače. Modul umožňuje měření infračerveného záření v různých oblastech lidské činnosti, např. ve velkých nadmořských výškách.

Mikroprocesor od firmy Microchip Inc., je 8-bitový, nízkopříkonový chip, vyznačující se nízkou pořizovací cenou a jednoduchou obsluhou. Mikrokontrolér dovede pracovat dlouhou dobu při napájení z monočlátku, lze s ním provádět okamžité i periodické měření. Měření v periodických intervalech přináší větší energetickou úsporu. Pro měření a zpracování množství infračerveného záření je možné použít jako optické snímače fotodiody TSL26x (s integrovaným zesilovačem) od firmy Texas Instruments, Inc., nebo fotodiody SLD-69IR1 od firmy Siconex, Inc., doplněné o předzesilovač AD8067 firmy Analog Device, Inc.. Pro zobrazení naměřeného množství infračerveného záření jsme použili vývojovou desku PVK40 se čtyřmi sedmisegmentovkami LED (lze připojit externí LCD displej), osazenou mikrokontrolérem PIC16F877A. Pro experimentální ověření jsme sestavili a odladili program pro PVK40 (trimr1).

1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

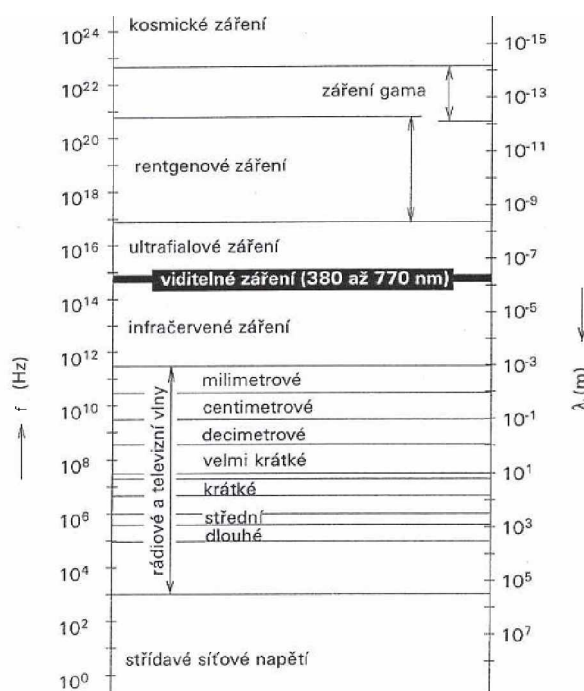
Informace o okolním světě nám poskytuje světlo. Světlo, dle pramene [1, 2], je ta část elektromagnetického záření, která působením na lidské oko vzbuzuje v něm zrakový vjem. Světlo tvoří jen malou část celé škály elektromagnetických vln. Tyto vlny pocházejí z přirozených zdrojů (Slunce a další vyzařující vesmírné objekty), a také ze zdrojů umělých (komunikační a sdělovací zdroje apod.). Infračervené záření (IR), dle pramene, je elektromagnetické vlnění, které má stejnou povahu jako viditelné záření. Infračervené záření tvoří příčné elektromagnetické vlny, které se šíří ve směru záření v homogenních prostředích (vakuum, plyn, kapaliny) a v pevných látkách přímočaře. Infračervené záření, stejně jako viditelné záření, má kromě vlnových vlastností i částicovou povahu.

1.1 Elektromagnetické spektrum

Vlnové délky světla leží přibližně v intervalu od 400nm (fialové světlo) do 750nm (červené světlo). Elektromagnetické vlnění s vlnovými délkami v tomto intervalu umožňuje lidské oko vnímat jako světlo různých barev. Za červeným okrajem spektra viditelného světla, je široká oblast infračerveného záření, které nevidíme, ale vnímáme ho jako tepelné záření. Vysílají ho všechna tělesa kolem nás, zejména však zahřívaná tělesa, i když nemají tak vysokou teplotu, aby svítila (tj. vysílala viditelné světlo). Infračervené záření proniká vzduchem lépe než viditelné světlo, ale pevné látky, zejména kovové, ho také více pohlcují. Třebaže infračervené záření je samo o sobě neviditelné (člověk nemá receptory, kterými by ho přijímal), existují různá zařízení, která umožňují vidět nebo alespoň fotografovat tělesa, která ho generují. Za oblastí infračerveného záření je oblast rádiových vln (využitím se zabývá radiotechnika a sdělovací technika) a oblast střídavých proudů (tu se snaží využívat veškerá elektronika vůbec). Na fialovou stranu viditelné části elektromagnetického spektra navazuje oblast ultrafialového záření.

Ultrafialové záření (UV) je pro nás neviditelné, jeho působení však pociťujeme, protože má intenzivní fyziologické a chemické účinky. Toto záření ionizuje plyny, opaluje pokožku, škodlivě působí na lidské oko. Ultrafialové záření vysílají tělesa zahřátá na vysokou teplotu (několik tisíc stupňů Celsia), například Slunce. Směrem ke kratším vlnovým délkám oblast ultrafialového záření přechází do oblasti rentgenového záření.

Rentgenové záření má ještě intenzivnější fyziologické a chemické účinky než záření ultrafialové. Jeho charakteristickou vlastností je pronikavost. Rentgenové záření proniká více nebo méně (v závislosti na hustotě látky a vlnové délce záření) všemi látkami. Tato vlastnost se v široké míře využívá zejména v lékařství, v metalurgii a při výzkumu struktury pevných látek. Rentgenové záření lze generovat v rentgenových lampách (rentgenky). Na následujícím obrázku je názorné rozdělení spektrálních oblastí elektromagnetického záření podle vlnové délky i kmitočtu.



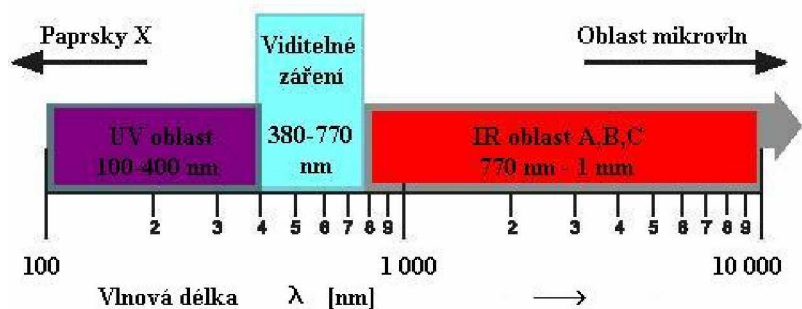
Obr. 1. Hlavní části elektromagnetického spektra [1]

1.2 Charakteristika infračerveného záření

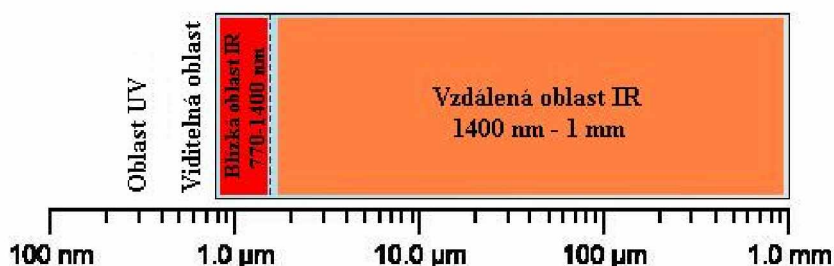
Infračervené záření zabírá v elektromagnetickém spektru podstatně širší část, než viditelné záření. Sousedí s tmavočerveným okrajem viditelného záření (s vlnovou délkou $\lambda = 780$ nm) a s elektromagnetickými vlnami buzenými radiotechnickými zdroji. Spektrální rozsah IR záření je od 780 nm do 1 nm. Podle doporučení CIE (mezinárodní komise pro osvětlování – Commission Internationale de l'éclairage) se v tomto rozsahu klasifikují tři oblasti IR záření:

- IR – A 780 nm až 1400 nm
- IR – B 1400 nm až 3000 nm
- IR – C 3000 nm až 10^6 nm

Infračervené záření se projevuje tepelnými účinky, jejichž zdrojem je jednak sluneční záření a také každé teplé těleso (s teplotou vyšší než absolutní nula, 0°K) včetně umělých zdrojů, kterými jsou třeba infra – žárovky. Na obrázku 2. se nachází struktura infračervené spektrální oblasti optického záření, na obrázku 3. struktura spektrální oblasti IR záření dle CIE.



Obr. 2. Struktura infračervené spektrální oblasti optického záření [1]



Obr. 3. Struktura spektrální oblasti IR záření dle CIE [1]

IR záření snadno prochází vzduchem, mlhou, krystaly kamenné soli, a tenkými vrstvami kovů, méně křišťálem, velmi málo sklem s obsahem oxidů železa, vodou a tepelnými izolanty. IR papřsky jsou nositeli sálavého tepla.

1.2.1 Negativní účinky infračerveného záření

Sluneční záření pronikající na zemský povrch je částečně absorbováno atmosférou, ale infračervená složka proniká relativně volně dál.

Oko si samo filtruje světelné záření. Škodlivé ultrafialové záření - UV, UV - A, UV - B jsou absorbovány rohovkou a čočkou. Avšak viditelné a blízké infračervené záření pronikají relativně volně na sítnici, kde vyvolávají fyzikální procesy. Světlo je zde intenzívně

absorbováno hemoglobinem obsaženým v krevních buňkách, černým melaninem obsaženým v pigmentových buňkách a žlutým pigmentem xantofillem v praefoveolární burse. Tyto chromofory absorbují některé vlnové délky světla a jsou v oku obsaženy ve vysoké koncentraci. Chromofory způsobují de – excitaci excitovaného elektronu – tzv. vnitřní změna , při které je energie záření převedena na tepelnou. Teplo, které tak vzniká, je absorbováno do přilehlých tkání a dále se šíří vedením nebo konvekcí tkáňových tekutin a nebo prouděním krve v sítnici a také žilním systémem. Zvýšená teplota sklivce však může způsobit škodlivou změnu ve struktuře biopolymerických molekul, totiž kolagenu a kyseliny hyaluronové, vedoucí k jejich zkapalnění. Také globální bílkoviny obsahující enzymy jsou citlivé na zvýšení teploty mnohem více než DNA nebo membrány. Spektrální rozsah ultrafialového záření je přibližně od 400nm až asi do 1nm. Podle mezinárodního doporučení CIE se ve zmíněném spektrálním rozsahu věnuje pozornost zejména třem druhům UV záření:

- UV - A 315 až 400 nm
- UV - B 280 až 315 nm
- UV - C 100 až 280 nm

1.2.2 Pozitivní účinky infračerveného záření

IR záření se v současné době používá ve velkém množství v lékařství. Infračervené záření se využívá v lékařství k ohřevu kůže a podkožních vrstev při léčení některých zánětových onemocnění. Záření IR – A proniká pokožkou a má hluboké účinky, rozšiřuje krevní cévy, zlepšuje průtok krve a tedy se oprávněně předpokládá, že urychluje hojivé procesy. Malé dávky ultrafialového záření mají na lidský organismus příznivé, někdy i léčivé účinky: ultrafialové záření podporuje vytváření kožního pigmentu a vitamínu D2, stimuluje řadu důležitých životních funkcí v organismu a ničí některé choroboplodné zárodky. IR záření se používá v lékařství z mnoha dalších důvodů např.:

- Zvyšuje roztažnost kolagenových tkání
- Přímě snižuje kloubní tuhost
- Poskytuje snížení bolesti

- Zvýšení průtoku krve
- Pomáhá při rozkládání zánětlivých infiltrátů a výpotků
- Spalování kalorií a kontrola nadváhy
- Eliminace toxických látek z těla

1.3 Zdroje infračerveného záření

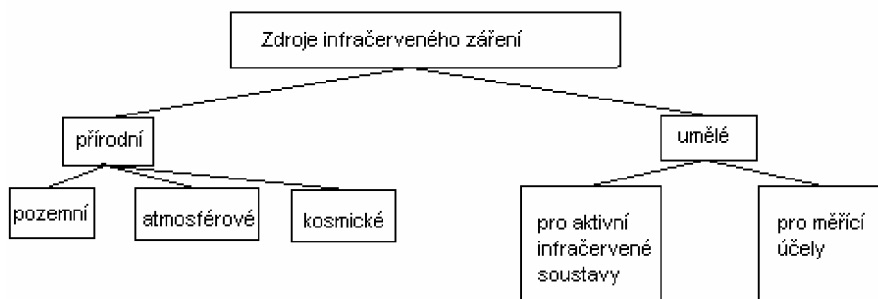
Elementární zdroji infračerveného záření, dle práce [2], jsou atomy a molekuly látky, v nichž toto záření vzniká „kmity“ elektricky nabitých částic. Je-li atom v normálním, nevzbuzeném stavu, nachází se jeho obvodový (optický, valenční) elektron na nejnižší stabilní dráze a jeho energie je nejmenší. Aby atom vydával záření, musí být nejprve vzbuzen (excitován), což znamená, že jeho obvodový elektron musí přejít na vyšší energetickou dráhu. K tomu je nutno dodat atomu potřebnou energii. Děje se to buď absorpcí záření nebo nárazem hmotné částice. Hmotná částice může být buď absorpcí záření nebo nárazem hmotné částice. Hmotná částice může být buď elektricky neutrální nebo nabitá. V prvním případě to mohou být atomy nebo molekuly, přičemž k srážkám může docházet v důsledku zvýšené teploty látky. V druhém případě to může být elektron nebo iont, urychlený elektrickým polem. Podobné poměry platí i pro molekuly, kde infračervené záření vzniká též jejich vibračními a rotačními „kmity“. Skupina zdrojů, u nichž infračervené záření vzniká uvedeným mechanismem, se nazývá zdroje optické. Dle formy energie záření je možno dělit optické zdroje:

- teplotní zdroje
- luminiscenční zdroje

1.3.1 Teplotní zdroje

Infračervená technika, dle [6] používá dnes mnoho zdrojů infračerveného záření, většinou však teplotní zdroje záření, které tvoří různá tělesa (plynné, kapalná, pevná), kterých teplota je vyšší jak 0 K. Klasifikace zdrojů IR záření je na obr.4. Umělé zdroje záření se používají v aktivních infračervených soustavách a jsou východiskem pro měření zářivých veličin. V aktivních infračervených soustavách se používají hlavně žárovky s wolframovým vláknem, halogenové žárovky, středně tepelné a nízkotepelné zářiče na

ohřev, obloukovky, výbojky, zábleskové výbojky, optické kvantové generátory (lasery). Na měření zářivých veličin se používají zdroje, jejichž hodnoty záření musíme přesně poznat, např. dutinový zářič atd..



Obr. 4. Klasifikace zdrojů IR záření [6]

1.3.2 Luminiscenční zdroje

Tuto skupinu tvoří zdroje, u nichž je infračervené záření buzeno absorpcí jiného záření, spádem napětí ve výbojové dráze nebo jinými příčinami, kromě zvýšení teploty. Energie záření je v tomto případě hrazena z jiných forem energie než z energie tepelné. Jako technické zdroje luminiscenční přicházejí v úvahu výhradně elektrické výbojky vydávající převážně spektrum čárové nebo pásové.

1.4 SENZORY INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ

Senzorem infračerveného záření, dle [4,5], rozumíme přístroje a zařízení ke zjišťování a měření tohoto záření. Jsou založeny na fyzikálních jevech, jež vznikají při absorpci záření látkou. Technicky významné jsou pro konstrukci senzorů infračerveného záření tyto čtyři druhy jevů:

- fotochemické
- vyhasínání a vzplanutí fosforescence
- fotoelektrické(kvantové)
- zvýšení teploty hmoty

Senzory založené na prvních třech jevech jsou citlivé pouze v úzkých oborech infračerveného spektra a jejich údaj je závislý nejen na intenzitě dopadajícího záření, ale též na jeho vlnové délce. Naproti tomu signál senzorů založených na oteplení, vyvolaném absorpcí záření, je obecně nezávislý na vlnové délce dopadajícího záření, a lze jich proto užít v celém rozsahu infračerveného spektra stejně ve viditelném jako v ultrafialovém oboru. Jako tepelné senzory infračerveného záření se nejčastěji používají termočláňkové baterie, bolometry, pyroelektrické a kvantové senzory.

Termočláňkové baterie - jsou sériově řazené termočláňky, které jsou konstruovány buď jako tenké kovové pásy tloušťky asi 0.03 mm, nebo jako pásy zhotovené technologií tenkých vrstev nebo technologií Si. Citlivá část senzoru, tj. měřící spoje, je načerněna. Termočláňková baterie je často umístěna ve vakuové baňce. Monolitické termočláňkové baterie se vzhledem k dobré tepelné vodivosti křemíku realizují na velmi tenké membráně (5 až 10 μm), neboť tepelný tok mezi měřícími a srovnávacími spoji je nežádoucí. Měřící termoelektrické spoje jsou ve středu membrány a srovnávací spoje jsou na okraji membrány. Jako větve termoelektrického článku se používají dvojice Bi-Sb, Si/p-Al, Si/n-Au, Si/p-Au.

Bolometry - využívají principu odporových senzorů teploty. Nejčastěji se používají tenkovrstvé odporové senzory z oxidů MgO, MnO, NiO, TiO₂, Tl₂Se, As₂Te₃ (chalkogenidové sklo) aj. nanesené na velmi tenké elektricky nevodivé podložce, která je přilepena na masivní kovový blok.

Pyroelektrické senzory - jsou tvořeny hmotou, která při dopadajícím elektromagnetickém záření změní orientaci polárních molekul, tj. polarizaci částic celého krystalu. Je-li krystal opatřen elektrodami, můžeme zjistit elektrický náboj. Vnější podnětem je tepelné záření v oblasti od 0.4 – 15 μm . Obvykle se používají tyto materiály: TGS (triglycin –sulfát), PZT keramika (keramické látky na bázi titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého PbTi_{1-x}Zr_xO₃), LiTaO₃ (lithium-tantalát), PVDF (polyvinylfluorid).

Kvantové senzory – využívají jevů vznikajících při přímé interakci dopadajících fotonů na strukturu senzoru. Pro bezdotykové měření teploty se fotodiody používají obvykle ve fotonapětovém (fotovoltaickém) režimu. Pro vyšší nároky na odstup signálu od šumu je nutné senzory chladit. Tyto senzory se používají podobně jako pyroelektrické pro termovizní snímání obrazů.

