



# Mikrokonvertor ADuC812

## Procesor nebo analogová součástka?

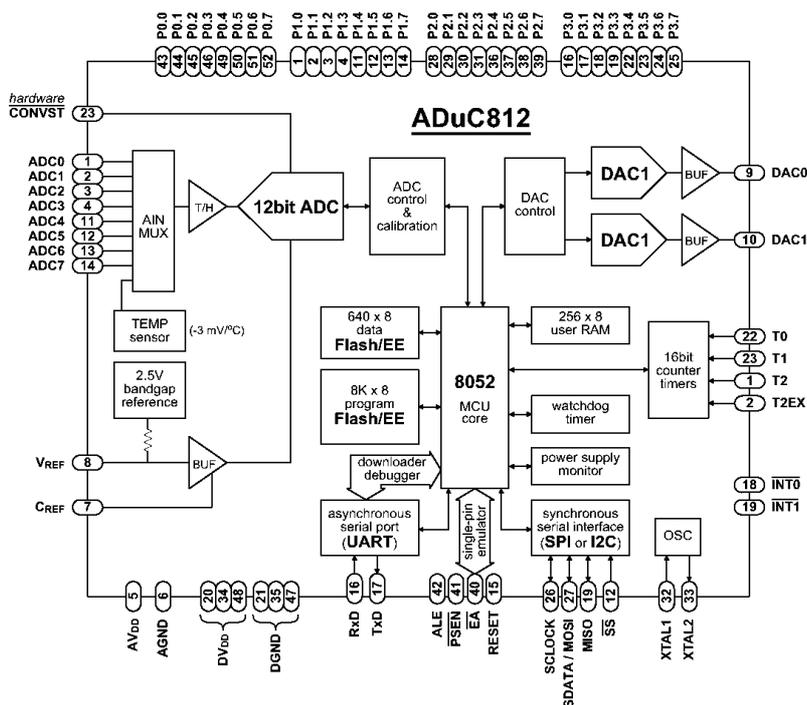
Doc.Ing. Rudolf Jalovecký, CSc., Vojenská akademie Brno, Fakulta letectva a PVO  
Katedra inženýrského a radiotechnického zabezpečení letectva, e-mail Rudolf.Jalovecky@vabo.cz

### 1. Hlavní charakteristika

Firma Analog Devices před nedávnem představila nový obvod, který obsahuje 12-ti bitový A/D převodník, 8x51 procesor s rozšířením a 8 kB FLASH. Obvod je již běžně k dostání za přijatelnou cenu cca 700,- Kč bez DPH.

Vlastnosti obvodu :

- Rozšířené 8x51 jádro
- 8-mi kanálový 12-ti bitový A/D převodník s možností DMA přístupu
- Dva 12-ti bitové D/A převodníky
- Teplotní senzor na čipu
- 8K bytů programové paměti
- 640 bytů paměti dat
- Až 16 MB externí paměťový prostor
- Duplexní UART
- WDT a PWM
- SPI a I<sup>2</sup>C



obr. 1. Vnitřní blokové schéma mikrokonvertoru ADuC812

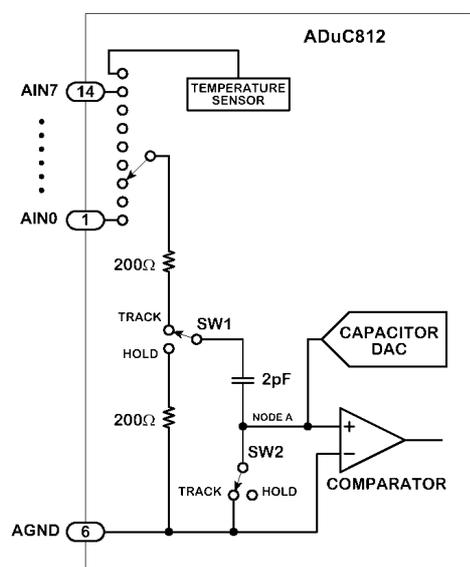
Obvod ADuC812 je výsledkem dlouhodobého vývoje firmy a podporuje trend současné doby, tj. spojování několika bloků s velmi rozdílnou technologií výroby na jeden čip. Sama firma jej nazývá mikrokonvertor namísto standardního mikroprocesor. Vnitřní blokové schéma je uvedeno na obr. 1. Z důvodů rušení uvnitř čipu a přesnosti výroby se jedná svým způsobem o husarský kousek. Dotsud nabízené A/D převodníky nabízené na jednom čipu s procesorovým jádrem měly přesnost pouze 8-10 bitů.

### 2. A/D a D/A převodník

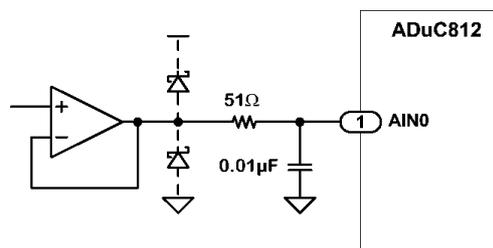
Analogová část mikrokonvertoru představuje z větší části „prim“ v konstrukci. Právě z důvodu snížení rušení je zcela tato část HW oddělena od jádra 8051. Jak napájecí, tak i zemnicí vývod je samostatný a při jejich zapojování je vhodné (pro maximální využití vlastností obvodu) jejich připojení podle doporučeného zapojení.