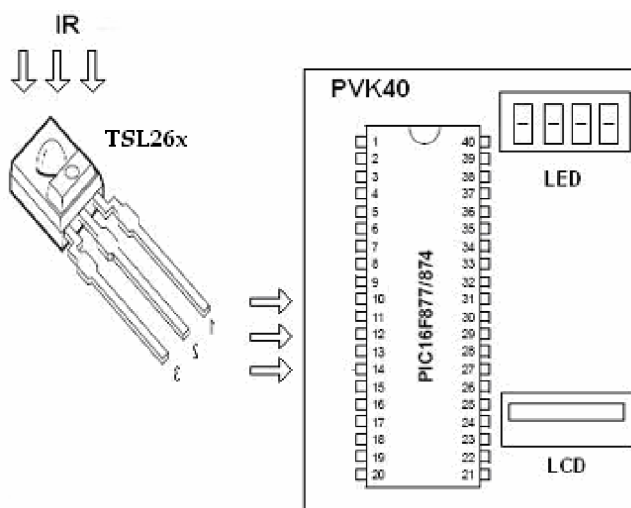
2 VYHODNOCOVACÍ MODUL DOZIMETRU

2.1 Princip elektronického modulu

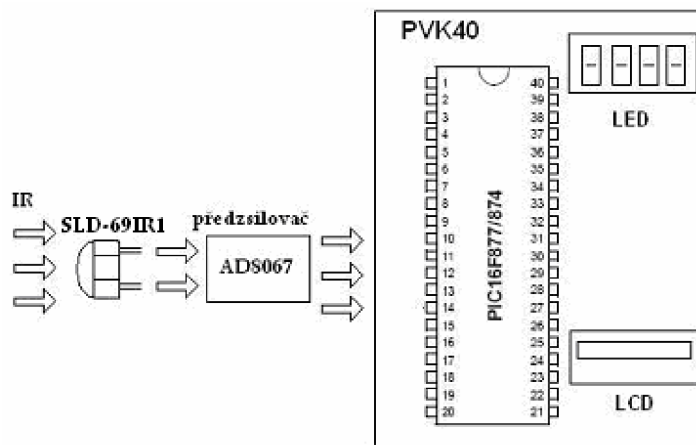
Zařízení mobilního dozimetru je založeno na principu měření zářivé složky světelného záření optickým snímačem, který tuto složku převede na napětí. Při návrhu modulu bylo nutno zohlednit i logický požadavek na relativní jednoduchost a nízké náklady. Modul mobilního dozimetru se skládá z optického snímače, předzesilovače a vývojové desky PVK40, která je osazena 8-bitovým jednočipovým mikropočítačem. Jako snímače IR záření byly vybrány dva optické snímače:

- TSL26x firmy Texas Instruments (s vestavěným zesilovačem)
- SLD-769IR1 firmy Silonex, inc. s předzesilovačem AD8067 od firmy Analog Devices, Inc.

Pro zpracování a vyhodnocení signálu byl zvolen 8-bitový jednočipový mikropočítač PIC16F877A od firmy Microchip s vestavěným analogově–číslicovým převodem. Pro zobrazení hodnoty infračervené složky jsme použili vývojovou desku PVK40 (zobrazovací prvky- sedmissegmentovky LED, displej LCD). Na následujících obrázcích jsou schémata těchto modulů.



Obr. 5. Modul s optickým snímačem typu TSL26x



Obr. 6. Modul s optickým snímačem typu SLD-769IR1

Přenos dat z dozimetru do PC – Naměřená data je dále možné přenést do PC při použití sériového rozhraní RS232 (u PVK40 i USB) a zpracovat programem Excel, což bylo již řešeno diplomovou prací Přemysla Čámského [5].

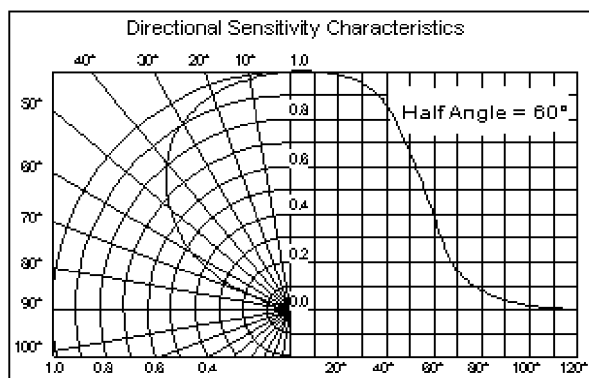
2.2 Optické snímače

2.2.1 Fotodioda SLD-69IR1

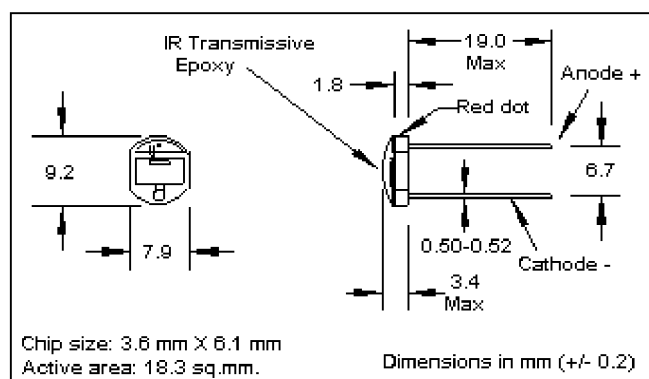
Fotodiodu SLD-69IR1 od firmy Silonex, Inc., jsme vybrali pro svou vysokou citlivost a také příznivou cenu. Je to plošná fotodioda pro měření IR se spektrální citlivostí okolo 990 nm, která obsahuje filtr pro nepropouštění viditelného záření. Tato fotodioda je charakteristická svou vysokou citlivostí a nízkou úrovní proudu při zatemnění. Dioda je navržena pro funkci ve fotovoltaiickém režimu s maximální odezvou v infračerveném spektru snímaného záření a rychlou přepínací rychlostí. Provedení je na keramické základně s okýnkem v oblasti čipu, pro snímání IR složky. Skladovací a provozní teplota je v rozsahu od -20°C do $+85^{\circ}\text{C}$ a maximální teplota při pájení 260°C . Na obr.7. je zobrazena směrová charakteristika citlivosti diody. Mezi zajímavé vlastnosti této fotodiody patří :

- rychlá doba přepínání (odezvy)
- malý průchozí proud
- lineární odezva na intenzitu ozáření

- IR propouštěcí filtr
- několik provedení s různou hodnotou proudu při zatemnění



Obr. 7. Směrová charakteristika citlivosti diody



Obr. 8. Fotodioda Silonex SLD-69IR1

Tabulka I. Popis elektronických parametrů diody [3]

SYMBOL	Min	Typ	Max	ZKUŠEBNÍ PODMÍNKY	JEDNOTKY
I_{SC} (Proud nakrátko)	700	1000		$V_{DD}=0V, E_e=25mW/m^2$	μA
V_{OC} (Svorkové napětí)		0.40		$E_e=25mW/cm^2$	V
I_D (Proud za temna)			100	$V_{DD}=0.1V, E_e=0$	nA
C_J (Přechodová kapacita)		350		$V_{DD}=0V, E_e=0, f=1MHz$	pF
t_r (Doba náběhu)		8		$V_{DD}=10V, R_L=1K\Omega$	μs
t_f (Doba poklesu)		10		$V_{DD}=10V, R_L=1K\Omega$	μs
TC_I (Teplotní koeficient)		+0.2			$mV/^{\circ}C$
V_{BR} (Závěrné průrazné napětí)	50			$I_R=100\mu A$	V
λ_p (Max. citliv. vln. délky)		990			nm
λ_r (Rozsah spektr. citliv.)	700		1100		nm

2.2.2 Fotodioda TSL26x

Optické snímače typu TSL26x firmy Texas Instruments, Inc., se stejně jako typ SLD-69IR1 vyznačují svou nízkou pořizovací cenou. TSL26x je senzor, převádějící měřené záření na napětí, jenž je kombinací fotodiody a operačního zesilovače jako transformátoru impedance. Toto je integrováno v jednu monolitickou strukturu (viz obr.11.). Snímače TSL26x se vyznačují následnými vlastnostmi:

- Velký rozsah napájecího napětí
- lineární napěťový výstup
- nízká spotřeba
- miniaturní provedení
- nízké napětí při zatemnění
- technologie LinCMOSTM (zajišťuje dobrou napěťovou vyváženost zesilovače a nízkou spotřebu)

Citlivosti jednotlivých fotodiód řady TSL26x jsou rozdílné, podle aktivní plochy čipu. Aktivní plocha infračerveného čidla TSL 260 je největší, činí 1 mm², čidlo je nejcitlivější z řady TSL26x. Typ TSL261, s aktivní plochou 0.5 mm² leží svou citlivostí zhruba uprostřed této typové řady. Čidlo TSL262 s aktivní plochou 0.26 mm² je nejméně citlivé.

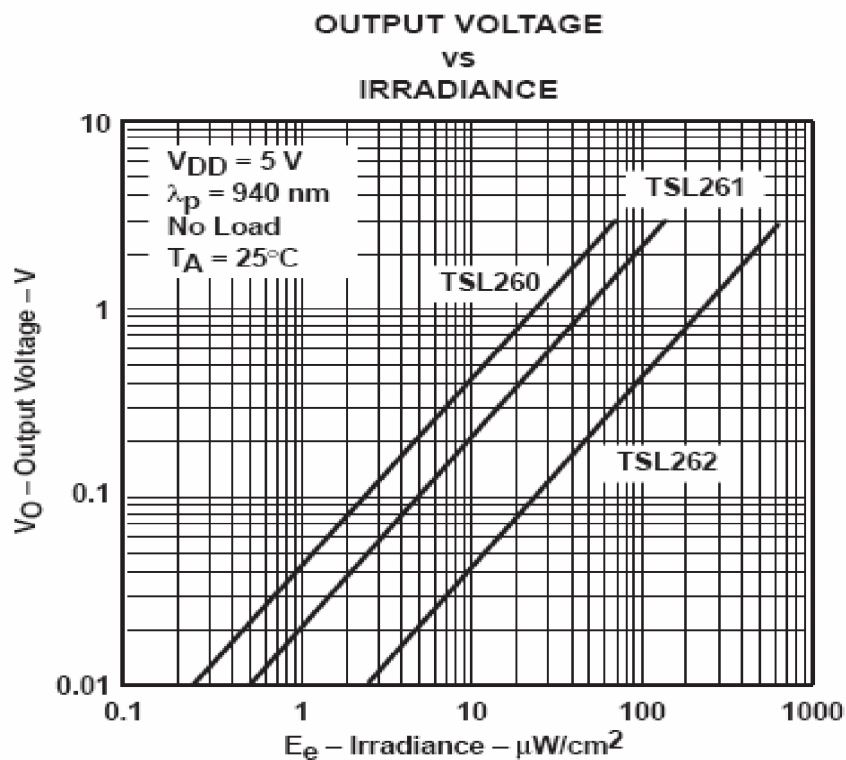
Napěťový výstup senzoru TSL26x je přímo závislý na ozáření fotodiody IR zářením. Maximum spektrální citlivosti senzoru je na vlnové délce 940 nm, což je vlnová délka blízká viditelnému záření, jedná se tedy o blízké infračervené záření, které chceme měřit. Rozsah pracovních teplot je v rozsahu od -25°C až 85°C. Přehled parametrů infračervených čidel řady TSL26x je v následující tabulce.

Tabulka II. Přehled parametrů infračervených čidel řady TSL26x

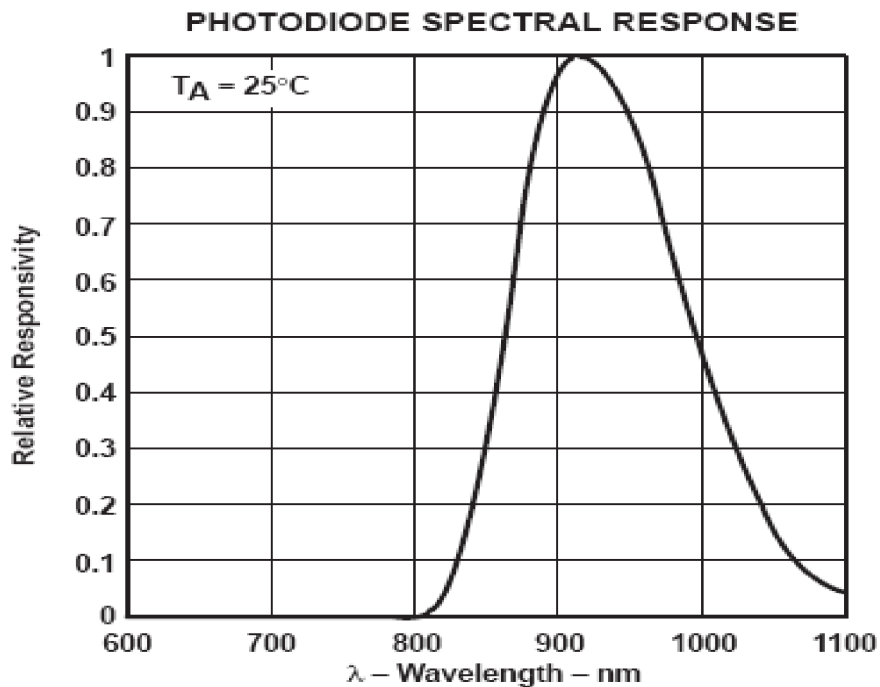
SYMBOL	PODMÍNKY	TSL 260	TSL 261	TSL 262	JEDNOTKY
		Min Typ Max	Min Typ Max	Min Typ Max	
V_{Dark} (U při max. zatemě.)	$E_e = 0$	3 10	3 10	3 10	mV
$V_{0\text{Max}}$ (max U na výstupu)	$E_e = 2.6\text{mW/cm}^2$	3.1 3.5	3.1 3.5	3.1 3.5	V
V_0 (Výstupní U)	$E_e = 48\mu\text{W/cm}^2$	1 2 3			V
	$E_e = 87\mu\text{W/cm}^2$		1 2 3		
	$E_e = 525\mu\text{W/cm}^2$			1 2 3	
TKV ₀ (teplotní koeficient závislosti výstup. U na T)	$E_e = 48\mu\text{W/cm}^2$	±1			mV/°C
	$E_e = 87\mu\text{W/cm}^2$		±1		
	$E_e = 525\mu\text{W/cm}^2$			±1	
N_e (citlivost)	viz poznámka 2	420	23	3.8	mV/(μW/cm ²)
t_r (doba náběhu)	viz poz. 1,2,3	360	90	7	μs
t_f (doba poklesu)	viz poz. 1,2,3	360	90	7	μs
V_N (šumové U)	viz poz. 4	0,6	0,5	0,4	μV/√Hz
A_a (Aktiv. plocha čipu)		1.0	0.5	0.26	mm ²

Poznámka:1. Hodnoty parametrů platí pro podmínky testu: napájecí napětí $V_{\text{DD}}=5\text{V}$, teplotu okolí $T_A=25^\circ\text{C}$, vlnovou délku $\lambda_p=940\text{ nm}$ a zatěžovací odpor $R_L=10\text{ k}\Omega$. Vstupní ozáření E_e byla generována infračervenou LED z materiálu GaAs na kmitočtu $\lambda_p=940\text{ nm}$.

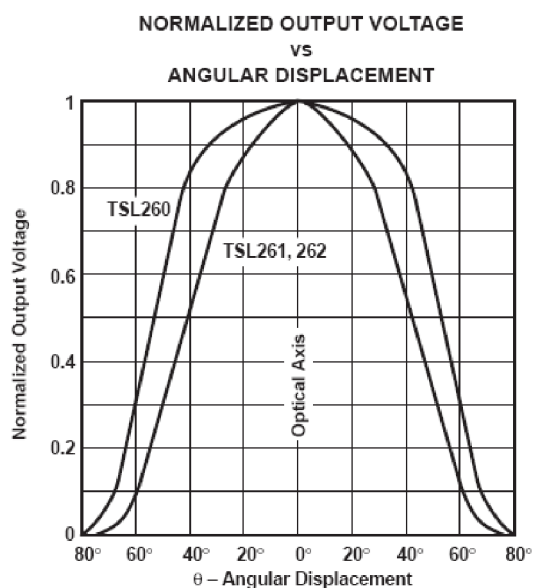
2. Responzivita na ozáření (citlivost-Irradiance responsivity) je definována v rozsahu výstupních napětí $V_0=0.05$ až 3V .
3. Měření impulsové odezvy optického čidla pomocí impulsní infračervené LED diody GaAs na vlnové délce $\lambda_p=940\text{ nm}$, s dobou náběhu čela impulsu $t_r<1\text{ }\mu\text{s}$ a s dobou týlu impulsu $t_f<1\text{ }\mu\text{s}$, při napájecím napětí $V_{\text{DD}}=5\text{V}$ (viz obr. 12.).
4. $V_{\text{DD}}=5\text{V}, f=20\text{Hz}$.
5. Údaje jsou převzaty s firemní literatury Texas Instruments [11]



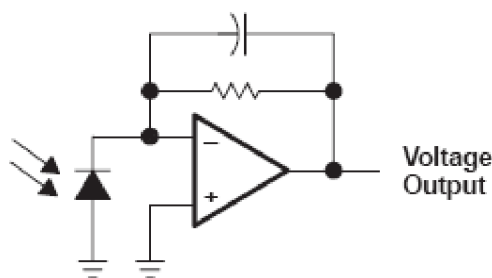
Obr. 9. Závislost výstupního napětí optických čidel řady TSL26x na vstupní ozáření na vlnové délce 940 nm [11]



Obr. 10. Spektrální závislost relativní citlivosti optických čidel řady TSL26x vztažené ke jmenovité vlnové délce 940 nm [11]

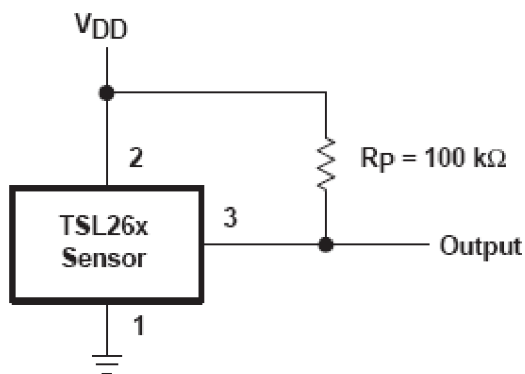


Obr. 11. Směrová charakteristika výstupní napětíové odezvy optických čidel řady TSL26x normalizovaná na odezvu v optické ose čidla [11]



Obr. 12. Blokové schéma optických čidel řady TSL26x [11]

Na obrázku č. 13. je u senzoru zapojen mezi vývody 2 a 3 rezistor $R_p = 100\text{k}$. Toto zapojení umožňuje rozšířit rozsah výstupního napětí V_{DD} až do hodnoty blízké napájecímu napětí (ze 3 na 5V). Tato úprava má jen malý vliv na velikost napětí V_{DARK} (při zatemnění senzoru) – jen několik mV.



Obr. 13. Zapojení pro úpravu napájecího napětí na 5V [11]

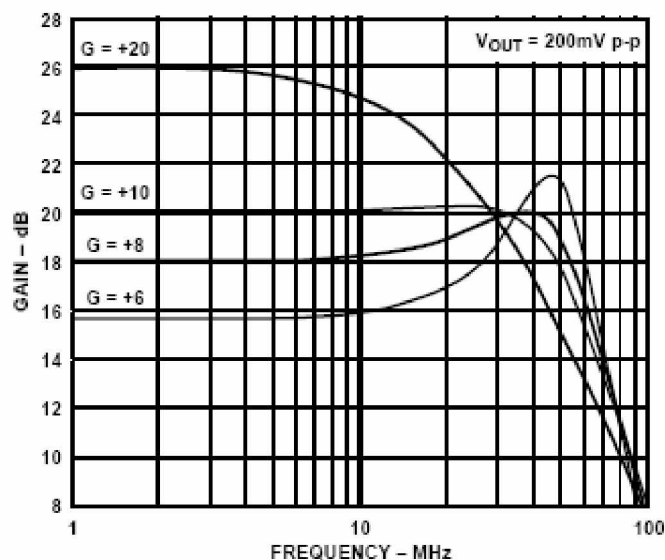
2.2.3 Předzesilovač AD8067 pro SLD-IR691

Jak již bylo výše uvedeno, v jednom modulu mobilního dozimetru používáme optický snímač SLD-69IR1 doplněný o předzesilovač AD8067 od firmy Analog Device, Inc.. Signál získaný s fotodiody SLD-69IR1 je dále zesílen pro potřeby mikroprocesoru pomocí předzesilovače AD8067. Předzesilovač byl použit i z důvodů univerzality modulu, pro možnost měření i jiných složek elektromagnetického záření. V takovém případě dojde pouze ke změně optického snímače. Nejdůležitější vlastnosti AD8067:

- FET zesilovač: 0.6 pA vstupní proud
- Stabilní pro zesílení ≥ 8
- Velká rychlost: 54 MHz, -3 dB šířka pásma ($G = +10$), 640 V/ μ s sledovací rychlost
- Nízký šum
- $6.6 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- $0.6 \text{ fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Nízké vyrovnávací napětí (1mV max)
- Rozsah napájecího napětí: 5 V až 24 V
- Zachování fázových poměrů
- Nízká vstupní kapacitní reaktance
- Jednoduché napájení a rozsah výstupního napětí do úrovně napájecího (rail-to-rail)
- Nepatrné harmonické zkreslení: SFDR 95 dBc @ 1 MHz
- Výrazné potlačení souhlasných napětí: -106 dB
- Nízká spotřeba: 6.5 mA
- Miniaturní pouzdro SOT-23-5

Dle pramene [3, 10] je zesilovač AD8067 rychlý FET, napět'ový zpětnovazební zesilovač se vstupy FET a širokým kmitočtovým rozsahem (54 MHz @ $G = +10$), a s vysokou sledovací rychlostí (640 V/ μ s). AD8067 je zhotoven dielektricky izolovaným,

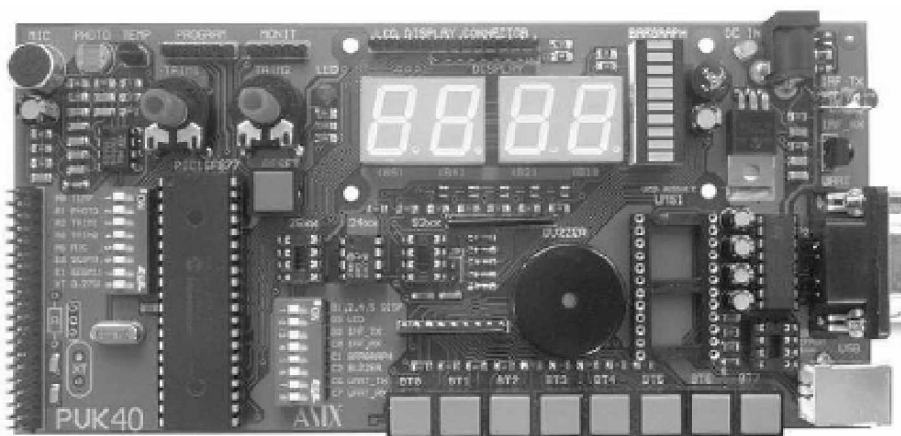
extra rychlým dvoufázovým procesem (XFCB), který umožňuje vyrábět kvalitní, rychlé a nízkopříkonové vstupní zesilovače FET. Zesilovač AD8067 má předpoklady k tomu, aby pracoval v aplikacích, které vyžadují velkou rychlost, nízké vstupní proudy, např. jako rychlý předzesilovač k fotodiodě. Pro požadovanou práci s fotodiodou má znamenité DC vyrovnávací napětí (1.0 mV max) a proud (15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ max). AD8067 má vstupní proud (5pA max) a nízký napěťový šum (6.6nV/Hz), což také přispěje k zvládnutí přesných aplikací. Se širokým napájecím napětím (5V až 24 V) a „rail-to-rail“ výstupu, dobře se přizpůsobí různorodosti aplikací, které požadují široké dynamické rozsahy a malé zkreslení. Tento zesilovač vyžaduje jen 6.5 mA napájecího proudu, zatímco je schopný pracovat při zatěžovacím proudu až 30 mA a zatěžovací kapacitě až 100 pF. Provedení zesilovač AD8067 je k dispozici v pouzdru SOT-23-5 a je vhodný i k práci v průmyslových rozsazích teplot, tj. $-40\text{ }^\circ\text{C}$ + $85\text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 14. Frekvenční odezva pro různé zisky, standardní podmínky $V_s = \pm 5\text{ V}$, $T_A = +25\text{ }^\circ\text{C}$, $G = +10$, $R_L = R_F = 1\text{ K}\Omega$ [10]

2.3 Vývojová deska PVK40

Pro práci s mikrokontrolérem PIC, následné zpracování a zobrazení informace o množství infračervené složky jsme použili vývojovou desku (verifikační kit) PVK40 od firmy Asix, s.r.o.. PVK40 je bohatě vybavená vývojová a výuková deska, určená pro komfortní práci s mikrokontroléry PIC. S pomocí PVK40 lze snadno a rychle komunikovat s interními (obsažených "uvnitř" PIC), tak i externími (nacházející se na desce PVK40) perifériemi. Tento verifikační kit je vhodný pro odzkoušení hotových programů v reálném prostředí, vyznačuje se svojí velmi nízkou cenou a snadnou obsluhou. V PVK40 se dají použít velmi často používané mikrokontroléry PIC s pamětí Flash PIC16F87x, PIC16F7x, PIC18Fxx v pouzdrech se čtyřiceti vývody, ovšem díky vysoké kompatibilitě je deska vhodná pro vývoj aplikací pro prakticky všechny typy PIC (PIC16Cxx, PIC18Cxx). Na obrázku č. 15 je verifikační kit PVK40.



Obr. 15. Vývojová deska PVK40 firmy Asix,s.r.o.[12].

K napájení je možné použít stejnosměrné napětí 9 - 18 V, odběr ze zdroje je různý podle množství využívaných periférií, případně podle odběru vlastních obvodů, připojených a napájených z desky. Pro PVK40 je vhodný jakýkoliv zdroj s napětím 9 - 18 V, se zatížitelností 300 mA a výše (doporučený je adaptér 9V/300mA). Resetovací obvod (Pin – MCLR) je připojen přes „pull-up“ odpor na +5V, tedy naprogramovaný mikrokontrolér se při připojení napájecího napětí ihned rozběhne. K resetování je možné použít tlačítko RESET.

Oscilátor - Na desce je osazen krystal 3,276 MHz, k mikrokontroléru ho lze připojit sepnutím spínače DIP s popisem XT 3.276M. Jinak lze připojit i jiný krystal naletováním na pozici XT, případně RC oscilátor na pozici R a C.

2.3.1 Popis periferních obvodů a jejich inicializace

LED dioda - Signalizace stavu, je-li PVK40 zapnuta (dioda svítí). Diodu rozsvítíme nastavením bitu 3 na portu B jako výstup a zápisem log.1. Zhasnutí diody provedeme zápisem log.0.

BARGRAPH – Displej LED, ovládá se stejně jako displej LED. Rozsvícení segmentu docílíme přivedením log.0 na příslušný bit portu D, čímž volíme, který segment má svítit, a současně log. 0 na bit 1 portu C. Zbylé segmenty (9 a 10) jsou připojeny na port E, bit 0 a 1.

Tlačítka BT0..BT7 - Pokud definujeme port D jako vstupní, lze z vyčtené hodnoty portu zjistit, zda je některé tlačítko stisknuto. Log. 0 na příslušném bitu indikuje, že tlačítko je stisknuté, log. 1, že je rozepnuté. Jelikož jsou tlačítka v sérii s odpory, při sepnutém tlačítku není port D zkratován, a proto lze současně např. ovládat displej, bargraph nebo v prodlevách snímat stav tlačítek.

Piezoměnič (BUZZER) - Piezoměnič je připojen na pin C1, který může sloužit i jako výstup PWM, což výhodné pro jednoduché generování zvuků. Piezoměnič se obvodově chová jako kondenzátor, proto může být připojen přímo na vývod mikrokontroléru a nevádí stejnosměrná složka budicího signálu.

Mikrofon (MIC) - Použit je mikrofon MCE100, signál je zesílen v předzesilovači s operačním zesilovačem a přiveden na pin A5 mikrokontroléru.

Fotoodpor (PHOTO) - Fotoodpor může být jedním ze způsobů, jak snímat intenzitu světla. V závislosti na intenzitě světla se mění jeho odpor. Jeho odezva na změnu je poměrně pomalá (desetiny až jednotky sekund), ale má velkou citlivost. Je zapojen v děliči a střed děliče je připojen rovnou na pin A1 mikrokontroléru.

Teplotní odporové čidlo (TEMP) - Se změnou teploty se mění jeho odpor. Je zapojeno v odporovém děliči a při 20°C je dělič přibližně vyvážený. Střed děliče je připojen na pin A0. Citlivost čidla není příliš velká, dá se zvýšit stejnosměrným předzesilovačem (není na desce PVK40).

Trimry (TRIM1, TRIM2) - Jsou připojeny na piny A2 a A3 a umožňují přivést na tyto piny napětí od 0 do +5V. Vhodné pro ověřování funkce AD převodníku v mikrokontroléru nebo pro nastavování nějakého parametru v aplikačním programu.

DIP spínače - Většinu periférií na desce PVK40 lze odpojit od mikrokontroléru pomocí DIP spínačů, to je výhodné, pokud uživatel chce připojit k mikrokontroléru nějaké vlastní zařízení.

Rozšiřující konektor (J1) - Má 40 pinů, je umístěn vlevo dole na desce PVK40 a jsou na něj vyvedeny všechny piny mikrokontroléru. Je určen pro uživatele, kteří chtějí připojit k desce vlastní aplikace.

-MCLR	1	40	B7
A0	2	39	B6
A1	3	38	B5
A2	4	37	B4
A3	5	36	B3
A4	6	35	B2
A5	7	34	B1
E0	8	33	B0
E1	9	32	+5V
E2	10	31	GND
+5V	11	30	D7
GND	12	29	D6
OSC1	13	28	D5
OSC2	14	27	D4
C0	15	26	C7
C1	16	25	C6
C2	17	24	C5
C3	18	23	C4
D0	19	22	D3
D1	20	21	D2

Obr. 16. Rozmístění pinů konektoru J1.

Konektor PROGRAM – Slouží pro programování mikrokontroléru

Tabulka III. Zapojení pinů konektoru PROGRAM

Pin	Funkce	Stav
1	-MCLR	zapojen
2	nezapojen	nezapojen
3	+5V	zapojen
4	GND	zapojen
5	B7 (data)	zapojen
6	B6 (clk)	zapojen

Konektor MONIT -Slouží k připojení přípravku k monitorování činnosti programu.

Tabulka IV. Zapojení pinů konektoru MONIT

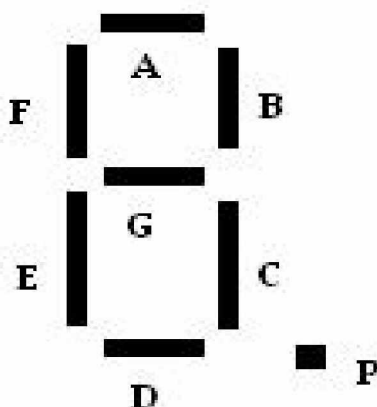
Pin	Funkce	Stav
1	GND	zapojen
2	nezapojen	nezapojen
3	E0	zapojen
4	E1	zapojen
5	E2	zapojen

Konektor pro modul LCD – Umožňuje připojení inteligentního displeje

Na PVK40 se dále nachází patice pro paměti EEPROM (24xx, 25xx, 93xx)

2.3.2 Periférie pro zobrazování

Čtyřmístný sedmisegmentový LED displej – Jako zobrazovací prvky jsou použity sedmisegmentovky LED. Displej LED je navržen pro používání v multiplexovaném režimu. Rozsvícení segmentu docílíme přivedením log. 0 na příslušný bit portu D, čímž volíme, který segment má svítit, a současně log. 0 na příslušný bit portu B, kde volíme, na které sedmisegmentovce bude segment svítit. Dostatečně rychlým přepínáním lze zobrazovat číslce na celém displeji, aniž by bylo multiplexování patrné. Jednotlivé segmenty displeje jsou na následujícím obrázku (výstupy: A-LED0, B-LED1,..., P-LED7).



Obr. 17. LED displej

LCD displej MC1602 - MC1602 je modul alfanumerického LCD displeje určený pro aplikaci na vývojové desce PVK40. Displej má dva řádky po šestnácti znacích, je opatřen LED podsvětlením pro podsvícení displeje. Je řízen kontrolérem KS0066U (Samsung). V následující tabulce je uvedeno obsazení vývodů dvouřádkového zobrazovače MC1602.

Tabulka V. Obsazení vývodů dvouřádkového zobrazovače MC1602

Pin	Popis funkce
1	Zem (0V)
2	Napájecí napětí (5V)
3	Nastavení kontrastu (min 0,65 V)
4	Výběr registru
5	Volba čtení / zápis do zobrazovače
6	Vstup povolení
7-14	Data / kód DB0 – DB7
15	Napájení podsvětlovací LED –anoda (5 V)
16	Podsvětlovací LED –katoda

2.3.3 Periférie pro komunikaci

RS-232 interface (COM) - Tento interface je např. stále běžnou součástí osobních počítačů, má logické úrovně +12V a -12V, signál může být veden i několik desítek metrů. Na desce PVK40 je převodník úrovní 0 a +5V na úrovně RS-232 a je připojen na UART mikrokontroléru.

USB interface - Tento interface se stále více rozšiřuje na osobních počítačích, je rychlejší než COM, jeho ovládání je nesrovnatelně složitější. Existují specializované obvody, které za uživatele zařídí komunikaci s USB a data dodají v jednodušejší zpracovatelné podobě. Jednou z možností je použití obvodu FT232BM firmy FTDI (modul UMS1B - použit v PVK40), který umožňuje předávání dat v sériovém formátu rychlostí až 1 Mbit a lze ho připojit přímo na UART mikrokontroléru. Obvody FT8U232 se vyrábějí v 32 pinovém pouzdře, jsou osazeny na modulu UMS1, který lze zasunout do patice na desce PVK40.

Dálkové ovládání infra (IRF_TX, IRF_RX) – Vysílací LED vysílá kódovaný signál infračerveným světlem, přijímací LED ho přijme a přijímač dekoduje. Na desce PVK40 je přijímač s filtrem 36 kHz, tedy vysílací signál musí být modulován na frekvenci 36 kHz. Tímto způsobem lze komunikovat mezi dvěma deskami PVK40.

Informace o jednotlivých částech modulu, byly čerpány z [3, 4, 9, 10, 11, 12]

3 MIKROPROCESOR

Nejdůležitější částí elektronického modulu je 8-bitový mikroprocesor PIC16F877A od firmy Microchip Technology, Inc.. Tento mikroprocesor jsme zvolili pro jeho nesporné výhody nízké spotřeby energie a širokých možností použití. PIC16F877A je 8-bitový vysoce výkonový plně statický CMOS FLASH mikrokontrolér z rodiny PIC16F87X s RISC architekturou. PIC16F877A mají vylepšené vlastnosti jádra systému, 8 úrovněový STACK a několik vnitřních a vnějších zdrojů přerušení. Oddělením instrukční a datové sběrnice architekturou mikrokontroléru je odděleno 14bitové instrukční slovo od 8 bitového slova dat. Mikrokontrolér je navržen, aby dokázal pracovat dlouhou dobu na baterie. Tento typ mikrokontroléru lze proto použít v senzorových systémech, které snímají analogové signály, transformují je na digitální hodnoty (PIC16F8xx se používá ve velké míře pro řízení teploty, měření tlaku, řízení motorů, obsluha klávesnic, nebo telefonních automatů). Tyto hodnoty se dále zpracují a zobrazí nebo přenesou na hlavní systém, v našem případě PVK40. Nízká cena, nízká spotřeba, vysoký výkon a snadné přizpůsobení I/O vývodů předurčují PIC16F877A k širokému spektru aplikací.

3.1 Charakteristika PIC16F8xx

Základní vlastnosti 8-bitového CMOS mikrokontroléru z rodiny PIC16F8X firmy Microchip Technology, Inc. lze rozdělit následovně:

3.1.1 Základní vlastnosti

- Mikrokontrolér s architekturou RISC
- 35 jednoslovných instrukcí
- Všechny instrukce trvají jeden instrukční cyklus (250 ns), mimo instrukcí pro větvení programu (2 cykly)
- Pracovní rychlost: DC – 16 MHz (CLK vstup), DC- 25 ns (instr. Cyklus)
- Přímé, nepřímé a relativní adresování
- Paměť: 256 x 8 bytů EEPROM datové paměti, 368 x 8 bytů datové paměti RAM.
- 14 možných zdrojů přerušení (od čítače TMR0, po dokončení A/D převodu, vnější přerušení na vývodu INT, při změně na portu B < 7 : 4 > atd.)

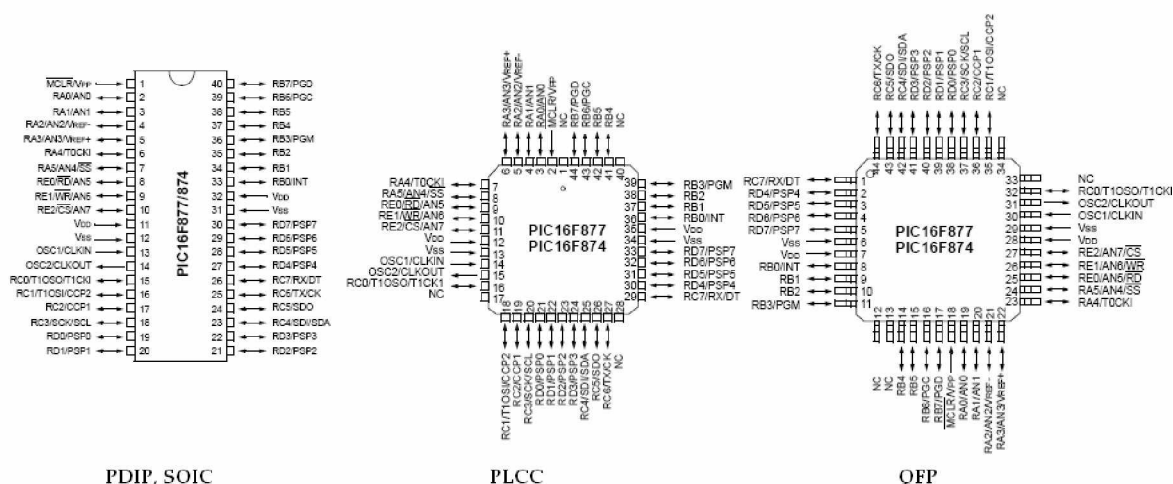
3.1.2 Technologie CMOS

- Nízký příkon, vysoká rychlost, technologie CMOS
- Plně statické provedení
- Široký rozsah napájecího napětí (2 V až 5,5 V)
- Nízká spotřeba: < 0.6 mA při 3V a 4 MHz, 20 μ A při 3V 32 KHz, < 1 μ A typicky ve stavu SLEEP při napájení 3V

3.1.3 Vnější vlastnosti

- 33 I/O vývodů s individuálním nastavením směru toku dat
- možnost budit přímo LED
- 2 vývody, které mohou být nastaveny jako „Capture“ – vstup, „Compare“ – výstup, „PWM“ výstup
- režim Capture má rozlišení 16 bitů (12.5 ns)
- režim Compare má rozlišení 16 bitů (200 ns)
- režim PWM maximální rozlišení 10 bitů
- TMR0: 8-bitový časovač/čítač s 8-bitovým programovatelným předděličem
- TMR1: 16-bitový časovač/čítač- obsah TMR1 může být zvyšován i ve stavu SLEEP, pokud se použije vnější hodinový signál, nebo krystal
- TMR2: bitový časovač/čítač 8-bitovým registrem (časová základna pro PWM) předděličem a „děličem po“
- 10 bitový A/D převodník s multiplexovaným vstupem
- sériový komunikační port (USART/SCI), univerzální synchronní a asynchronní komunikace

Mikrokontroléry PIC 16F877A se dodávají ve třech typech pouzder (možnost redukce na pouzdro SOIC) , v PVK 40 je použito pouzdro PDIP.