## 2.1 A/D převodník

V mikrokonvertoru ADuC812 je k dispozici 8-mi kanálový multiplexovaný 12-ti bitový A/D převodník umožňující maximální vzorkovací kmitočet 200 kSPS (200000 vzorků za sekundu) pro jeden vybraný kanál. Vlastní převod je realizován metodou postupné aproximace a zpracovává unipolární signály v rozsahu napětí 0V až  $+V_{ref}$ . Vnitřní zapojení analogových vstupů A/D převodníku je uvedeno na obr. 2. Spínače SW1 a SW2 představují funkci vzorkovacího zesilovače (S/H).



obr. 2. Ekvivalentní obvod analogových vstupů



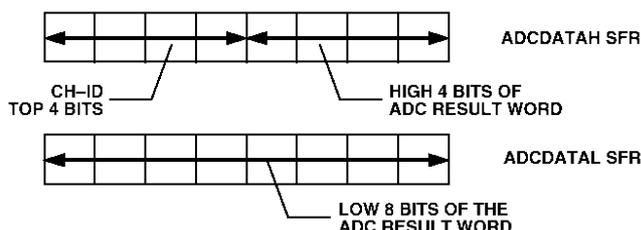
obr. 3. Doporučené ošetření analogových vstupů

Možnost nastavení A/D převodníku do DMA módu, kdy výsledné vzorky jsou ukládány do externí paměti RAM, je výborná vlastnost obvodu. Tento režim totiž nezatěžuje výkon vlastního výpočetního jádra procesoru 8051 a proto je možné procesor použít na jiné výpočetní úkoly.

Pro průmyslové nasazení procesoru doporučuje výrobce na ochranu analogových vstupů předřadit před mikrokonvertor operační zesilovač se ziskem 1 a výstupním filtrem podle obr. 3. Výběr OZ je omezen na

### 2.1.1 Způsob obsluhy v DMA modu

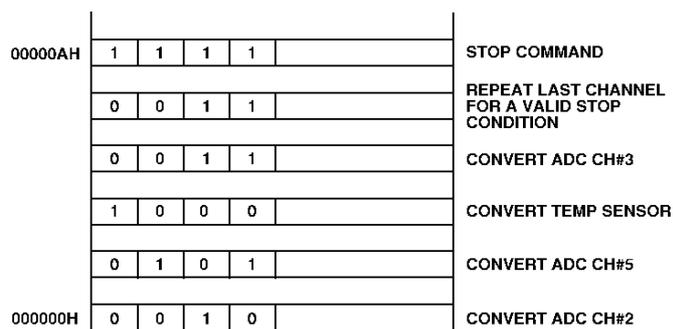
Adresace zvoleného kanálu v analogovém multiplexeru je provedena zápisem adresy 0 až 7 do bitů 4 až 6 v registru ADCDATAH, tedy horní poloviny tohoto registru, přičemž adresa vestavěného teplotního senzoru je číslo 8, tedy „1“



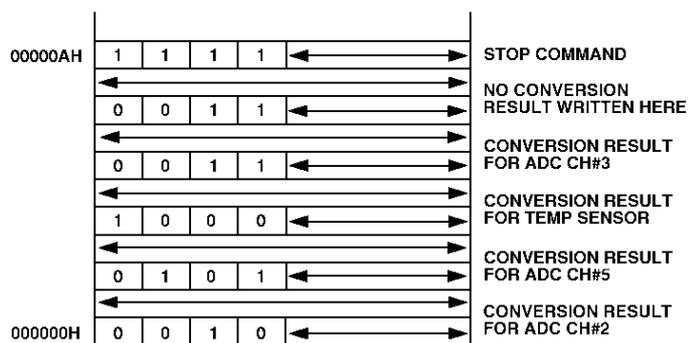
obr. 4. Význam bitů pro A/D převodník

v bitu 7 ADCDATAH. Na obr. 4. je naznačen způsob adresace a zároveň i dosažený výsledek po A/D převodu. Dolních 8 bitů je v registru ADCDATAL a zbylé 4 bity v dolní polovině registru ADCDATAH udávají horní 4 bity 12-ti bitového čísla.

Na základě tohoto principu adresace je postaveno i ovládání a volba měřeného



obr. 5. Příklad přípravy adres pro mód DMA A/D převodníku



obr. 6. Obsah paměti RAM po ukončení módu DMA

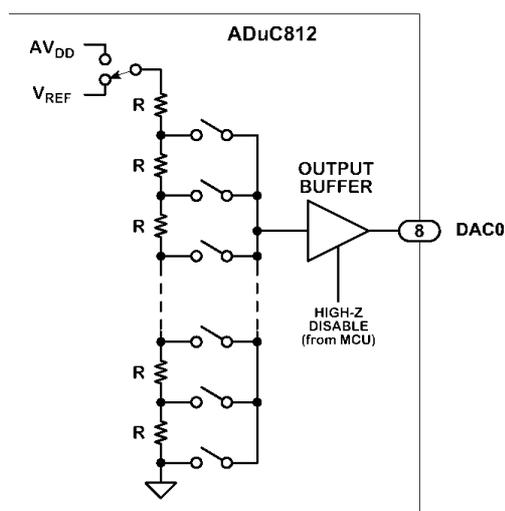
kanálu při DMA modu A/D převodníku. Do paměti RAM se připraví adresy na ty místa, která budou při obsluze patřit adresám analogového MUXu. Důležité je zapsat jako poslední adresu příkaz STOP pro mód DMA, tj. 1111 v horní polovině ADCDATAH. Na obr. 5. je uveden příklad umístění dat - adres AMUXu v paměti RAM.

Vlastní mód DMA se spustí zápisem „L“ do bitu konfiguračního registru ADCCON2.6.

Výsledek všech převodů je v paměti RAM našeho příkladu zobrazen na obr. 6. Je vhodné si všimnout stavu, že v paměti RAM se po ukončení převodu adresace měřených kanálů nezměnila, čehož je možné velmi výhodně použít pro další zpracování dat, případně při opětovném spuštění módu DMA, kdy se adresy kanálů nezměnily.