Obr. 18. Typy pouzder PIC 16F877A [9]

Firma Microchip, Inc. dodává verzi pouzder s okénkem, pro mazání UV zářením (označované Cerdip), což umožňuje snadný vývoj programu.

3.1.4 Speciální vlastnosti

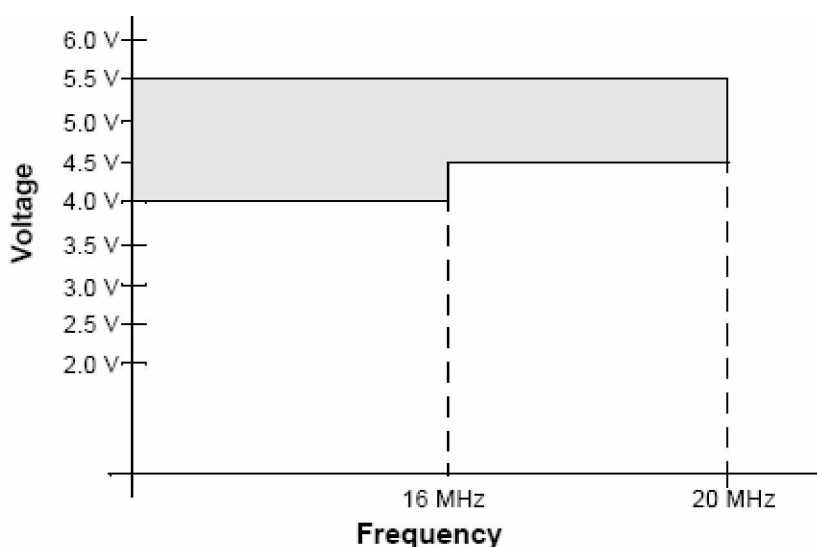
- Resetování při zapnutí napájení (Power On Reset – POR)
- Resetování po zapnutí napájení (Power Up Timer – PWRT)
- Resetování od časovače pro rozběh oscilátoru (Oscilátor Start Up timer – OST)
- WDT (WatchDog Timer), časovač s vlastním RC oscilátorem pro spolehlivější chod programu
- Ochranné pojistky proti čtení programového kódu
- Režim SLEEP
- Volba režimu použitého oscilátoru

Tyto speciální funkce zmenšují počet nutných vnějších součástek, to snižuje cenu, zvyšuje spolehlivost a snižuje výkonovou spotřebu. Existují čtyři volitelné režimy oscilátoru, pro které vývody obvodu představují jednoduché a levné řešení. Režimy oscilátoru jsou následující: „LP“ – oscilátor je připraven pro nízkou spotřebu, „XT“ – je pro standardní krystal, „HS“ – je velmi rychlý krystal. Stav „SLEEP“ nabízí ochranu a prodloužení životnosti zdroje. Uživatel může mikrokontrolér vzbudit ze stavu SLEEP pomocí několika vnějších a vnitřních přerušení, nebo resetováním.

Vysoce spolehlivý časovač WDT „Watchdog“ s vlastním RC oscilátorem na čipu je spolehlivou ochranou proti programovým chybám (jen proti běhu v nekonečné smyčce bez ošetření).

3.1.5 Elektrické parametry

Pracovní teplota.....	-55 °C až +125 °C
Skladovací teplota.....	-65 °C až +150 °C
Povolené přiložené napětí vzhledem k V_{SS} (s V_{DD} MCLR, RA4).....	-0.3 V až V_{DD} +0.3 V
Napětí na vývodu V_{DD} (kladné napájení) vzhledem k vývodu V_{SS} (zem).....	-0.3 V až 7.5 V
Napětí na vývodu MCLR vzhledem k vývodu V_{SS}	0 V až 14 V
Celková výkonová ztráta.....	1.0 W
Maximální proud vývodu V_{SS}	300 mA
Maximální proud vývodu V_{DD}	250 mA
Maximální proud I/O vývodů.....	25 mA
Maximální součet proudů PORTA,PORTB a PORTE.....	200 mA
Maximální součet proudů PORTC a PORTD.....	200 mA

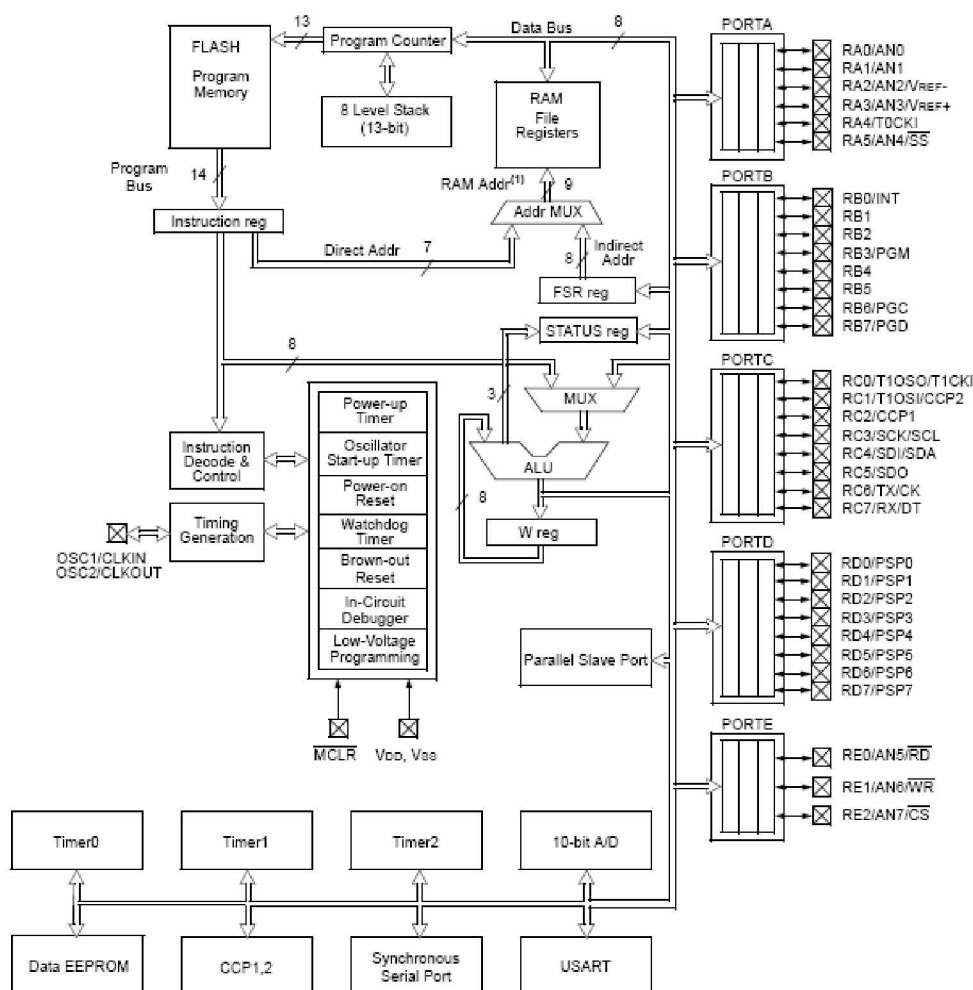


Obr. 19. Závislost napájecího napětí PIC16F877 na frekvenci (pro teploty -40 °C - +85 °C) [9]

3.2 Architektura a instrukční cyklus

Vysoký výkon mikrokontrolerů rodiny PIC16Fxx je způsoben znaky architektury společné s mikroprocesory RISC. Mikrokontroléry PIC16Fxx používají jinou architekturu než klasickou von Neumanovu, kde jsou data i program v jednom adresovém prostoru, a tedy o stejné šířce slova. U mikrokontroléru PIC16Fxx jsou data a program v oddělených částech paměti a tedy mohou mít různou velikost. Data jsou šířky 8 bitů a kód programu 14 bitů. Tato šířka slova (14 bitů) umožňuje mít všechny instrukce jednoslovné a proveditelné během jednoho instrukčního cyklu. To neplatí pro instrukce provádějící větvení programu, ty vyžadují 2 instrukční cykly. PIC16Fxx může své registry (data v paměti) adresovat přímo, nepřímo a relativně. V datové paměti jsou umístěny všechny speciální funkční registry včetně programového čítače.

Tento mikrokontrolér obsahuje 8-bitovou ALU a pracovní registr W. ALU je základní výpočetní jednotka. Vykonává základní aritmetické a logické výpočty mezi registry a datovými místy paměti. ALU umožňuje sčítat, odčítat, posouvat obsah registru a logické operace. Aritmetické operace mají dva operandy z nichž jeden je vždy v pracovním registru (W – registr) a druhý operand je registr v paměti nebo konstanta. U jednoduchých instrukcí je operandem vlastní pracovní registr, nebo registr v paměti. Pracovní registr (W) je 8-bitový, použitý pro práci ALU (nejde o programem adresovatelný registr). Na obr. 24 je blokové schéma PIC 16F877A.



Obr. 20. Blokové schéma PIC16F877 [9]

3.2.1 Popis vývodů mikrokontroléru PIC 16F8xx

OSC1/CLKIN – Vývod pro krystalový oscilátor, vnější hodinový signál

OSC2/CLKOUT – Výstup krystalového oscilátoru, připojení krystalu nebo keramického rezonátoru. V RC módu je hodinový signál, který je $\frac{1}{4}$ kmitočtu, na vývodu OSC1

MCLR/V_{PP} – RESET při připojení napájení, tento vývod je aktivní v nule, kdy resetuje zařízení

V_{SS} – Zemní reference pro vstupní vývody

V_{DD} – Kladné napájecí napětí

NC – Tyto vývody nejsou vnitřně připojeny, mohou být nepřipojeny

Tabulka VI. Popis vývodů

Název vývodu	Typ I-vstup/O-výstup/P- napájení(zdroj)	Provedení
OSC1/CLKIN	I	CMOS
OSC2/CLKOUT	O	-
MCLR/V _{pp}	I/P	ST-Schmittův obvod
V _{SS}	P	-
V _{DD}	P	-
MCLR/V _{pp}		TTL

PORT A – Obousměrný port pro vstup/výstup.

- RA0/AN0, RA1/AN1 – Analogový vstup 0,1
- RA2/AN2/ V_{REF-} – Analogový vstup, nebo analogové záporné referenční napětí
- RA3/AN3/ V_{REF+} – Analogový vstup, nebo analogové kladné referenční napětí
- RA4/TOCK1 – Může být vybrán jako zdroj CLK signálu pro TMR0, jako výstupní má otevřený kolektor
- RA5/AN5/SS – Může být konfigurován jako analogový vstup, nebo synchronní sériový port

Tabulka VII. Popis vývodů PORTU A

Název vývodu	Typ I-vstup/O-výstup/P- napájení(zdroj)	Provedení
RA0/AN0	I/O	TTL
RA1/AN1	I/O	TTL
RA2/AN2/ V _{REF-}	I/O	TTL
RA3/AN3/ V _{REF+}	I/O	TTL
RA4/TOCK1	I/O	ST-Schmittův obvod
RA5/AN4/SS	I/O	TTL

PORT B – Obousměrný vstupně výstupní port. PORT B může programově zapnout na všech vývodech konfigurovaný jako vstupní.

- RB0/INT – Může být vybrán jako zdroj vnějšího přerušení
- RB1, RB2, RB3 – Vstup/výstup
- RB4, RB5 – Přerušení při změně stavu
- RB6 – Přerušení při změně stavu CLK při sériovém programování
- RB7 – Přerušení při změně stavu DATA sériovém programování

Tabulka VIII. Popis vývodů PORTU B

Název vývodu	Typ I-vstup/O-výstup/P- napájení(zdroj)	Provedení
RB0/INT	I/O	TTL/ST
RB1	I/O	TTL
RB2	I/O	TTL
RB3	I/O	TTL
RB4	I/O	TTL
RB5	I/O	TTL
RB6	I/O	TTL/ST
RB7	I/O	TTL/ST

PORT C – Obousměrný vstupně/výstupní port.

- RC0/T10S0/T1CK1 – Může být vybrán jako výstupní oscilátor TMR1, nebo vstup hodinového signálu pro TMR1
- RC1/T10S1/CCP2 – Může být jako vstup pro TMR1, vstup pro CAPTURE2, výstup pro COMPARE2 výstup pro PWM2

- RC2/CCP1 - Může být jako vstup pro CAPTURE1, výstup COMPARE1, výstup PWM1
- RC3/SCK/SCL – Může být vybrán jako hodinový vstup pro oba sériové kanály (SPI, I²C)
- RC4/SDI/SDA – Může být vybrán jako datový vstup pro oba sériové kanály (SPI, I²C), nebo vstup/výstup pro I²C
- RC5/SD0 – Může být vybrán jako datový výstup pro sériový kanál SPI
- RC6/TX/CK – Může být vybrán jako asynchronní vysílač nebo synchronní hodiny pro SCL
- RC7/RX/DT – Může být vybrán jako asynchronní přijímač nebo synchronní data pro SCL

Tabulka IX. Popis vývodů PORTU C

Název vývodu	Typ I-vstup/O-výstup/P- napájení(zdroj)	Provedení
RC0/T10S0/T1CK1	I/O	ST
RC1/T10S1/CCP2	I/O	ST
RC2/CCP1	I/O	ST
RC3/SCK/SCL	I/O	ST
RC4/SDI/SDA	I/O	ST
RC5/SD0	I/O	ST
RC6/TX/CK	I/O	ST
RC7/RX/DT	I/O	ST

PORT D – Obousměrný datový port pro připojení k mikroprocesorové sběrnici.

Tabulka X. Popis vývodů PORTU D

Název vývodu	Typ I-vstup/O-výstup/P- napájení(zdroj)	Provedení
RD0/PSP0	I/O	ST/TTL
RD1/PSP1	I/O	ST/TTL
RD2/PSP2	I/O	ST/TTL
RD3/PSP3	I/O	ST/TTL
RD4/PSP4	I/O	ST/TTL
RD5/PSP5	I/O	ST/TTL
RD6/PSP6	I/O	ST/TTL
RD7/PSP7	I/O	ST/TTL

PORT E – Obousměrný vstupně/výstupní port.

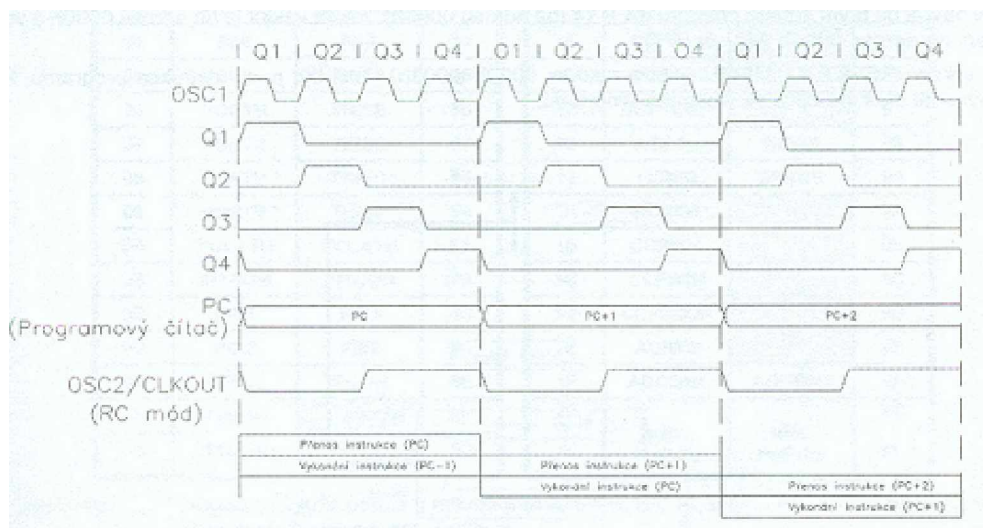
- RE0/RD/AN5 – Obousměrný vstupně/výstupní datový vývod, analogový vstup AN5, nebo RD vstup pro paralelní port
- RE1/WR/AN6 – Obousměrný vstupně/výstupní datový vývod, analogový vstup AN6, nebo WR vstup pro paralelní port
- RE2/CS/AN7 – Obousměrný vstupně/výstupní datový vývod, analogový vstup AN7, nebo CS vstup pro paralelní port

Tabulka XI. Popis vývodů PORTU E

Název vývodu	Typ I-vstup/O-výstup/P- napájení(zdroj)	Provedení
RE0/RD/AN5	I/O	ST/TTL
RE1/WR/AN6	I/O	ST/TTL
RE2/CS/AN7	I/O	ST/TTL

3.2.2 Instrukční cyklus a jeho vykonávání

Hodinový signál na vstupu (OSC1) je dělen 4 a jsou generovány 4 posunuté nepřekrývající se hodinové impulsy (takty) Q1, Q2, Q3, Q4. Programový čítač (PC) je zvyšován každým taktem Q1. Instrukce je vyzvednuta z programové paměti a zkopírována do instrukčního registru v taktu Q4. Tato instrukce je dekodována a provedena během následujících taktů Q1 – Q4. Hodinový signál a postup vykonávání instrukce je ukázána na následujícím obrázku.



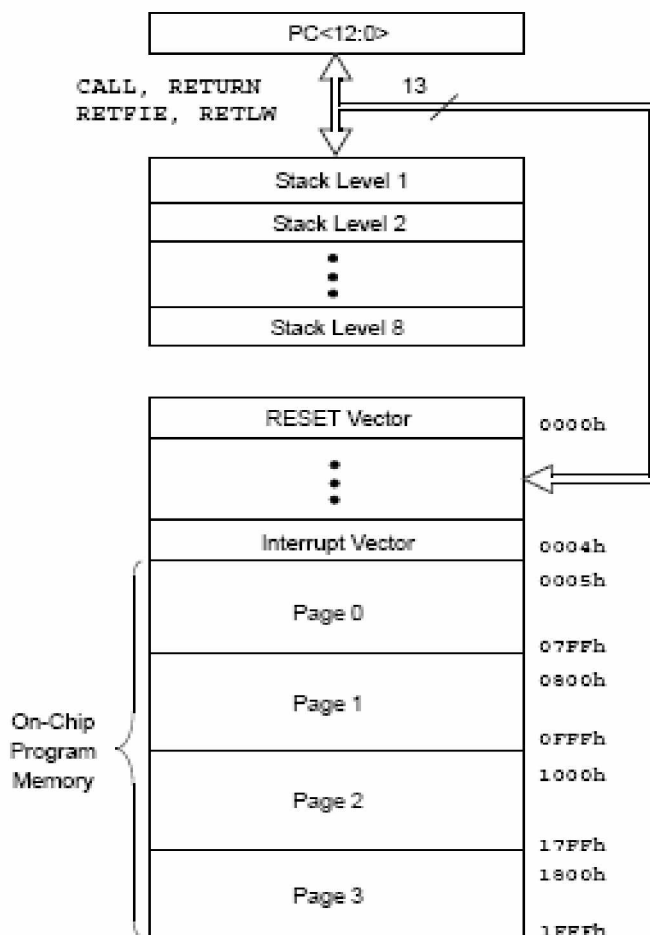
Obr. 21. Časování instrukčních cyklů [8]

Instrukční tok je takový, že zatímco jedna instrukce je dekodována a prováděna, druhá je již čtena z paměti a umístěna do instrukčního registru. Instrukce je tak vykonávána v jediném instrukčním cyklu (výjimka – když instrukce způsobí změnu obsahu programového čítače např. GOTO, jsou pro její vykonávání potřebné dva instrukční cykly).

3.3 Uspořádání paměti

PIC16F877A má 13-bitový programový čítač (PC) schopný adresovat 8K x 14 bitů paměťového prostoru (programu a dat). PIC16F877 má velikost FLASH programové paměti 8K x 14 (14 – šířka slova), při pokusu o přístup nad paměť, která je fyzicky přítomná, dochází k návratu na první adresu prostoru (0000h). Na adrese RESET VECTORU (jedna z adres 0000h – 0004h) musí být první instrukce programu, která může

vykonat skok na začátek vlastního programu. Paměť dat je rozdělena do dvou bank (prostorů), které obsahují základní funkční registry a registry volné pro uživatele. Každá z bank je v prostoru 7Fh (128 bytů) statické RAM.



Obr. 22. Uspořádání paměti a STACKu [9]

3.3.1 Univerzální registry

Mohou být adresovány přímo nebo nepřímo pomocí registru FSR. Oběma způsoby může být teoreticky adresováno 512 registrů. Prvních 32 registrů (od adresy 00h do adresy 1Fh - 0. strany, od adresy 80h do 9Fh - 1. strany) je využito jako systémové registry. Registry od adresy 20h (strana 0.) a A0h (strana 1.) jsou volné pro využití uživatelem. V následující tabulce je uspořádání registrů paměti RAM (INDF – není fyzický registr, při adresování tohoto místa se použije obsah registru FSR k přístupu do datové paměti).

Tabulka XII. Uspořádání registrů v paměti RAM

Adresa (HEX)	Registr	Adresa (HEX)	Registr
00	INDF	80	INDF
01	TMR0	81	OPTION
02	PCL	82	PCL
03	STATUS	83	STATUS
04	FSR	84	FSR
05	PORT A	85	TRIS A
06	PORT B	86	TRIS B
07	PORT C	87	TRIS C
08	PORT D	88	TRIS D
09	PORT E	89	TRIS E
0A	PCLATH	8A	PCLATH
0B - 1F	Další systémové registry	8B – 9F	Další systémové registry
20 – 7F	Uživatelské registry	A0 - FF	Uživatelské registry
Bank 0 (strana 0)		Bank 1	

3.3.2 Speciální systémové registry

Systémové registry jsou registry, které používá CPU pro nastavení zvolené konfigurace. Tyto registry jsou umístěny ve statické RAM. Tyto systémové registry mohou být rozděleny do dvou skupin. První skupinou jsou systémové registry související se základní funkcí (tyto systémové registry jsou uvedeny níže), do druhé skupiny patří ty, které se vztahují k A/D převodníku (ty jsou popsány v kapitole o A/D převodníku).

- Registr STATUS – Registr STATUS obsahuje aritmetické příznaky ovlivňované ALU, příznak RESET a bit pro předvolbu stránky paměti. Registr STATUS může být cílovým registrem pro každou instrukci, stejně jako každý jiný registr. Pokud je registr STATUS cílovým registrem pro instrukci, jejíž výsledek je ovlivněn příznaky Z, C, DC, pak je zápis do těchto 3 bitů zakázán. Tyto bity jsou nulovány, nebo nastaveny na „1“ podle výsledku operace. Není také možné zapisovat do bitů TO a PD.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-1	R-1	R/W-x	R/W-x	R/W-x
IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C
bit 7							bit 0

Obr. 23. Registr STATUS

- C – příznak (Carry) přenos pro instrukce ADDWF, ADDLW, SUBWL, SUBWF
 - 1 = přenos z nejvyššího bitu výsledku (využíván při rotaci)
 - 0 = nedošlo k přenosu
- DC – příznak přenosu mezi 1/ 2 bytu
 - 1 = přenos do vyšších 4 bitů bytu
 - 0 = nedošlo k přenosu
- Z – příznak nulového obsahu
 - 1 = výsledkem aritmetické, nebo logické operace je 0
 - 0 = výsledek je nenulový
- PD – příznak napájení
 - 1 = po zapnutí napájení, nebo CLRWDT instrukce
 - 0 = při vykonání instrukce SLEEP
- TO – příznak přetečení čítače WDT
 - 1 = po zapnutí napájení
 - 0 = pokud nastalo přetečení čítače WDT

- RP0, RP1 – výběr strany paměti

00 = strana 0, 01 = strana 1, 10 = strana 2, 11 = strana 3

- IRP – stránky pro nepřímé adresování

0 = strana 0 a 1, 1 = strana 2 a 3

- Registr OPTION – Registr OPTION na adrese 81h obsahuje řídicí bity pro nastavení „předděliče“, přerušení, TMR0 (čítač/časovač) a oživení obvodu ze stavu SLEEP od portu B. Je plně přístupný pro čtení i zápis.

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7							bit 0

Obr. 24. Registr OPTION

- PS0, PS1, PS2 – kontrola předděliče (dělicí poměry pro TMR0, WDT)
- PSA – přiřazení předděliče
 - 1 = předdělič přiřazen k WDT
 - 0 = předdělič přiřazen k TMR0
- RTE – hrana signálu pro TMR0
 - 1 = sestupná hrana na pinu RA4/TOCKI
 - 0 = vzestupná hrana na pinu RA4/TOCKI
- RTS – zdroj signálu pro TMR0
 - 1 = pin RA4/TOCKI
 - 0 = vnitřní instrukční cyklus (CLKOUT)
- INTEDG – výběr hrany pro vnější přerušení (pin RB0/INT)
 - 1 = přerušení na vzestupnou hranu
 - 0 = přerušení na sestupnou hranu
- RBPU – port B na U_{DD} přes vnitřní R

1 = zakázáno

0 = povoleno

- Registr INTCON (INTerrupt CONtrol registr) – Registr řídící chování obvodu při přerušení, zaznamenává jednotlivé nastavení povolující přerušení a příznaky o příchodu těchto přerušení. Povolovací bit pro nastavená přerušení GIE (Global Interrupt Enable) umožňuje všechna nastavená přerušení zakázat, vynulováním svého obsahu (GIE = „0“). Po RESETU je obsah tohoto bitu v „0“ a všechna přerušení jsou zakázána, jednotlivá přerušení je možné zakázat/povolit pomocí vlastních řídicích bitů, je-li GIE = „1“. Obvod PIC16Fxx umožňuje využít 3 možných zdrojů přerušení:

- Vnější přerušení od vývodu RB0/INT
- Přetečení od TMR0
- Přerušení od změny na vývodech RB <7:4> portu B
- Přetečení od TMR1
- Přetečení registru periody TMR2
- Přerušení v režimu PWM, CAPTURE, COMPARE
- Přerušení od SSP (synchronní sériový port)
- Přerušení od A/D převodníku
- Přerušení od sériového portu SCI

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
bit 7							bit 0

Obr. 25. Registr INTCON

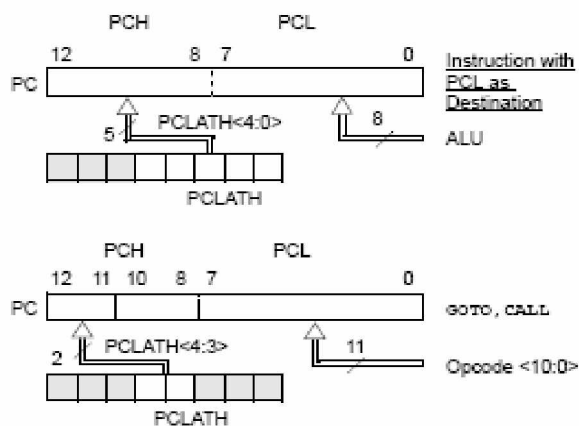
- RBIF – Příznak změny na portu B

1 = došlo ke změně stavu (musí být nulován programově)

0 = nedošlo ke změně stavu

- INTF – Příznak vnějšího přerušení, pin RB0/INT
 - 1 = nastalo toto přerušení (musí být nulován programově)
 - 0 = nenastalo toto přerušení
 - TOIF – Příznak přerušení od TMR0
 - 1 = při přetečení TMR0
 - 0 = přerušení není vyvoláno TMR0
 - RBIE – Povolení přerušení při změně na portu B
 - 1 = přerušení povoleno
 - 0 = přerušení zakázáno
 - INTE – Povolení přerušení od pinu RB0/INT
 - 1 = přerušení povoleno
 - 0 = přerušení zakázáno
 - TOIE - Povolení přerušení od TMR0
 - 1 = přerušení povoleno
 - 0 = přerušení zakázáno
 - PEIE – Povolení přerušení od komunikující periferie povoluje/zakazuje
 - 1 = povoleny všechny přerušení
 - 0 = nepovoleny všechny přerušení
 - GIE – Povolení všech přerušení povoluje/zakazuje
 - 1 = povoleny všechny přerušení
 - 0 = nepovoleny všechny přerušení
-
- Registry PCL a PCLATH - Programový čítač (PC) je 13-bitový. Nižší byte PCL je registr schopný zápisu i čtení. Vyšší byte PC (PCH) není přímo přístupný. K přístupu je nutné využít registr PCLATH. Když je do PC obsazena nová hodnota během vykonávání instrukce CALL, GOTO nebo zapsáním nové hodnoty do PCL, je vyšší byte PC obsazena hodnotou z registru PCLATH. Při každé instrukci využívající adresu PCL je do PC <12:8> dosazena hodnota z PCLATH. Ke čtení hodnot z tabulky, do velikosti 256 bitů, je výhodné využít registr PCL. Tento registr obsahuje méně významný byte programového čítače (PC). Obsah tohoto registru je nejprve přenesen do PC a teprve potom je instrukce na adrese takto modifikovaného

PC vykonávána. Pomocí instrukce RETLW (table read using - čtení hodnot z tabulky) a tohoto registru (PCL) je možno se v tabulce pohybovat v oblasti jedné stránky zcela libovolně. Jedna stránka obsahuje vždy 256 bytů a začíná vždy adresou 0h v registru PCL (stránky nemusí být využity v celém rozsahu).



Obr. 26. Obsazování PC v různých situacích [9]

- Registr PIE1 – Tento registr obsahuje jednotlivé povolávací bity pro přerušení při komunikaci s okolím.
- Registr PIR1 – PIR1 registr obsahuje jednotlivé příznaky vnějších komunikačních nastavení v registru PIE1.
- Registr PIE2 – PIE2 registr obsahuje řídicí bit pro povolení přerušení od modulu CCP2 portu C.
- Registr RIR2 – Obsahuje příznakový bit pro přerušení od modulu CCP2.
- Registr PCON – Registr PCON obsahuje příznakový bit povolující rozlišit mezi Power-on Reset (zapnutím napájení) a vnějším resetem na vývodu MCLR nebo WDT resetem.

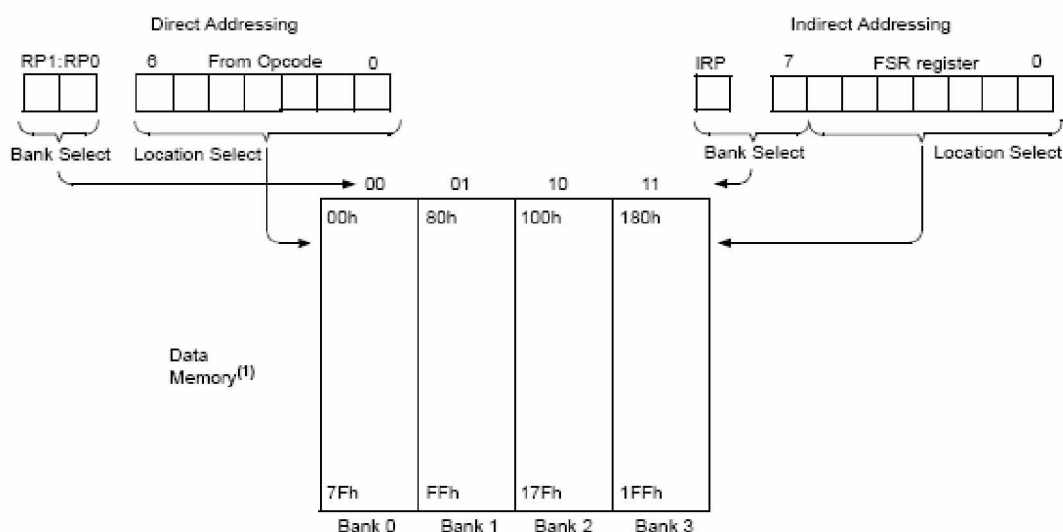
3.3.3 Zásobník adres STACK

PIC16F877 má STACK „hluboký“ 8 slov o šířce 13 bitů. STACK není součástí ani jedné paměťové banky a není přístupný ani ukazatel na adresu ve STACKu. PC je uložen do STACKu, pokud je vykonávána instrukce CALL, nebo je přijat požadavek na přerušení. Adresa ze STACKu je vyjmuta při instrukcích RETURN, RETLW RETFIE. PCLATH není ovlivněn při ukládání nebo vyjímání ze STACKu.

STACK pracuje jako kruhový zásobník, po uložení deváté hodnoty je ve STACKu touto hodnotou přepsána 1. uložená návratová adresa (uložení 10 hodnoty přepíše 2. návratovou adresu atd.).

3.3.4 Nepřímé adresování a registry INDF a FSR

Registr INDF není skutečný fyzický registr, adresováním registru INDF je umožněno nepřímé adresování. Každá instrukce využívající registr INDF přistupuje vlastně k datům, na které je ukázáno registrem FSR. Vlastní čtení registru INDF dává výsledek 00h. Zápis do registru INDF zdánlivě končí bez výsledku, ale příznakové bity mohou být ovlivněny (adresování přes registr IRP, 9-bitová adresa je spojena s 8-bitovým registrem FSR a bitem IRP -STATUS bit 7).



Obr. 27. Přímé (Direct addressing)/ nepřímé (Indirect addressing) adresování [9]

3.3.5 Stránkování programové paměti

PIC16F877A má 8kB programové paměti, ale instrukce CALL a GOTO mohou adresovat pouze 11-bitovou adresovou oblast. Těchto 11bitů umožňuje větvit program v 1 stránce paměti, tj. 2kB. Aby bylo těmito instrukcím umožněno adresovat celý paměťový prostor, je nutné specifikovat paměťovou stránku. Tento stránkovací bit je v registru PCLATH <4:3>. Pokud je prováděna instrukce CALL nebo GOTO, musí uživatel zajistit, že tento bit ukazuje na požadovanou stranu paměti. Ale do STACKu ukládaná návratová

instrukce, následující po vykonávané instrukce CALL (nebo přerušení), má plný počet bitů adres (tj. 13 bitů), proto není požadovaná manipulace se stránkovacím bitem v registru PCLATH <4:3> pro návratové instrukce, které vyjímají adresu ze STACKu.

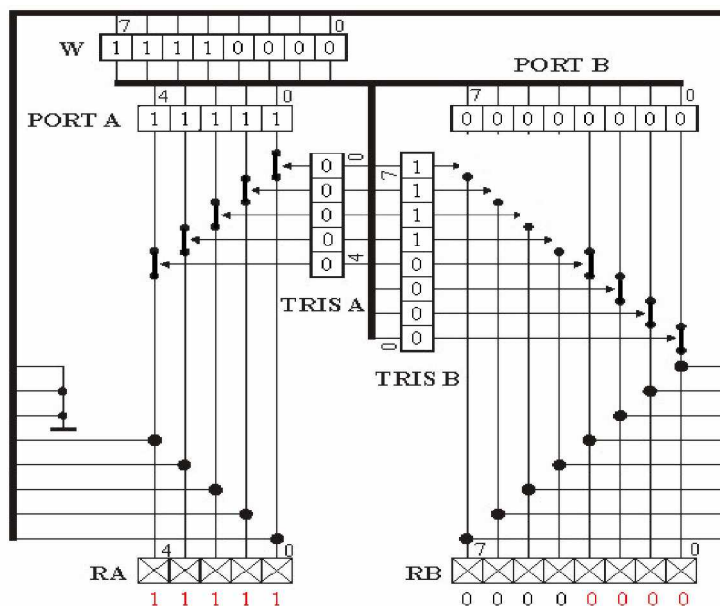
3.4 Porty

Port je registr, jehož binární stavy jednotlivých bitů jsou fyzicky vyvedeny na jednotlivé piny obvodu procesoru. Zapišeme-li binární informaci do portu, tak se nám zapsané logické stavy elektricky objeví na příslušných výstupech procesoru. PIC16F877A má 5 portů, port A až port E. Funkce vývodů u těchto portů mohou být měněny v závislostech na požadovaných periferních funkcích (funkce, provedení jednotlivých pinů jsou uvedeny v kapitole 3.2.1).

3.4.1 Operační registr W a TRIS registry

U mikroprocesoru PIC se vždy vyskytuje speciální operační registr, který se značí W. Tento registr nemá definovanou pevnou adresu. Provádějí se v něm veškeré aritmeticko-logické operace (dekadický součet nebo rozdíl, logický součin nebo bitové posuny apod.). Přes tento registr se také realizují všechny přesuny dat, neexistuje způsob jak přenést data z jednoho paměťového místa přímo na druhé.

TRIS registry – výstupy TRIS registrů ovládají spínače, které připojují k pinům výstupy registrů portů (vstupně/výstupních bran) A – E. Je-li v příslušném TRIS registru jednička, pak je odpovídající spínač rozepnut, vývod mikrokontroléru je zapojen jako vstup na sběrnici, která vede na vstup registru W – pin je nastaven jako vstup (I). Je-li v příslušném TRIS registru nula, je spínač sepnut, výstup portu je připojen přímo na vývod mikrokontroléru – pin je nastaven jako výstup (O).



Obr. 28. Princip ovládání portů přes TRIS registry (zapojení pro port A, B) [7]

3.4.2 Port A

Port A má šířku 6 bitů. Všechny I/O vývody mají řídicí bit pro směr toku dat (TRIS A), kterým může být každý z vývodů nastaven jako vstup, nebo výstup, nezávisle na ostatních. Řídicí registr portu A (TRIS A) určuje směr toku dat na vývodech portu A i v tom případě, jsou-li nastaveny jako analogové. Při použití jako analogových, se musí zajistit jejich nastavení v registru TRIS A jako vstupní.