## 2.2 D/A převodník

Vestavěný 2 kanálový 12-ti bitový D/A převodník s napěťovým výstupem je ovládán, obdobně jako A/D převodník, přes SFR registry. Tyto dva kanály jsou plné (nejsou multiplexovány) a je možné programově nastavit, zda „obnova“ výstupního napětí z obou kanálů má být prováděna synchronně nebo nezávisle po zápisu dat do SFR registru.



obr. 7. Odporová síť pro realizaci A/D převodníku

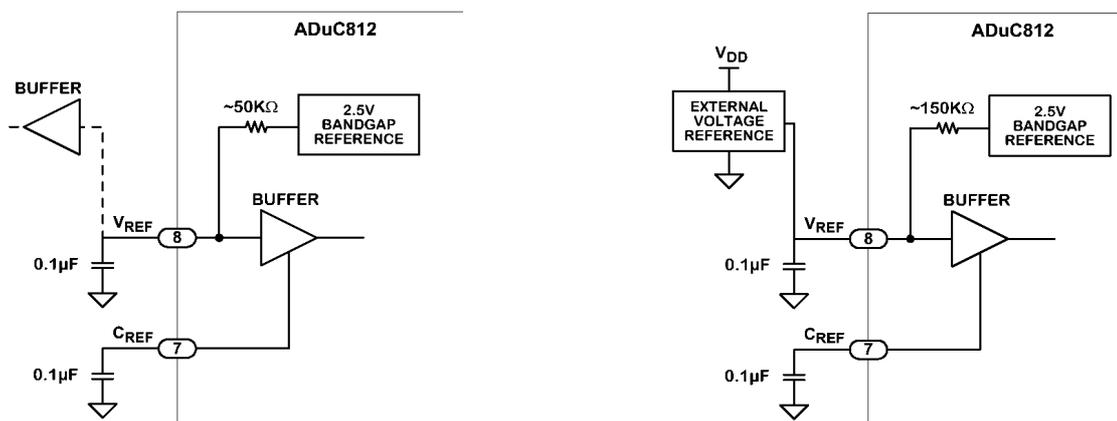
Programově je možné, s použitím jednoho konfiguračního registru (DACCON), nastavit následující režimy činnosti A/D převodníku:

- 8-mi nebo 12-ti bitový převod,
- rozsah výstupního napětí 0 až Vref nebo 0 až Vdd,
- simultánní nebo obyčejný výstup,
- samostatné zapnutí/vypnutí každého D/A převodníku.

Vlastní data pro D/A převod se zapisují do dvojic datových registrů ADC0L, DAC0H resp. DAC1L a DAC1H. V „L“ registrech je dolních 8 bitů a v dolní polovině „H“ registrů pak 4 horní bity pro 12-ti bitový převod.

### 2.3 Zdroj referenčního napětí

Mikrokonvertor ADuC812 má vestavěné referenční napětí na čipu s nízkým driftem (40 ppm/°C) a výstupním napětím +2,5V. Vnitřní odpor tohoto zdroje je cca 50kΩ a proto se moc nedoporučuje jeho použití i mimo obvod. Je to však možné s použitím operačního zesilovače. Také je možné na stejný pin obvodu připojit jiný zdroj referenčního napětí o hodnotě napětí v rozsahu +2,3V až napájecí napětí analogové části obvodu. Pro správnou činnost zdroje je nutné dodržet požadavek výrobce a připojit k pinům  $C_{REF}$  a  $V_{REF}$  externí kondenzátory o kapacitě 100nF.



obr. 8. Princip použití vnitřního a vnějšího zdroje referenčního napětí

## 3. Mikroprocesorové jádro 8051

Výpočetní jádro mikrokonvertoru ADuC812 je plně kompatibilní s originálem 8x51. Frekvence oscilátoru je maximálně 16 MHz. Pro ovládání a komunikaci s analogovou částí a všemi ostatními vestavěnými periferními obvody je instrukční sada rozšířena o doplňkovou řadu instrukcí, které umožní jejich obsluhu přes SFR registry prostým zápisem nebo čtením z registru.

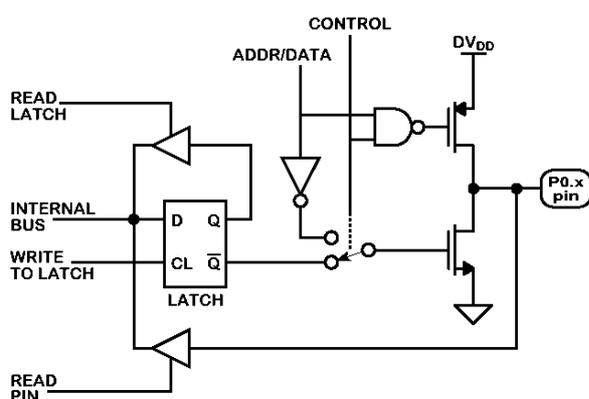
### 3.1 Vnitřní zapojení portů

Všechny porty mikrokonvertoru ADuC812 mají totožné funkce jako originální 8x51 a jsou slučitelné s CMOS rozhraním. S výjimkou portu P1 jsou všechny ostatní porty obousměrné. Avšak z důvodů sdílení některých pinů s vestavěnými periferními obvody, jsou vybrané piny portů upraveny a je možné je používat také jiným způsobem. Proto je port P1 pouze vstupní, neboť je současně vstupním portem 8 kanálů analogového multiplexeru pro A/D převodník.

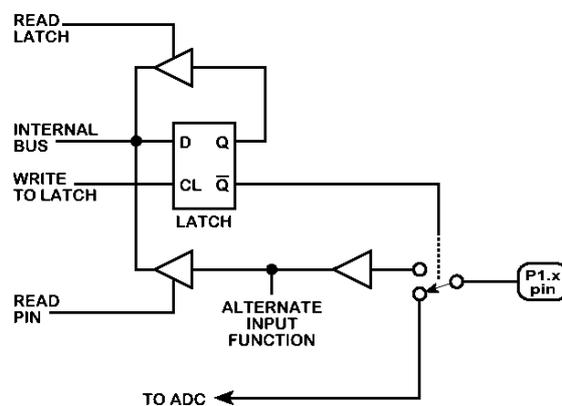
Čtení a zápis je ovládán přes odpovídající SFR registry. Jednotlivé piny portu P0, P2 a P3 mohou být nezávisle konfigurovány jako digitální výstupy nebo digitální vstupy nastavením odpovídajících bitů SFR registrů. Port 1 může být nastaven na analogové nebo digitální vstupy.