3.4.3 Port B

Port B má šířku 8 bitů. Odpovídající směry toku dat jednotlivých vývodů se nastavují v registru TRIS B. Čtyři obvody portu B <7:4> mají při příslušném nastavení schopnost vyvolat přerušení při změně stavu, avšak tato schopnost je dána pouze vývodům nastaveným jako vstupní. Stav na vstupních vývodech je porovnáván se stavem při posledním čtení portu B. Příznakem přerušení je bitový příznak RBIF (registr INTCON).

3.4.4 Port C

Port C je obousměrný port se šířkou 8 bitů. Každý z vývodů je možné nastavit individuálně jako vstupní nebo výstupní pomocí odpovídajících bitů v registru TRIS C. Hodnota „1“ v bitu <7> registru TRIS C nastavuje příslušný vývod portu C jako vstupní.

Vývody portu C mají volitelných mnoho dalších funkcí. Na vstupu mají vývody portu C Schmittův obvod.

3.4.5 Port D

Port D je obousměrný port se šířkou 8 bitů, každý z vývodů (RD0 – RD7) je možné nastavit individuálně jako vstupní nebo výstupní pomocí odpovídajících bitů v registru TRIS D.

3.4.6 Port E

Port E má pouze 3 vývody, které je možné jednotlivě nastavit jako vstupní nebo výstupní. Jako vstupní mají Schmittův vstup.

3.4.7 Synchronní sériový port (SSP)

Funkční modul (Synchronní Sériový Port – SSP) je sériová linka, plně použitelná ke komunikaci s vnějšími obvody, nebo s jiným mikrokontrolérem. Obvodem, se kterým se komunikuje přes tento interface, může být sériová EEPROM, posuvný registr, budič displeje, A/D převodník apod. Tento modul může pracovat v jednom z těchto režimů:

- Serial Peripheral Interface (SPI)
- Inter-Integrated Circuit (I²C)

Režim SPI umožňuje současně (synchronně) vysílat a přijímat 8-bitová data. Pro komunikaci používá 3 vývody (pro režim SLAVE 4 vývody):

- Výstup sériových dat (SDO)
- Vstup sériových dat (SDI)
- Hodinový signál (SCK)

Sběrnice I²C je dvou vodičový interface. Ve standardním režimu má rychlost datového přenosu 100 kB/s a ve vylepšené verzi (v rychlém režimu) 400 kB/s.

3.4.8 Paralelní port

Port D je schopný pracovat jako 8-bitový paralelní mikroprocesorový port. Toto je řízeno nastavením řídicího bitu PSPMODE (registru TRIS E <4>) na „1“, v tomto režimu

jsou asynchronní čtení i zápis řízeny po třívodičové řídicí sběrnici signály, které jsou na portu E a vývody v registru TRISE musí být nastaveny jako vstupní.

3.5 Časovací moduly

Mikrokontroléry PIC16F877A mají tři časovače/čítače (TMR0, TMR1, TMR2). Každý je schopen generovat přerušení a indikovat jej, pokud nastalo (např. přetečení čítače). Pro zlepšení časové základny mohou být použity s TMR1 nebo TMR2 dva další moduly – CAPTURE1/COMPARE1/PWM1 (CCP1), CAPTURE2/COMPARE2/PWM2 (CCP2).

3.5.1 Předdělič

Tvoří jej 8-bitový čítač, který je využitelný jako „předdělič“ (volba rozsahu - prescaler) pro modul TMR0 nebo jako „děličem po“ pro WDT. Předdělič může být pouze jeden a lze ho přiřadit buď k modulu TMRx nebo WDT.

3.5.2 Modul TIMER 0 (TMR0)

Funkční modul TMR0 (označován také RTCC) je jednoduchý 8-bitový čítač s detekcí přetečení. Zdrojem hodinového signálu může být vnitřní hodinový signál ($f_{osc}/4$), nebo vnější hodinový signál. Pokud je vybrán vnější hodinový signál, je možné zvolit také hranu (sestupná/vzestupná) tohoto signálu, na kterou bude obsah čítače zvyšován. K TMR0 může být programem přiřazen volitelný předdělič. Tento předdělič může být programem přiřazen buď k TMR0 nebo k čítači WDT (WatchDog Timer). Registr OPTION (bity PSA a PS2 – PS0) určují hodnotu dělicího poměru. Dělicí poměry jsou: 1:1 (jen pro WDT), 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128, 1:256 pro TMR0 i WDT.

Synchronizace vnějšího hodinového signálu s vnitřním nastává až za tímto předděličem. Je-li použit dělič, může být vnější hodinový kmitočet na vstupu vyšší než systémový kmitočet ($f_{osc}/4$), maximálně však 50 MHz. Pokud je zvolen vnější hodinový signál pro TMR0, může být vybrána pro zvyšování obsahu čítače sestupná nebo vzestupná hrana.

Přerušení je modulem TMR0 generováno tehdy, pokud obsah registru čítače/časovače (TMR0) přetéká z hodnoty FFh do 00h. Přerušení od TMR0 není schopno oživit obvod, nachází-li se ve stavu SLEEP.

Modul TMR0 má následující vlastnosti:

- 8-bitový registr
- Je povoleno čtení a zápis
- 8-bitový programovatelný předdělič
- Volba vnitřní/vnější zdroj hodinového signálu
- Přerušení při přetečení (FFh do 00h)
- Výběr hrany pro vnějším vstupním hod.signálu

3.5.3 Modul TIMER 1 (TMR1)

TMR1 je 16-bitový čítač/časovač. Zdrojem hodinového signálu mohou být vnitřní systémové hodiny ($f_{osc}/4$), vnější hodinový signál, nebo externí krystal. TMR1 může pracovat jako čítač nebo časovač. Když pracuje jako čítač (vnější zdroj hodinového signálu), může pracovat synchronizovaně se systémovým hodinovým signálem ($f_{osc}/4$), nebo asynchronně. Asynchronní funkce umožňuje čítat i ve stavu SLEEP, tak je plně využitelný pro aplikace, které potřebují reálný čas i během stavu SLEEP, ve kterém mikrokontrolér snižuje spotřebu ze zdroje.

V režimu časovače je obsah registru TMR1 zvyšován po jedné v každém instrukčním cyklu. V režimu čítače je obsah registru zvyšován po jedné s příchodem každé sestupné/vzestupné hrany signálu vstupu externího hodinového signálu (na vývodu RC0/T10S0/T1CK1).

TMR1 má volitelný předdělič, který umožňuje dělicí poměr signálu: 1:1, 1:2, 1:4, 1:8. TMR1 může být použit pro režim CAPTURE, COMPARE, PWM v modulech CCP1 nebo CCP2. TMR je časovou základnou pro režimy CAPTURE a COMPARE s rozlišením 16 bitů. Použijeme-li TMR1 s CCP1 a CCP2, musí být TMR1 synchronizován se systémovými hodinami ($f_{osc}/4$).

3.5.4 Modul TIMER 2 (TMR2)

TMR2 je 8-bitový časovač (registr), který má dva programově nastavitelné děliče. Předdělič (dělí vstupní signál) a druhý, který dělí výstupní signál („dělič po“). Dále má 8-bitový registr periody (pro PWM) PR2. TMR2 lze použít jak s moduly CCP (PWM), tak i jako generátor rychlostí přenosu pro synchronní sériový port (SSP). Předdělič umožňuje následující dělicí poměry: 1:1, 1:4, 1:16.

„Dělič po“ umožňuje vytvořit registr pro periodu (PR2) a programem určit, kolikrát má přijít žádost o přerušení z TMR2, než projde „děličem po“ a vyvolá skutečně přerušení. „Dělič po“ může být naprogramován na tyto dělicí poměry: 1:1 až 1:16.

3.5.5 Modul CCP1 a CCP2

Moduly CCP mohou pracovat v režimu CAPTURE (s rozlišením 16 bitů), COMPARE (s rozlišením 16 bitů) a pulzně šířkovým modulátorem (PWM) (s rozlišením 10 bitů).

- Režim CAPTURE – Pokud nastane očekávaná událost na vývodu CCPx (RC1 a RC2), uloží do registrového páru CCPRxH/CCPRxL (spodní a horní byte) hodnotu z TMR (TMR1H/TMR1L). Událost je hrana signálu na tomto vývodu a je možné volit mezi vzestupnou a sestupnou hranou, mezi každou hranou, každou čtvrtou hranou nebo každou šestnáctou hranou.
- Režim Compare – Porovnávání obsah registrových párů TMR1H/TMR1L s obsahem registrového páru CCPRxH/CCPRxL. Pokud nastane shoda obsahů, je generováno přerušení a dle požadované funkce nastane:
 - Vývod CCPx nastaven na „1“ nebo „0“
 - TMR1 může být vynulován
 - TMR1 může být vynulován a spuštěn A/D převod
- Režim PWM (pulzně šířkový modulátor) – TMR2 je porovnáván s 10-bitovým registrem určujícím dobu nastavení vývodu CCPx (RC1/CCP2, RC/CCP2) na „1“ a s 8-bitovým registrem doby periody PR2. Je-li obsah TMR2 shodný s obsahem registru PR2, je TMR2 vynulován (obsah 00h), může být generováno přerušení a

vývod CCPx je nastaven na „1“. Jestliže je obsah TMR2 shodný s obsahem registru CCPxL, je příslušný vývod CCPx nastaven na „0“.

3.6 SCI – sériová linka

Modul SCI (sériový komunikační interface) může pracovat v jednom ze dvou režimů. Buď jako plně duplexní asynchronní systém komunikující s okolím, nebo může být konfigurován jako poloduplexní synchronní systém, který může komunikovat se zařízením jako A/D převodníky, sériové EEPROM atd. Funkční modul SCI je tedy možné konfigurovat do následujících režimů funkce:

- Asynchronní (plně duplexní)
- Synchronní – MASTER (poloduplexní)
- Synchronní – SLAVE (poloduplexní)

3.6.1 Asynchronní režim

V tomto režimu je používán standardní NRZ formát (jeden start bit, 8 nebo 9 datových bitů a jeden stop bit). Společný datový formát je většinou 8-bitový. 8-bitový generátor rychlosti integrovaný na čipu může být použit pro zmenšení standardní přenosové rychlosti, dělením kmitočtu oscilátoru. Vysílač a přijímač modulu SCI jsou funkčně nezávislé, ale musí být použita stejná rychlost přenosu a stejný datový formát.. Asynchronní režim je během stavu SLEEP zastaven. Modul SCI v asynchronním režimu obsahuje tyto součásti:

- Generátor rychlosti přenosu (BRG) – BRG podporuje nejen režim asynchronní, ale i synchronní. Řídící registr SPBRG určuje periodu volně běžícího 8-bitového čítače. V asynchronním režimu řídící bit (BRGH) řídí rychlost přenosu (baud rate). V synchronním režimu je tento bit ignorován.
- Vzorkovací obvod (SC) - Data na vstupním vývodu RX jsou vzorkována 3x hlavním detekčním obvodem a určuje se, zda je na vývodu přítomna úroveň „0“ (nízká rychlost přenosu), nebo „1“ (vysoká rychlost přenosu). Podle této rychlosti je následně vzorkována.

- Asynchronní vysílač (AT) – Hlavní částí AT je vysílací (sériový) posuvný registr (TSR), tento registr obdrží svá data z přijímacího/vysílacího zásobníku přenosu (TXREG). Data do registru TXREG jsou dána programem.
- Asynchronní přijímač (AR) – Data přicházejí na vývod RX a budí vstupní blok, tyto data jsou vysokou rychlostí posouvána, neboť hlavní blok přijímače a sériový posuvný registr pracují až na kmitočtu oscilátoru (F_{osc}).

3.6.2 Synchronní režim master

V synchronním režimu MASTER jsou data přenášena v poloduplexním režimu. Vysílání a příjem neprobíhá současně, ale postupně. Nejprve jsou data vysílána, potom přijímána, nebo naopak (opačná činnost je mezitím zakázána). Synchronní režim je možné nastavit řídicím bitem SYNC na „1“ (registru TXSTA).

3.6.3 Synchronní režim SLAVE

V režimu SLAVE (synchronní), na rozdíl od režimu MASTER, je hodinový signál na vývodu CK pro posun dat přijímán (není obvodem generován). To umožňuje obvodu přijímat data i ve stavu SLEEP. Režim SLAVE je zvolen nulováním řídicího bitu CSRC (registru TXSTA).

3.7 Modul A/D převodníku

A/D převodník umožňuje převod analogového signálu na odpovídající 10-bitové číslo. Funkční modul A/D převodníku má 8 analogových vstupů, ty jsou multiplexně přepínány k zesilovači SAMPLE & HOLD. Výstup ze zesilovače vstupuje do bloku A/D převodníku, který generuje výsledek postupnou aproximací. Referenční napětí pro A/D převodník je možné vybrat programově mezi napájecím napětím mikrokontroléru (V_{DD}), nebo napětíovou úrovní na vývodu RA/AN3/ V_{REF} . A/D převodník může pracovat ve stavu SLEEP. S modulem A/D převodníku spolupracují 4 registry:

- Registr výsledků A/D převodníku ADRESH
- Registr výsledků A/D převodníku ADRESL
- Řídicí registr 0 pro A/D převodník ADCON0

- Řídicí registr 1 pro A/D převodník ADCON1

Řídicím registrem ADCON0, se volí funkce A/D převodníku a řídicím registrem ADCON1, se nastaví funkce jednotlivých vývodů portu A. Jednotlivé vývody portu A mohou být nastaveny jako analogový vstup, nebo digitální vstup/výstup.

- Registr ADCON0

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7							bit 0

Obr. 29. Registr ADCON0 (řídicí registr A/D převodníku)

- ADON – Zapíná modul A/D převodníku.

1 = zapnut

0 = vypnut

- GO/DONE – Příznakový bit A/D převodníku.

1 = nastavením tohoto bitu na „1“ startuje A/D převod

0 = Tento bit je automaticky vynulován po dokončení A/D převodu.

- CHS<2:0> - Výběr analogového kanálu.

- ADCS<1:0> - Výběr oscilátoru pro A/D převod.

- Registr ADCON1

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Obr. 30. Registr ADCON1 (řídicí registr A/D převodníku)

- PCFG<3:0> - A/D konfigurační bit (kombinace bitů určují pin)

- ADFM – A/D formát registru výsledků

§ 1 = použit registr ADRESH

§ 0 = použit registr ADRESL

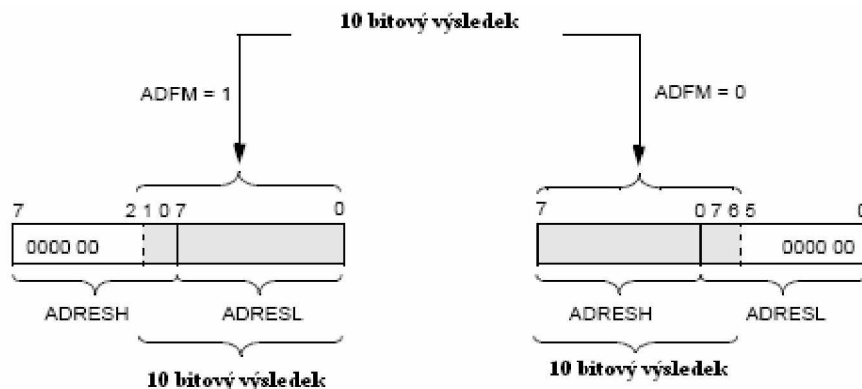
3.7.1 A/D převod

Registry ADRESH nebo ADRESL obsahují 10-bitový výsledek posledního převodu. Když je A/D převod hotov, je nulován příznakový bit GO/DONE, nastaven příznakový bit přerušení (ADIF) a vyvoláno přerušení, není-li zakázáno. Po inicializaci modulu A/D převodníku, je vybrán kanál (musí být jako vstup nastaveny v TRIS registru), a teprve potom spuštěn A/D převod. Čas potřebný k získání napětí pro analogový převod = vzorkovací čas (sample time).

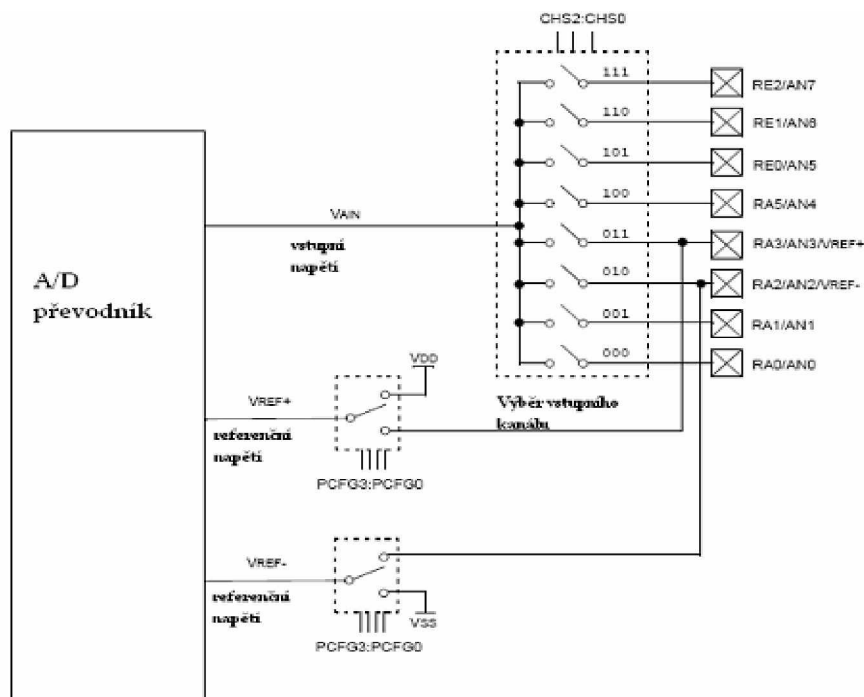
Postup při provádění A/D převodu:

1. Nastavení A/D převodníku (konfigurace analogových vstupů, výběr kanálu, výběr hodinového signálu, zapnutí funkčního modulu A/D převodníku).
2. Nastavení přerušení od A/D převodníku (nulování bitu ADIF, nastavení řídicích bitů ADIE...).
3. Zajistit požadovaný vzorkovací čas.
4. Spustit převod (nastavení řídicího bitu GO/DONE).
5. Čekat na dokončení A/D převodu (na nulování bitu GO/DONE, nebo na přerušení).
6. Čtení výsledku z registrů ADRESH, ADRESL.
7. Pro další A/D převod opakovat od kroku 1 (2), dle požadavků.

Na následujícím obrázku je ukázáno použití registrů ADRESH, ADRESL a řídicího bitu ADFM (registr ADCON1).



Obr. 31. Použití registrů ADRESH, ADRESL a bitu ADFM (registr ADCON1) [9]



Obr. 32. Blokové schéma A/D převodníku [9]

3.7.2 Vysoká rychlost převodu – nízké rozlišení

Pro okamžité měření IR záření a následné zobrazení této hodnoty je nutná vysoká rychlost převodu. Ne všechny aplikace požadují rozlišení na plných 10 bitů, ale naopak požadují rychlejší převod. Modul A/D převodníku umožňuje uživateli obětovat rozlišení za rychlost převodu. Bez ohledu na požadované rozlišení, je vzorkovací čas stejný.

Aby se dosáhlo rychlejšího převodu, musí být hodinový signál převodníku přepnut tak, že doba T_{AD} bude nižší než minimální specifikovaná doba. Jakmile doba T_{AD} bude nižší, než požadovaná minimální, všechny výsledky budou nepřesné. Hodinový signál pro převodník může být přepínán pouze mezi třemi kmitočty oscilátoru a nemůže být zapínán a vypínán RC oscilátor. Pro správný A/D převod musí mít vybraný hodinový signál minimální dobu $T_{AD} \geq 1.6 \mu s$. Čas T_{AD} kratší než minimálních $1,6 \mu s$ způsobí, že bity nebudou převedeny správně, tím se dosáhne rychlejšího převodu (při nižším rozlišení). Tabulka č. XIII ukazuje výsledný čas T_{AD} získaný při zvoleném zdroji pracovního kmitočtu pro A/D převodník, při různém kmitočtu oscilátoru.

Tabulka XIII. Doba T_{AD} v závislosti na F_{OSC}

Zdroj hodinového signálu		Pracovní frekvence	
Pracovní	Bity ADSC1:ADSC0 (registru ADCON0)	20 MHz	5 MHz
$2T_{OSC}$	00	100 ns	400 ns
$8T_{OSC}$	01	400 ns	1.6 ns
$32T_{OSC}$	10	1.6 μs	6.4 μs
RC	11	4 μs	4 μs

3.7.3 Funkce A/D převodníku během stavu SLEEP

Modul A/D převodníku může pracovat i během doby, kdy je procesor ve stavu SLEEP. Pro stav SLEEP musí být použit RC oscilátor jako zdroj hodinového signálu pro A/D převodník. Po výběru RC oscilátoru převodník čeká po dobu jednoho instrukčního cyklu před započítáním A/D převodu, toto umožní vykonat instrukci SLEEP pro odstranění případného šumu vznikajícího změnou stavu na vývodech nastavených jako digitální vstupy/výstupy. Je-li převod ukončen, je nulován bit GO/DONE a výsledek je umístěn do registru ADRESx (registr ADRESH nebo ADRESL). Je-li povoleno vyvolání přerušení, je aktivován ze stavu SLEEP. Není-li přerušení povoleno, zůstane obvod ve stavu SLEEP a bit ADON (registr ADCON0, bit pro zapínání modulu A/D převodníku) zůstane nastaven na „1“.

3.7.4 Vliv RESETu na A/D převod

RESET obvodu způsobí, že všechny registry získají „reset“ stav. Reset způsobí, že modul A/D převodníku bude vypnut, převod bude přerušen. Hodnota, která je v registru ADRESx, není měněna při zapnutí napájení (Power-on reset – POR). Registr ADRESx může po RESETu, způsobeném zapnutím napájení (POR) obsahovat nedefinovanou hodnotu.

3.8 Speciální vlastnosti CPU

Mikrokontrolér obsahuje obvodové moduly pro použití v aplikacích pracujících v reálném čase. Rodina mikrokontrolérů PIC16F8x má vlastnosti zvyšující spolehlivost systému a minimalizující cenu zmenšením počtu potřebných vnějších součástek. Dále umožňuje úsporný pracovní režim (snížená spotřeba stav – SLEEP) a ochranu programového kódu. Mezi tyto speciální vlastnosti CPU patří:

- Výběr oscilátoru
- Resetování:
 - § Power-on reset (POR). Reset po zapnutí napájení
 - § Power-up Timer (PWRT). Reset pro odčasnování určité doby (pevně je dáno 72 ms) od zapnutí napájení
 - § Oscilátor Start-up Timer (OST). Reset po odčasnování od signálu PWRT, aby se zajistil spolehlivý start oscilátory
 - § Brown-out Reset (BOR)
- Přerušení (Interrupts)
- Watchdog Timer (WDT)
- SLEEP stav
- Ochrana programového kódu proti čtení a zápisu
- Sériové programování v koncové aplikaci
- ID locations
- In-circuit debbuger
- Nízké napětí při sériovém programování v koncové aplikaci

Nastavení jednotlivých vlastností obsahuje konfigurační byte na adrese 2007h.

CP1	CP0	DEBUG	—	WRT	CPD	LVP	BODEN	CP1	CP0	PWRT $\overline{E}$	WDTE	F0SC1	F0SC0
bit13										bit0			

Obr. 33. Konfigurační byte

- FOSC<1:0> - Volba typu oscilátoru
 - 11 = RC oscilátor
 - 10 = HS oscilátor
 - 01 = XT oscilátor
 - 11 = LP oscilátor
- WDTE – Volba WDT
 - 1 = Povolen
 - 0 = Zakázán
- PWRTS – Volba odčarování po zapnutí napájení
 - 1 = Odčarování (a reset) povolen
 - 0 = Odčarování (a reset) zakázán
- CP<1:0> - Volba ochrany programového kódu
 - 11 = Ochrana vypnuta
 - 10 = Ochráněna horní polovina paměti
 - 01 = Ochráněny horní ¾ paměti
 - 00 = Ochráněna celá paměť
- BODEN – BOR povolen/zakázán
 - 1 = Povolen
 - 0 = Zakázán
- LVP - Nízké napětí při sériovém programování v koncové aplikaci
 - 1 = Povolen (na pinu RB3)
 - 0 = Zakázán
- CPD – Kódová ochrana EEPROM datové paměti
 - 1 = Ochrana vypnuta
 - 0 = Ochrana zapnuta

- WRT – Povolení zápisu do FLASH programové paměti
 - 1 = Může být zapisováno
 - 0 = Nemůže být zapisováno
 - DEBUG – In-circuit odlaďovací mód
 - 1 = Zakázán
 - 0 = Povolen (piny RB6 a RB7)
- CP<1:0> (bity 12 a 13) – Kód ochrany bitů FLASH paměti (stejně jako bity 4 a 5)

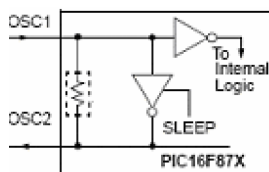
Konfigurační bity „pojistky“ – Tyto bity mohou být programovány („0“), nebo neprogramovány („1“) podle požadované konfigurace obvodu. Nacházejí se v paměti na adrese 2007h. Tato adresa je ve zvláštním adresovém prostoru (testovací/konfigurační prostor), který je přístupný pouze při programování.

3.8.1 Výběr oscilátoru

PIC 16F8x může pracovat se čtyřmi rozdílnými typy oscilátorů. Naprogramováním dvou konfiguračních bitů FOSC0, FOSC1 se vybere jeden z těchto čtyř režimů:

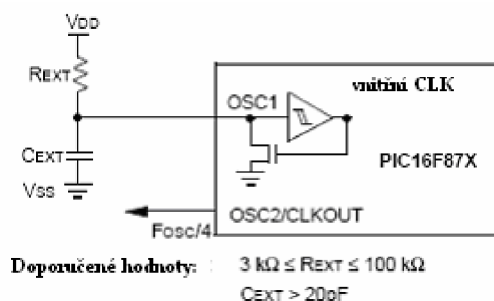
- LP (Lower Power Crystal – snížený odběr napájení)
- XT (Crystal – normální)
- HS (High Speed Crystal – vysoký kmitočet)
- RC (RC oscilátor – vnější RC)

V režimech XT, LP nebo HS je krystal nebo keramický rezonátor připojen k vývodům OSC1 a OSC2. Oscilátor u PIC 16F8x potřebuje krystal s paralelní rezonancí, při použití krystalů se sériovou rezonancí může být výsledný kmitočet jiný než specifikovaný u krystalu. Je-li zvolen režim XT, LP nebo HS, může mít obvod vnější hodinový signál, kterým je buzen vývod OSC1.



Obr. 34. Krystal nebo keramický rezonátor (XT, LP nebo HS) [9]

Pro aplikace, ve kterých nejsou vysoké požadavky na časování, je možné použít interní RC oscilátor přidáním pouze dvou prvků – R a C. Kmitočet RC oscilátoru je funkcí napájecího napětí, hodnoty externího rezistoru (R_{EXT}), kondenzátoru (C_{EXT}) a pracovní teploty. Schéma RC oscilátoru je na následujícím obrázku.



Obr. 35. RC oscilátor [9]

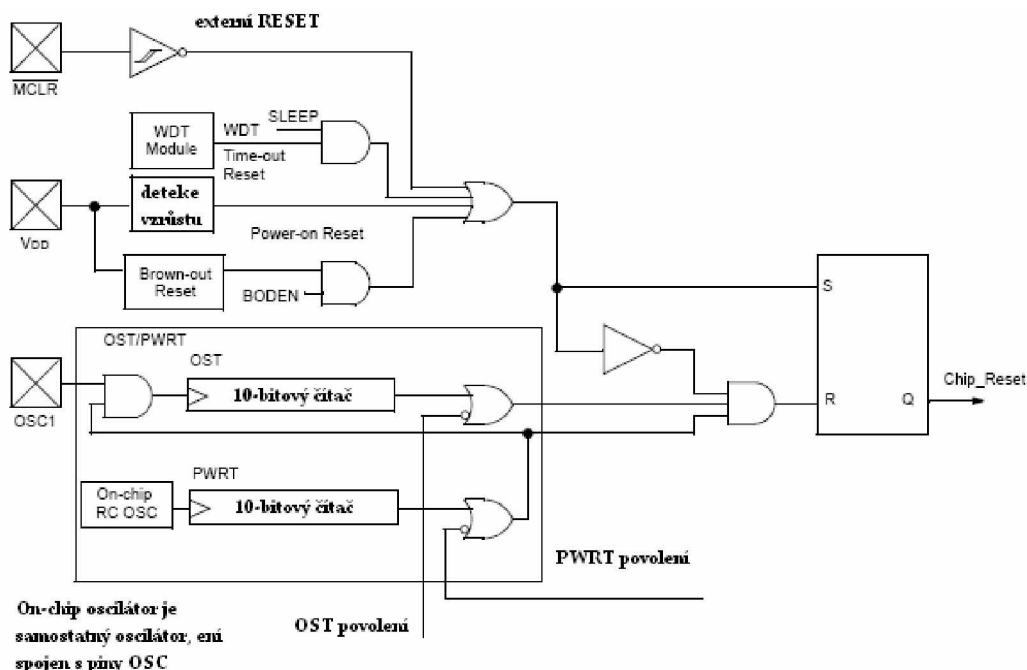
3.8.2 RESET

Obvod řady PIC 16F8x rozlišuje mezi těmito jednotlivými druhy Resetů:

- POR, reset při zapnutí napájení (POR)
- MCLR reset během činnosti
- MCLR reset během doby, kdy je CPU ve stavu SLEEP
- WDT reset během normální činnosti
- WDT reset během doby, kdy je CPU ve stavu SLEEP
- Brown-out reset (BOR)

Registry se chovají při jednotlivých RESETech různě. Například obsah registru STATUS je neznámý po zapnutí napájení (POR) a není měněn při ostatních RESETech. Většina registrů je nastavena do „reset“ stavu při zapnutí napájení, při MCLR a WDT během normální činnosti, MCLR během stavu SLEEP a BOR resetu. Registry nejsou ovlivněny resetem od WDT během stavu SLEEP, protože tento reset je chápán jako

znovuobnovení obsahu. Příznaky TO a PD (registru STATUS) jsou nulovány, nebo nastaveny na „1“, podle situace, která reset vyvolala.



Obr. 36. Zjednodušené schéma resetovacích obvodů integrovaných na čipu [9]

- **Power-On Reset (POR)** – Reset po zapnutí napájení. Tento resetovací impuls je generován, jestliže napájecí napětí dosáhne hodnoty 1.2V až 1.7V. Reset POR je výhodný zejména, je-li vývod MCLR spojen přímo, nebo přes odpor s napájecím napětím. To odstraňuje nutnost externích součástek obvykle nutných k resetování obvodu při zapnutí napájení, je-li požadována minimální doba nárůstu napájecího napětí (POR neresetuje obvod, pokud napájecí napětí klesá).
- **Power-up Timer (PWRT)** – Reset po odčarování 72 ms od ukončení signálu POR. PWRT generuje resetovací impuls 72 ms (je-li povolena tato funkce) po resetovacím impulsu POR. Tento časovač pracuje s vnitřním vlastním oscilátorem (nezávislým na kmitočtu oscilátoru obvodu). Obvod je držěn v „reset“ stavu tak dlouho, dokud je tento signál resetu aktivní. Tento reset je vhodný při pomalém nárůstu napájecího napětí. Reset je možné zvolit povolením konfiguračního bitu.
- **Oscilátor Start-up Timer (OST)** – Vytváří prodlevu pro rozběh oscilátoru. Oscilátor OST zajistí RESET obvodu zpožděný o 1024 hodinových cyklů po skončení resetovacího impulsu PWRT. Tím se zaručí, že signál krystalového oscilátoru, nebo keramického rezonátoru je již stabilní. Signál OST je vyvolán pouze pro režim

oscilátoru XT, LP, HS a pouze současně s aktivní volbou POR nebo probuzením ze stavu SLEEP.

Tabulka XIV. Časování resetů v různých situacích

Konfigurace oscilátoru	Konfigurace PWRT		Brown-out	Probuzení z režimu SLEEP
	PWRT =1	PWRT =0		
XT, HS,LP	72 ms + 1024 t_{OSC}	1024 t_{OSC}	72 ms + 1024 t_{OSC}	1024 t_{OSC}
RC	72 ms	-	72 ms	-

- Brown-Out Reset (BOR) – Nastavuje se konfiguračním bitem BODEN. Tento reset proběhne tehdy, když napájecí napětí V_{DD} klesne pod napětí V_{BOR} (4V) na delší dobu než 100 μ s. Lze použít, když V_{DD} vzroste nad V_{BOR} .

Registr PCON (Power Control) - Je řídicí/stavový registr napájení, který má pouze dva bity (POR, BOR). Stav POR je nulován při zapnutí napájení, jinak jeho obsah není ovlivněn. Hodnotu tohoto bitu musí uživatel po zapnutí napájení nastavit na „1“. Pokud je po resetu zjištěn obsah tohoto bitu „0“, znamená to, že došlo k resetu od zapnutí napájení (např. napájecí napětí kleslo příliš nízko). BOR bit je neznámí po resetu. BOR bit má hodnotu „1“, jestliže proběhne Brown-out reset (BOR).

3.8.3 Přerušení

Obvody rodiny PIC16F8x mají 14 zdrojů přerušení (např. externí přerušení na vývodu RB0/INT, přerušení od TMR0, TMR1, TMR2, od modulu CCP1, CCP2, po dokončení A/D převodu, SCI vysílač, SCI přijímač, SCI, od portu B, od sériového, paralelního portu).

V registru INTCON, který řídí přerušení se nacházejí individuální řídicí bity a příznaky jednotlivých přerušení. Tento registr obsahuje globální řídicí bit (GIE), který umožňuje zakázat/povolit všechna zvolená přerušení. Při resetu je tento bit nulován, což znamená, že jsou všechna přerušení zakázána. Pomocí instrukce RETFIE lze povolit všechna přerušení ve stejném okamžiku.

Příznaky pro přerušení od okolí jsou obsaženy v registru PIR1 a PIR2. Odpovídající řídicí bity pro povolení/zakázání přerušení jsou v registru PIE1 a PIE2. Globální bit pro povolení komunikace s okolím PEIE v registru INTCON může být blokován globálním řídicím bitem GIE.

Jakmile dojde nezakázané přerušení, je nulován příznakový bit GIE, a tím je zakázáno přijetí dalšího přerušení. Návratová adresa (adresa další informace) je uložena do STACKu, do PC (programový čítač) je nahrána adresa 0004h a prováděná instrukce je dokončena. Program skočí na adresu 0004h, kde je rutina pro obsluhu přerušení. Podle příznaků je přerušení identifikováno a obslouženo. Příznakové bity musí být programově nulovány před povolením dalšího přerušení (opuštěním obslužné rutiny) Při vyvolání přerušení je nutné programově zajistit uložení W registru, příznaků, registrů a dalších dat (uložení obsahu registrů při přerušení).

Externí přerušení na portu RBO/INT je spouštěno buď sestupnou („1“) nebo vzestupnou („0“) hranou. Pokud se zvolená hrana objeví na vývodu RB0/INT, je nastaven příznakový bit INTF na „1“. Toto přerušení může být zakázáno nulováním řídicího bitu INTE (registr INTCON). Příznakový bit INTF musí být programově nulován, než je povolení opět povoleno. Toto přerušení obnoví funkce mikrokontroléru, pokud je ve stavu SLEEP, a pokud bylo přerušení povoleno před uvedením mikrokontroléru do stavu SLEEP. Příznakový bit GIE rozhoduje o tom, zda bude, nebo nebude vyvoláno přerušení, ale ne o tom, zda CPU bude oživen ze stavu SLEEP.

3.8.4 WDT (Watchdog Timer)

Tento časovač (WDT) je realizován na čipu jako volně běžící RC oscilátor a nepotřebuje pro svou funkci žádné vnější součástky. Tento oscilátor je oddělený od RC oscilátoru na vývodu CLKIN. To znamená, že poběží vždy, i když hodinový signál na vývodech OSC1 a OSC2 bude zastaven (např. po vykonávání instrukce SLEEP). Během normální funkce je při přetečení WDT generován reset. Když je CPU ve stavu SLEEP, způsobí, že obvod bude oživen a bude pokračovat normální běh programu. WDT může být zakázán při programování, jeho změna nejde provést žádnou instrukcí. WDT spolupracuje s registrem OPTION a konfiguračními bity.

3.8.5 Stav SLEEP

Do tohoto stavu je možné CPU uvést instrukcí SLEEP. V tomto režimu se šetří napájecí zdroj minimalizováním spotřeby mikrokontroléru. Je-li zvoleno hlídání běhu programu od WDT, bude čítač WDT nulován (taky předdělič, je-li zvolen), ale oscilátor a čítač po nulování poběží dál. Režim SLEEP spolupracuje s příznakovými bity PD a TO v registru STATUS. Pro dosažení nejnižší spotřeby v tomto stavu, by měly být všechny vývody na úrovni V_{DD} , tak aby připojené vnější obvody nezvyšovali odběr proudu. Vývod MCLR by měl být v úrovni „H“, tuto úroveň nemění reset od WDT na log.0.

3.8.6 Ochrana programového kódu

Programový kód v paměti může být chráněn nastavením příslušné ochranné pojistky (konfiguračního bitu CP<1:0>). Je-li tato ochrana programového kódu aktivována, není možné čtením programový kód rekonstruovat.

3.8.7 Sériové programování v koncovém zapojení

Obvody řady PIC16F8x mohou být programovány sériově v aplikačním zapojení (ICSP). Toto programování je snadno proveditelné a připojitelné, to umožňuje osadit desku s nenaprogramovaným obvodem a programovací kód doplnit až podle požadavků na funkci. Speciální funkcí PIC16F8x, je možnost programovat tzv.Low Voltage ICSP programming.

3.8.8 In-circuit debugger

Programy lze odladit přímo pomocí programu MPLAB přes porty RB6,RB7.

3.8.9 ID Locations

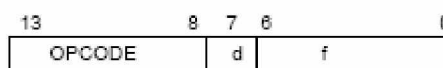
Čtyři paměťové místa (2000h – 2003h) jsou rezervována pro čísla identifikačního kódu.