- Port P0 - viz obr. 10. - je standardně určen pro datovou sběrnici a dolní polovinu adresové sběrnice. V případě jiného použití je nutné zapojit externí „pull up“ odpory cca 10kΩ.
- Port P1 - viz obr. 9. - je pouze vstupní, pro funkci analogových vstupů není potřebné po Resetu nic nastavovat, pro případ použití jako analogového vstupu se musí zapsat do patřičného bitu portu „L“.
- Piny P1.0 a P1.1 mohou být navíc použity jako vstupy pro časovač T2.
- Pin P1.5 pak jako vstup  $\overline{SS}$  - Slave select input při použití SPI komunikace.

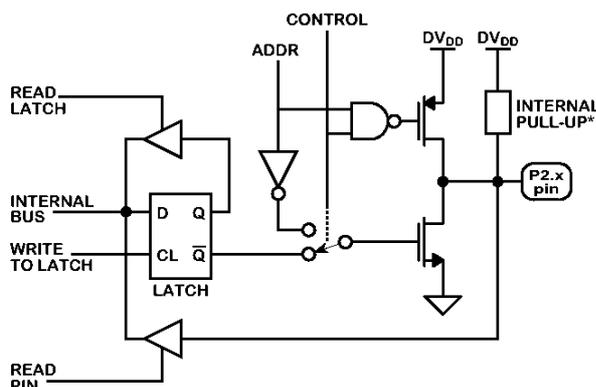
- Port P2 - viz obr. 11. - je standardně určen pro horní polovinu adresové sběrnice. Při adresování vnější paměti RAM nad 64 kB pak i multiplexně pro adresy A16 - A24. V případě jiného použití je nutné zapojit externí „pull up“ odpory cca 10kΩ.
- Port P3 - viz obr. 12. - je standardní jako u 8x51 a něco málo navíc, tedy:
  - P3.0 - RxD pro UART,
  - P3.1 - TxD pro UART,
  - P3.2 a P3.3 - externí HW vstup při vnější přerušení,
  - P3.3 - ještě navíc pro vstup MISO - při použití SPI komunikace,
  - P3.4 a P3.5 - vstupy časovačů T0 a T1,
  - P3.5 navíc vstupní signál pro vnější spuštění A/D převodu,
  - P3.6 -  $\overline{WR}$  a P3.7 -  $\overline{RD}$  - signály pro obsluhu vnějších pamětí RAM a ROM.