3.9 Popis instrukcí PIC 16F8x

Každá s instrukcí je jedno slovo široké 14 bitů. Většina instrukcí (kromě větvení programu) se vykonává v jediném cyklu. OPCODE je operační kód specifikující danou instrukci. Instrukční soubor je ortogonální (tzn. každé instrukci je přístupný každý registr) a je rozdělen na:

- Bytově orientované operace (např. ADDWF součet registrů, ANDWF součin registrů...)
- Bitově orientované operace (např. BCF nulování bitu v registru...)
- Instrukce řídící operace (např. SLEEP, CALL volání podprogramu...)

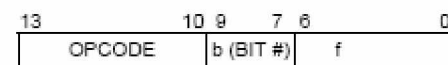
bytově orientované instrukce



d=1 pokud je cílovým registrem registr W

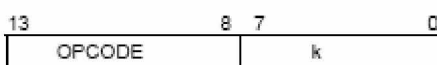
d=0 pokud je cílovým registrem registr f

bitově orientované instrukce

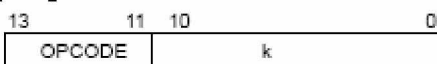


b=3-bitová adresa bitu v registru

instrukce pracující s konstantami a znaky



poze pro instrukce CALL a GOTO



k=8-bitová konstanta/znak

f=7-bitová adresa registru

k=11-bitová instrukce při CALL, GOTO

Obr. 37. Základní formáty instrukcí

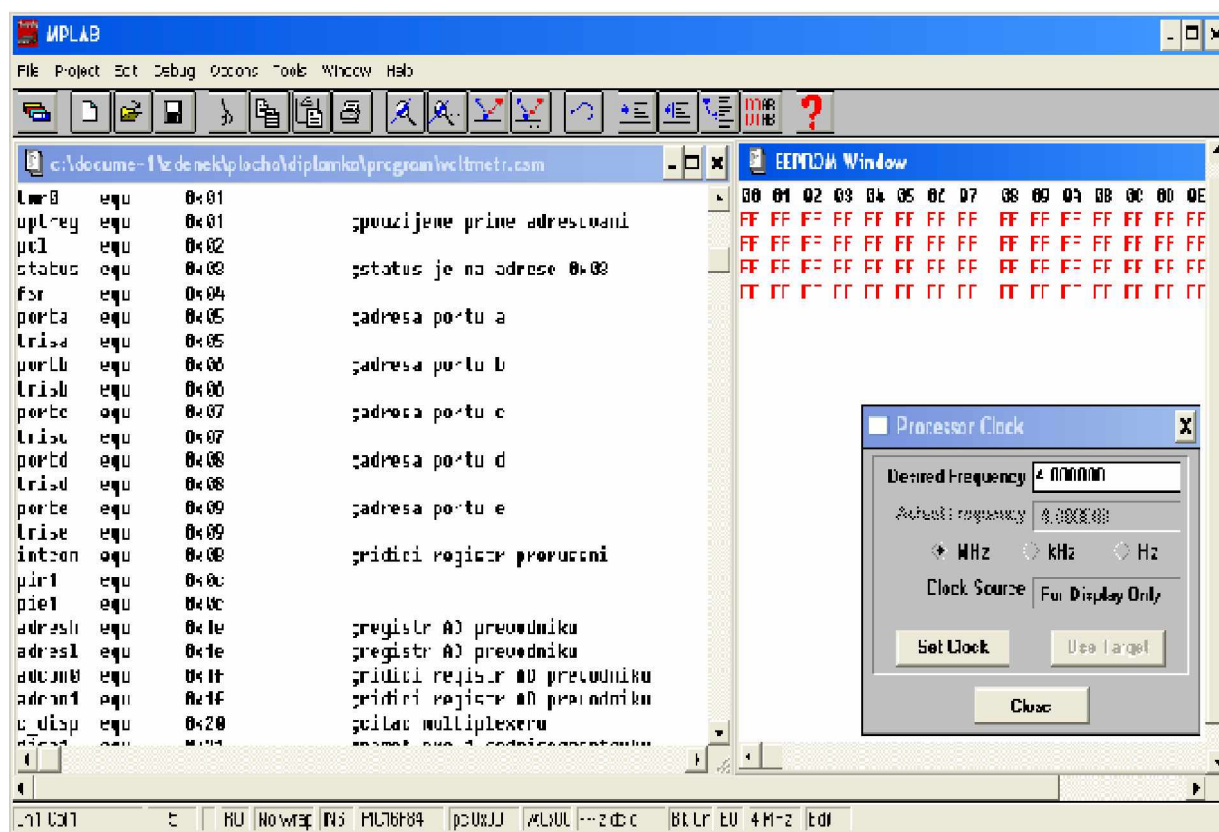
Informace o jednočipovém mikropočítači byly převzaty z pramene [7, 8, 9]

4 VÝVOJOVÉ A PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ

4.1 Vývojové prostředí pro PIC

Základní vývojové prostředí pro mikrokontroléry PIC – MPLAB, dle pramene [12], je program, se kterým je možné napsat program a vygenerovat výsledný soubor se strojovým kódem potřebným pro naprogramování paměti mikroprocesoru.

Vývojové prostředí MPLAB je volně stažitelný software firmy MICROCHIP, běžících pod systémy Windows. Obsahuje textový editor, prostředky pro simulaci programu a jeho krokování, prostředky pro definování různých událostí a sledování stavu jednotlivých proměnných mikroprocesoru. Z programu MPLAB je též možné řídit programátor paměti obvodů PIC, popřípadě emulátor (MU Beta). Program MPLAB dále spolupracuje s externím překladačem jazyka ASSEMBLER (MPASM-součást MPLAB), případně s překladačem jazyka C pro obvody PIC (překladač jazyka C, není součástí prostředí MPLAB).



Obr. 38. Vývojové prostředí MPLAB

IDEA - je volně stažitelné integrované vývojové prostředí v angličtině (češtině) firmy ASIX s.r.o.. IDEA obsahuje: Editor zdrojového textu s podporou otevření více souborů současně, překladač (ASSEMBLER), ladící program (debugger).

SourceBoost - Je překladač vyšších programovacích jazyků C, C++ a Pascal pro mikrokontroléry PIC a Ubicom/Scenix SX. Výhodou těchto překladačů je vyšší výkonnost (např. plná aritmetika) a snadnější přechod mezi různými typy (i výrobci) procesorů.

UP - Software firmy ASIX s.r.o., pro programování mikrokontrolérů PIC, v češtině, podporující ICSP programování.

4.1.1 Emulátor MU Beta

MU Beta firmy Asix, je hardwarový real-time emulátor mikrokontrolérů Microchip PIC v pouzdech od 8 do 18 pinů (pro 40pinové mikroprocesory, lze využít redukce na 8, 18 pinů), do 2Kword paměti programu, včetně typů s A/D převodníkem a analogovými komparátory. Při zachování velmi nízké ceny poskytuje všechny standardní funkce, které uživatel od emulátoru očekává. Obslužný software emulátoru (MPLAB, IDEA), nám monitoruje skutečné stavy procesoru čtené z emulátoru. Analogové periferie jsou navrženy tak, aby se svými parametry co nejvíce blížily originálním periferiím mikrokontroléry.

Přehled vlastností MU Beta:

- Všechny zdroje součástky a veškerý strojový čas jsou k dispozici pro aplikaci
- Napájecí napětí vyvíjené aplikace od 2.5 do 5.5V
- Softwarové nastavení frekvence a dalších parametrů hodin
- Možnost činnosti i bez cílové aplikace
- Velká nabídka možností podmínek pro zastavení (break)
- Flexibilní nastavení resetu
- 32-bitový čítač cyklů
- Flexibilní nastavení watchdogu
- Režim Off-line
- Přehledná indikace pomocí LED

- Rekonfigurovatelný hardware
- Rychlá komunikace s PC pomocí paralelního portu

4.2 Programátor PIQUICK

PICQUICK je velmi rychlý, levný a spolehlivý vývojový programátor firmy ASIX mikrokontrolerů PIC a sériových pamětí EEPROM (Microchip). Jednou z největších výhod programátoru PICQUICK je podpora všech řad a typů PIC - od nejstarších po nejnovější. ICSP (In-Circuit Serial Programming) je programování součástek již osazených na desce a je stále častěji využíváno, PICQUICK tuto funkci přímo podporuje pomocí konektoru a kabelu. PICQUICK je připojen k PC přes paralelní kabel a ovládán pomocí ovládacího softwaru UP, běžící na platformě Windows (starší verze – platforma DOS).

4.3 Monitorování stavu aplikací (INSIDER)

INSIDER, je zařízení firmy ASIX s.r.o., pro monitorování stavu aplikací s libovolným typem mikroprocesorů (PIC, ATMEL, MOTOROLA, ...), nebo jinými programovatelnými číslicovými obvody pracujícími s úrovněmi napětí 3V nebo 5V. Hlavní předností INSIDERu je výrazné zvýšení efektivity při ladění aplikací v reálném čase, i v případech, kde není k dispozici emulátor (jiný ladící prostředek). INSIDER pomocí vstupů CLK, DATA a volitelně EN (hradlování hodin - clock enable)/záchyt dat - latch) umožňuje zobrazení uživatelem generovaných synchronních sériových dat o délce 4/8/12/16 bitů. Základními funkčními bloky INSIDERu jsou 16-bitový posuvný registr, 16-bitový záchytný registr, dekodér do hexadecimálního tvaru a čtyřmístný sedmisegmentový displej.

ZÁVĚR

Hlavním úkolem mé diplomové práce bylo provést studii aplikace jednočipového mikropočítače PIC16F877A a seznámit se s jeho vývojovým a simulačním prostředím, sestavení a odladění programu v assembleru instrukčního souboru procesoru, a to pro měření a vyhodnocování dávek infračerveného záření. Dále rozšířit modul o snímací fotodiodu (fotodiodu + předzesilovač) a odladění programu na vývojovém modulu PVK40.

Výsledkem diplomové práce je přehled o charakteristice a účincích infračerveného záření na lidské oči, o zdrojích a snímačích. Dále diplomová práce obsahuje podrobné informace o hlavních součástech modulu pro měření infračerveného záření, jako je dioda, předzesilovač, vývojová deska PVK40 a hlavně mikropočítač PIC, který je páteří celého projektu. Dále vznikl program v assembleru instrukčního souboru umožňující nám simulovat (pomocí natočení TRIMR1 na PVK40) okamžité měření záření, jehož dekadická hodnota se zobrazuje na 4místném sedmisegmentovém displeji PVK40 a to při plném využití vlastností PIC16F877A. Proběhla diskuze o možnostech periodického měření a ukládání naměřených údajů do různých typů pamětí. Výsledkem diskuze byla možnost využít obvodu reálného času pro periodické měření hodnoty IR záření a pro ukládání naměřených údajů využít portu USB vývojové desky PVK40. Tento výsledek diskuze je podmětem pro další diplomové práce. Odladění kódu proběhlo v simulačním prostředí, následně byl program nahrán do jednočipového mikropočítače a následně odzkoušen na vývojové desce PVK40.

Výsledkem zhodnocení diplomové práce byla i diskuze, kterým směrem by se měly vydat další práce pokračující v této diplomové práci. Výsledkem této diskuze bylo využití obvodu reálného času a režimu SLEEP pro měření infračerveného záření při nízké spotřebě energie při práci na baterie, využití připojení externího alfanumerického LCD displeje MC1602 pro PVK40 pro jeho široké možnosti zobrazení naměřených hodnot (např. možnosti zobrazení data, času a hodnoty měření). Dalším výsledkem je využití mikropočítače PIC a obvodu UMS1B pro přenos naměřených dat z modulu dozimetru do počítače.

Tato diplomová práce může sloužit jako popis účinků infračerveného záření i jako podrobný manuál k jednotlivým prvkům modulu dozimetru a jako výchozí materiál pro další aplikace, které využívají instrukční soubor umožňující měření s vyhodnocováním údajů. Při

studiu daného problému jsem se seznámil s širokými možnostmi využití a aplikace jednočipového mikropočítače PIC, jak pro naši aplikaci, která může mít rozmanité funkce, tak i při jiných technických projektech, kde je třeba výkonné výpočetní a měřící jednotky s malou spotřebou energie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ing. Petr Neumann. *Měření expozičního množství tepelného záření*. Disertační práce FT UTB, 2001.
- [2] Jan Sova. Optoelektronika. Referát pro TCN 2003. s 30.
- [3] Jiří Kroča. Elektronický modul pro měření a ukládání dat o dávkách infračerveného záření. Diplomová práce FT UTB, 2004.
- [4] Tomáš Sláma. Měření energie infračerveného záření. Diplomová práce FT UB, 1998.
- [5] Přemysl Čámský. *Soubor programů pro přenos a zpracování dat z IČ dozimetru*. Diplomová práce FT UTB, 2001.
- [6] Levitin, B. L. *Infračervená technika*. Bratislava 1979. 160 s. ISBN 63-237-79.
- [7] Václav Vacek. *Učebnice programování PIC*. BEN-Technická literatura, Praha 2002. 144s + disketa. ISBN 80-86056-87-2.
- [8] Oldřich Peroutka. Mikrokontroléry PIC 16C7X. Ben-Technická literatura, PRAHA 2001. 200 s. + 24 s. přílohy. ISBN 80-86056-41-4.
- [9] Microchip Technology, Inc. *PIC16F87x data sheet* [online]. 2001. Dostupný z URL: www.microchip.com.
- [10] Analog Device, INC. AD8067 [online]. 2002. Dostupný z URL: www.analog.com.
- [11] Texas Instruments, Inc. IR LIGHT-TO-VOLTAGE-OPTICAL SENSORS [online]. Prosinec 1992, poslední revize únor 1993. Dostupný z URL: www.ti.com.
- [12] Asix, s.r.o. CD ROM Asix. 1991-2004. Dostupný z URL: www.asix.cz.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/D	převodník analogových hodnot na digitální
ADCON0,1	řídící registr A/D převodníku
ALU	aritmeticko-logická jednotka
BUZZER	piezoměnič
CIE	mezinárodní komise pro osvětlování
CLK	hodinový signál
COM	sériové rozhraní
CPU	centrální procesorová jednotka
DC	pracovní rychlost
EEPROM	paměť ROM s možností zapisování
FSR	pomocný registr pro adresování
GIE	povolovací bit pro nastavení přerušení
INTCON	registr řídící chování obvodu při přerušení
IR	infračervené záření
LCD	displej s tekutými krystaly
LP(XT, HS, RC,)	režim oscilátoru
MIC	mikrofon
OPTION	registr nastavení „předděliče“ a přerušení
OSC	oscilátor
PC	programový čítač
POR	reset při spuštění
PWM	pulzně šířkový modulátor
PWRT	reset po zapnutí
RAM	paměť pro čtení a zápis

SCI	sériové komunikační rozhraní
SLEEP	režim s nízkým odběrem energie
SPI (I ² C)	sériové kanály
STACK	zásobník
STATUS	registr, který obsahuje aritmetické příznaky ovlivňované ALU
TEMP	teplotní odporové čidlo
TMR0,1,2	čítač/časovač
TRIM1,2	trimry na desce PVK40
TRIS	nastavovací registr funkce portů
UART	sériový protokol
UV	ultrafialové záření
WDT	časovač/hlídač „watchdog“

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Hlavní části elektromagnetického spektra [1]	9
Obr. 2. Struktura infračervené spektrální oblasti optického záření [1]	10
Obr. 3. Struktura spektrální oblasti IR záření dle CIE [1]	10
Obr. 4. Klasifikace zdrojů IR záření [6]	13
Obr. 5. Modul s optickým snímačem typu TSL26x	15
Obr. 6. Modul s optickým snímačem typu SLD-769IR1	16
Obr. 7. Směrová charakteristika citlivosti diody	17
Obr. 8. Fotodioda Silonex SLD-69IR1	17
Obr. 9. Závislost výstupního napětí optických čidel řady TSL26x na vstupní ozáření na vlnové délce 940 nm [11]	20
Obr. 10. Spektrální závislost relativní citlivosti optických čidel řady TSL26x vztažené ke jmenovité vlnové délce 940 nm [11]	20
Obr. 11. Směrová charakteristika výstupní napěťové odezvy optických čidel řady TSL26x normalizovaná na odezvu v optické ose čidla [11]	21
Obr. 12. Blokové schéma optických čidel řady TSL26x [11]	21
Obr. 13. Zapojení pro úpravu napájecího napětí na 5V [11]	21
Obr. 14. Frekvenční odezva pro různé zisky, standardní podmínky $V_s = \pm 5 \text{ V}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $G = +10$, $R_L = R_F = 1 \text{ K}\Omega$ [10]	23
Obr. 15. Vývojová deska PVK40 firmy Asix,s.r.o.[12]	24
Obr. 16. Rozmístění pinů konektoru J1.	26
Obr. 17. LED displej	27
Obr. 18. Typy pouzder PIC 16F877A [9]	31
Obr. 19. Závislost napájecího napětí PIC16F877 na frekvenci (pro teploty -40°C - $+85^\circ\text{C}$) [9]	32
Obr. 20. Blokové schéma PIC16F877 [9]	34
Obr. 21. Časování instrukční cyklů [8]	39
Obr. 22. Uspořádání paměti a STACKu [9]	40
Obr. 23. Registr STATUS	42
Obr. 24. Registr OPTION	43
Obr. 25. Registr INTCON	44
Obr. 26. Obsazování PC v různých situacích [9]	46
Obr. 27. Přímé (Direct addressing)/ nepřímé (Indirect addressing) adresování [9]	47
Obr. 28. Princip ovládání portů přes TRIS registry (zapojení pro port A, B) [7]	49
Obr. 29. Registr ADCON0 (řídící registr A/D převodníku)	56
Obr. 30. Registr ADCON1 (řídící registr A/D převodníku)	56
Obr. 31. Použití registrů ADRESH, ADRESL a bitu ADFM (registr ADCON1) [9]	57
Obr. 32. Blokové schéma A/D převodníku [9]	58
Obr. 33. Konfigurační byte	60
Obr. 34. Krystal nebo keramický rezonátor (XT, LP nebo HS) [9]	63
Obr. 35. RC oscilátor [9]	63
Obr. 36. Zjednodušené schéma resetovacích obvodů integrovaných na čipu [9]	64
Obr. 37. Základní formáty instrukcí	68
Obr. 38. Vývojové prostředí MPLAB	69

SEZNAM TABULEK

Tabulka I. Popis elektronických parametrů diody	17
Tabulka II. Přehled parametrů infračervených čidel řady TSL26x [8]	19
Tabulka III. Zapojení pinů konektoru program.....	26
Tabulka IV. Zapojení pinů konektoru program.....	26
Tabulka V. Obsazení vývodů dvouřádkového zobrazovače MC1602.....	28
Tabulka VI. Popis vývodů	34
Tabulka VII. Popis vývodů PORTU A.....	35
Tabulka VIII. Popis vývodů PORTU B.....	36
Tabulka IX. Popis vývodů PORTU C	37
Tabulka X. Popis vývodů PORTU D	38
Tabulka XI. Popis vývodů PORTU E	38
Tabulka XII. Uspořádání registrů v paměti RAM.....	41
Tabulka XIII. Doba T_{AD} v závislosti na F_{OSC}	59
Tabulka XIV. Časování resetů v různých situacích.....	65