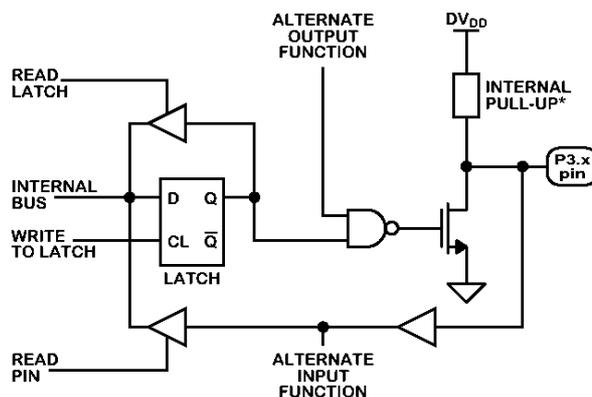
obr. 10. Vnitřní zapojení portu P0



obr. 9. Vnitřní zapojení portu P1



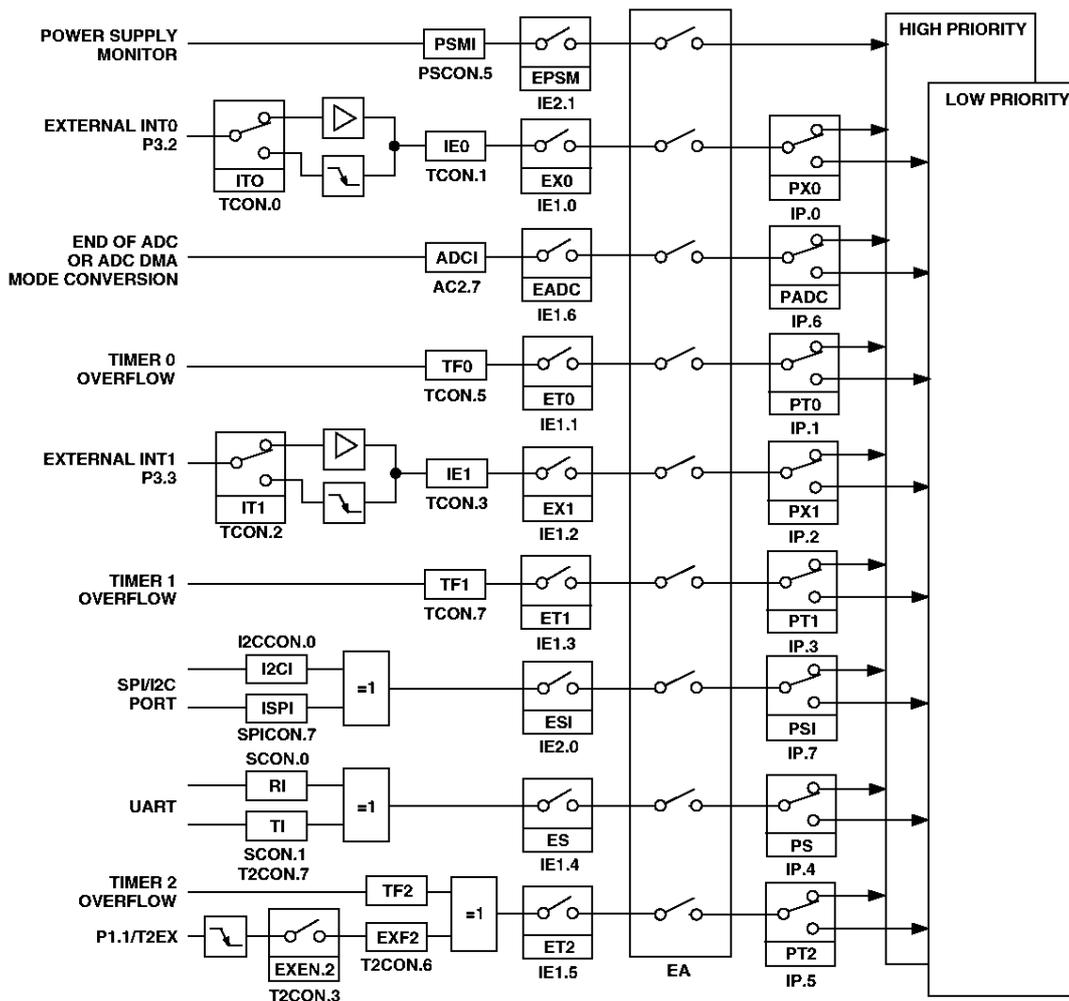
obr. 12. Vnitřní zapojení portu P2



obr. 11. Vnitřní zapojení portu P3

### 3.2 Přerušovací systém

Mikrokonvertor ADuC812 má, oproti 8x51, celkem 9 zdrojů přerušení se dvěma prioritními úrovněmi. Veškerá konfigurace přerušovacího systému se provádí přes dva konfigurační registry, registr IE - známý z klonů 8x51, který je však rozšířen a registr IE2. Priorita přerušovacích signálů je pak nastavována v registru IP - Interrupt Priority. V tabulce je přehledně uvedena priorita a adresy vektorů přerušení. Lze z ní vyčíst to, že všechny standardní vektory přerušení z 8x51 jsou shodné a na další paměťová místa se přidaly doplňkové vektory, specifické pro mikrokonvertor ADuC812.



obr. 13. Blokové schéma přerušovacího systému mikrokonvertoru ADuC812

To samo o sobě umožňuje použití již vyvinutých programových modulů z rodiny 8x51 u tohoto procesoru bez úpravy.

Přerušení	Název typu přerušení	Adresa vektoru přerušení	Úroveň priority
PSMI	Power Supply Monitor	43H	1.
IE0	External INT0	03H	2.
ADCI	End of ADC Conversion	33H	3.
TF0	Timer 0 Overflow	0BH	4.
IE1	External INT1	13H	5.
TF1	Timer 1 Overflow	1BH	6.
I2CI/ISPI	Seriál Interupt	3BH	7.
RI/TI	UART Interupt	23H	8.
TF2/EXF2	Timer 2 Interupt	2BH	9.

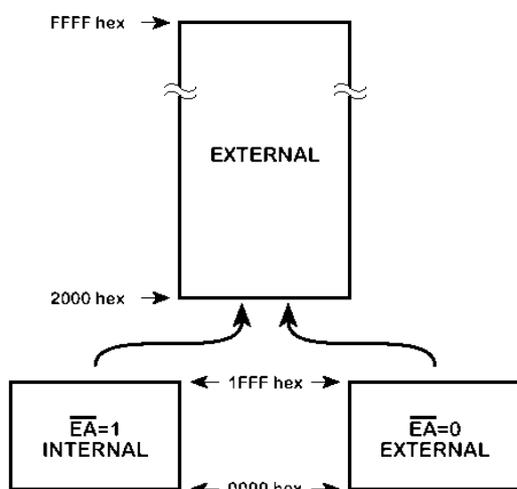
Funkce a nastavování obvodu watchdog a monitoru napájecího napětí je uvedena v kap. 5.3.

## 4. Organizace vnitřní paměti

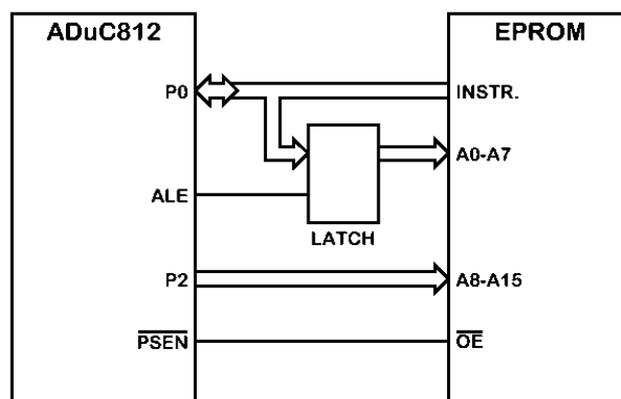
Hardwarová struktura mikrokonvertoru odděluje prostor pro data a program do dvou oddělených paměťových polí.

### 4.1 Paměť pro program

Velikost vnitřní programové paměti je 8kB a její použití je definováno logikou úrovně na vstupu  $\overline{EA}=1$ . V případě delšího programového úseku, jsou další instrukce čteny z externí paměti pro program. Vnější programová paměť může být veliká až 64KB a je plně adresována (od 0000H) při signálu  $\overline{EA}=0$ . Na obr. 14. je zobrazen princip mapování programové paměti. Je-li potřeba pro program větší rozsah než 8kB je možné připojit vnější paměť EEPROM podle obr. 15. Protože toto připojení je dosti podobné, jako připojení vnější paměti RAM, je vhodné upozornit na signál  $\overline{PSEN}$ , jehož úroveň „0“ udává přístup do externí paměti EEPROM a úroveň „1“ pak do externí paměti RAM.



obr. 14. Princip mapování programové paměti



obr. 15. Způsob připojení externí paměti EPROM pro program

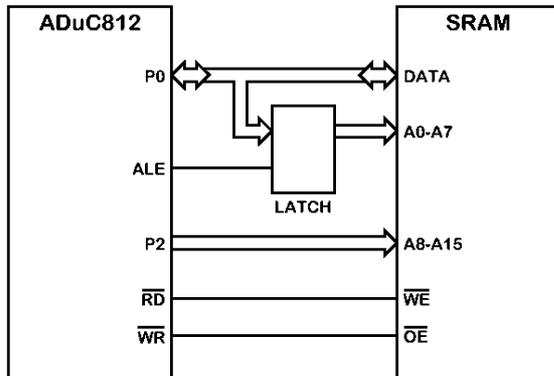
Naprogramování interní paměti EEPROM pro program je možné dvěma způsoby. Standardním jako u novějších klonů 8x51 nebo zcela jinak. Tzv. In Circuit Programming využívá sériovou linku a režim „download“ k zavedení programu do vnitřní programové paměti, bez nutnosti vyjmát mikrokonvertor z aplikace. K nastavení režimu „download“ slouží pin PSEN, který se spojí přes odpor 1k $\Omega$  na GND a následně se provede RESET. Po spuštění programu DLOAD812 s patřičným přeloženým souborem HEX se programová paměť obvodu ADuC812 nejprve vymaže a následně naprogramuje novým obsahem. Po ukončení „downloadu“ se odstraní zkrat odporu 1K $\Omega$  na GND a provede se opět RESET. V tomto okamžiku začne ADuC812 vykonávat program podle nového obsahu programové paměti.

### 4.2 Datová paměť RAM

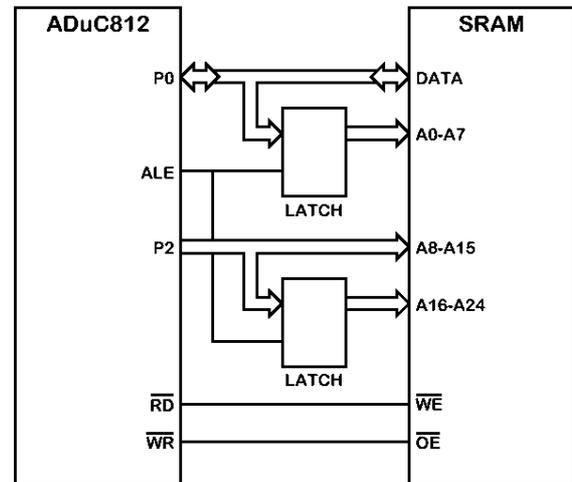
Mikrokonvertor ADuC812 má vestavěnou vnitřní paměť RAM o velikosti 256B s tím, že její horní polovina (od 80H výše) je dostupná pouze přes nepřímé adresování (@R0, @R1). Její obsluha je tedy stejná jako u standardu 8x51. Pokud se připojí vnější paměť (přístupná přes příkaz MOVX ...) je možné adresovat až 16MB paměťového prostoru.

Na obr. 16. je naznačeno principiální připojení externí paměti do adresového prostoru 64kB. Dolní polovina adresy je, v době aktivního signálu ALE, přístupna na portu P0, horní polovina na portu P2.

Jiná situace nastává při adresaci většího prostoru paměti (nad 64kB). Mikrokonvertor ADuC812 je vybaven dalším 8-mi bitovým registrem (DPP - DATA POINTER - PAGE BYTE), který provádí stránkování připojené externí paměti RAM. Na obr. 17. je zobrazeno připojení takto velké paměti ke konvertoru. Obsah registru DPP je k dispozici na portu P2 v době aktivního signálu ALE, tedy obdoba jako u portu P0. S využitím dalšího záchytného obvodu je tedy možné „připravit“



obr. 16. Princip připojení a adresace externí paměti 64kB



obr. 17. Princip připojení a adresace externí paměti až 16MB

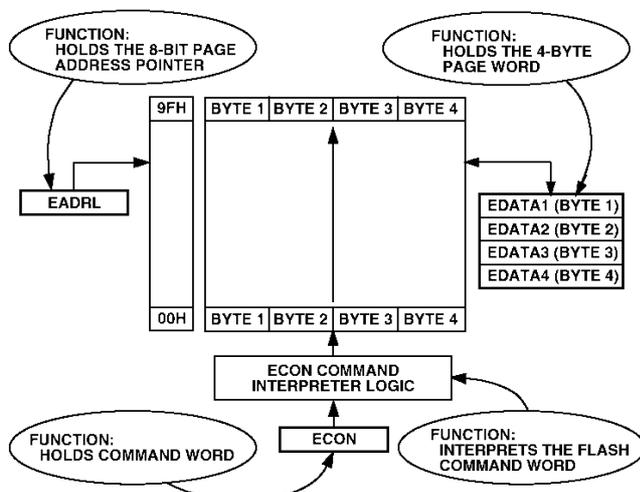
plnou 24 bitovou adresu pro následnou práci s externí paměti RAM.

Obdobný případ adresace je externí paměti RAM je v režimu DMA, kde se však o adresování starají tři 8-mi bitové registry DMAL, DMAH a DMAP.

### 4.3 Datová paměť flash EEPROM

Vestavěná paměť flash EEPROM je určena pro ukládání dat. Její velikost je 640 bytů. Vzhledem k požadavku přístupnosti k údajům pouze přes SFR registry, je její organizace rozdělena do 160 stránek (00H až 9FH) po 4 bytech. Adresa požadované stránky se zapisuje do SFR registru EADRL. Řídící příkazy pro činnost (mazání, zápis, čtení stránky, mazání celé paměti) do registru ECON a data jsou k dispozici nebo se ukládají do registru EDATA1 až EDATA4. Tato organizace přístupu do paměti flash EEPROM je výhodná právě tím, že nespotebuje žádné jiné příkazy, než

jen zápis nebo čtení do/z registru. Háček tu však přece je. Flash paměti musí být před zápisem nových dat vymazány. Mazání se provádí elektricky, ale nelze vymazat jen jeden byte. V dané organizaci je nutné vymazat všechny 4 byty, které jsou naadresovány registrem EADRL. Pro zamezení ztráty údajů, které není potřebné opětovně ukládat, navrhla firma Analog Devices postup, který je schématicky uveden na obr. 19. Nejprve se adresuje paměťové místo flash EEPROM prostým zápisem adresy do registru EADRL. Následně se provede čtení, prostým zápisem údaje 01H do registru ECON. Tak se data z flash EEPROM přesunou do SFR re-



obr. 18. Organizace Flash EEPROM paměti

gistrů EDATA1 až EDATA4. Nyní se prostým zápisem údaje 03H do registru ECON vymaže naadresovaná paměťová stránka. Požadovaná změna v datech se zapíše do vybraného registru EDATA1 až EDATA4 a prostým zápisem 02H do registru ECON se stránka (4 byty) „zapíše“ do Flash EEPROM.

Z hlediska časování trvají všechny zápisy nebo čtení z registrů SFR jeden programový cyklus, zápis jedné stránky (4 byty) cca 250 $\mu$ s a mazání jedné stránky paměti nebo celé Flash EEPROM paměti 20ms. Systém programového čítače je přitom nastaven tak, že „automaticky“ počká s vykonáváním programových příkazů po zápis příkazu k mazání paměti Flash EEPROM právě oněch 20 ms. Programátor tak nemusí vytvářet nějaké čekací smyčky. Nevýhodou však je skutečnost, že se tak může znatelně zpozdít vykonávání programu. Při sestavování programovacího algoritmu si proto musí programátor dávat pozor na to, aby některá přicházející data nebyla ztracena právě z důvodu tohoto zpoždění.

## 5. Vestavěné periferie

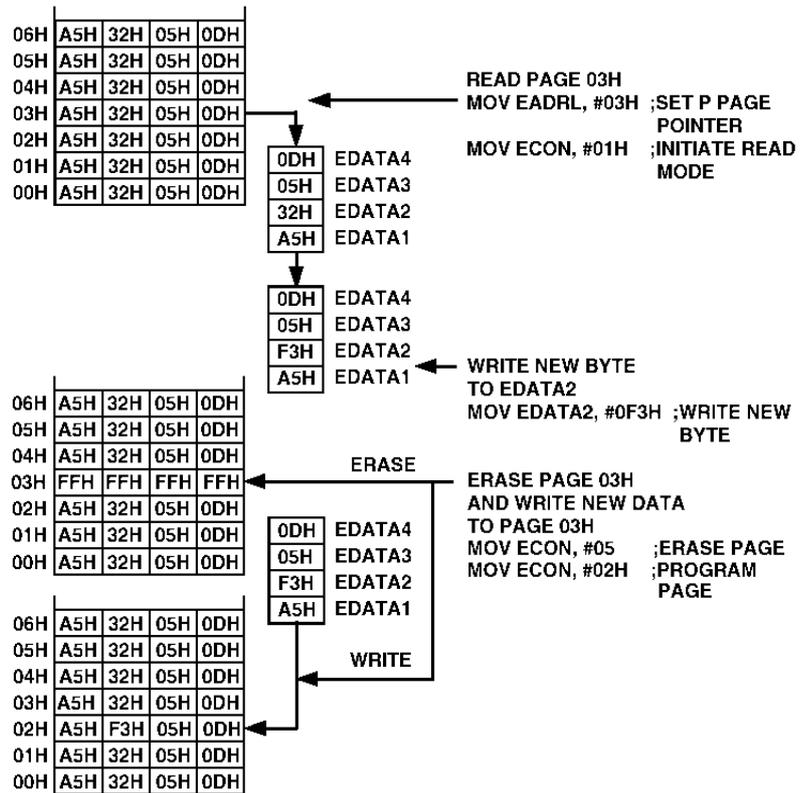
Vestavěných periferních obvodů je u mikrokonvertoru poměrně dost a jejich využití je velmi všestranné.

### 5.1 Sériové rozhraní UART

Pro sériovou komunikaci je mikrokontroler osazen plně duplexním UART portem, shodné konfigurace jako standard 8x51. Jeho programová obsluha je tedy shodná, pro definování přenosové rychlosti je využíván časovač TIMER0 nebo lze použít i časovač TIMER2. Pro víceprocesorové systémy je možné nastavit i 9-ti bitovou komunikaci, ale případný paritní bit je nutné spočítat programem. Pro použití přenosu dat na standardních komunikačních rychlostech je nutné použít i odpovídající krystal oscilátoru, tedy největší možný je 11,0592 MHz. Pak je možné používat normalizovaných přenosových rychlostí až do 38400Bd.

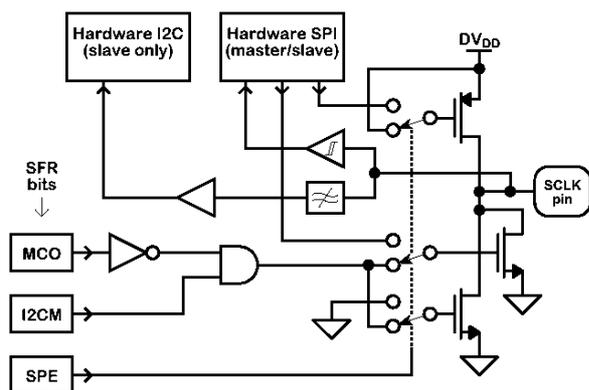
### 5.2 Sériové rozhraní SPI a I<sup>2</sup>C

Mikrokontroler ADuC812 je vybaven dvěma průmyslovými rozhraními, synchronním SPI a I<sup>2</sup>C. Obě tato rozhraní lze konfigurovat do režimu MASTER nebo SLAVE. Protože se piny konvertoru pro vstup a výstup dat na těchto rozhraních vzájemně sdílí, lze v jedné aplikaci použít buď SPI nebo I<sup>2</sup>C rozhraní. Vnitřní blokové zapojení zdroje hodinového signálu SCLOCK je na obr. 20.

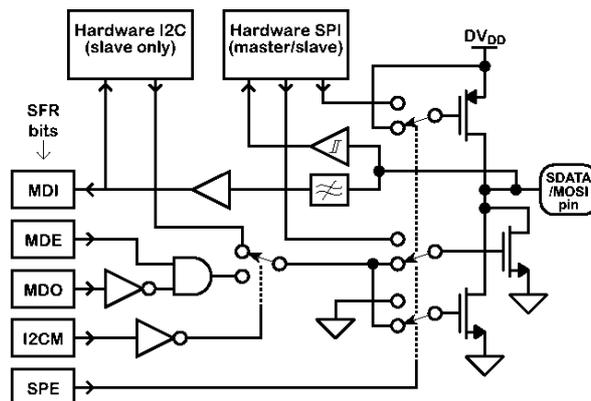


obr. 19. Ukázka obsluhy - zápisu byte do interní paměti flash EEPROM

Vnitřní blokové zapojení datového kanálu SDATA/MOSI je na obr. 21.



obr. 20. Vnitřní zapojení SCLOCK



obr. 21. Vnitřní zapojení SDATA/MOSI

### 5.2.1 Synchronní SPI rozhraní

Rozhraní používá pinů MISO, MOSI, SCLOCK a při módu Slave i  $\overline{SS}$ . S pomocí jediného konfiguračního registru SPICON je možné nastavit všechny režimy činnosti:

- MASTER nebo SLAVE,
- led dat vůči hodinovému signálu (CPHA=1 nebo 0),
- povolení přerušování po příjmu dat,
- nastavení 4 „rychlostí“ hodinových impulsů na pinu SCLOCK pro spolupráci s pomalejšími obvody.

Rozhraní je připraveno pro synchronní obousměrný přenos 8-mi bitových údajů. Je však možné je programově přizpůsobit na asynchronní přenos a případně s využitím vybavovacích signálů (CE) pro periferie, které tento CE signál potřebují.

### 5.2.2 Dvou vodičové rozhraní I<sup>2</sup>C

I<sup>2</sup>C rozhraní je známé tím, že k připojení periferních zařízení je potřebné pouze dvou vodičů. U mikrokontroleru ADuC812 jsou označena SDATA a SCLOCK. Rozlišení připojeného periferního obvodu se provádí adresou, která je součástí přenosového protokolu. Tato adresa je 7-mi bitová, je tedy teoreticky možné připojit až 128 periférií jen na 2 vodiče. S pomocí jediného konfiguračního registru I2CCON lze nastavit toto rozhraní do těchto módů:

- MASTER nebo SLAVE,
- povolení přerušování po příjmu dat,

Na rozdíl od rozhraní SPI nemá rozhraní I<sup>2</sup>C vlastnost synchronního obousměrného přenosu dat, neboť po datovém vodiči mohou data putovat v jednom okamžiku jen jedním směrem.

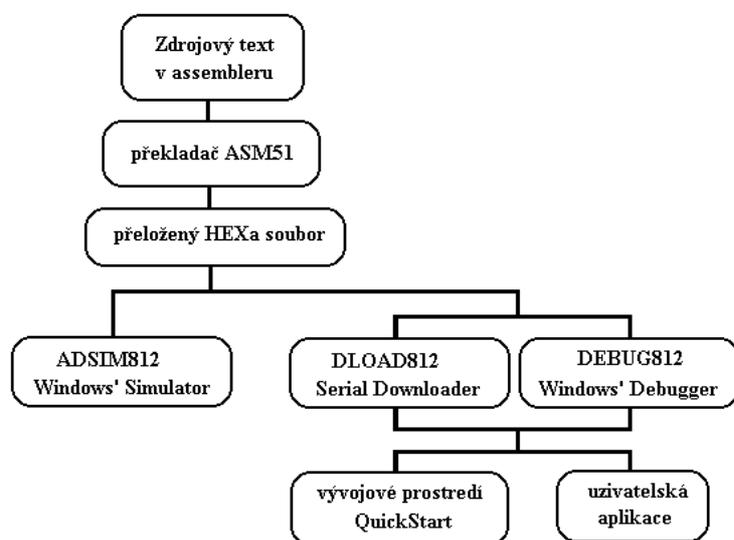
## 5.3 Watch Dog Timer (WDT) a Power Supply Monitor (PSM)

Pro zajištění bezporuchového chodu programu v mikroprocesoru se používají obvody, které monitorují chod programu tím, že tento program musí „projít“ tzv. kontrolními body. Pokud neprojde, vyvolá tento podpůrný obvod nějaké přerušování, které zajistí návrat programu do „normálního“ stavu. Mikrokontroler ADuC812 je vybaven interním obvodem Watch Dog Timer u něhož je možné programově nastavit délku odezvy pulsu RESET od 16 do 2048 ms.

Pro možnost programového zásahu při poklesu napájecího napětí je mikrokontroler vybaven tzv. monitorem napájecího napětí (PSM). Ten nastaví žádost o přerušeni při poklesu napájecího napětí do „1“ podle nastavení v konfiguračním registru PSMCON. Lze vybrat pět uživatelsky nastavitelných úrovní napětí od +2,6 do +4,6V. Žádost o přerušeni bude zrušena se zpožděním 256 ms po návratu napájecího napětí nad nastavenou rozhodovací úroveň. Tímto je nepřímou řečeno, že mikrokontroler bude funkční i při napětí **menším** než 3V. V tomto okamžiku ale nesmí spolupracovat s žádným externím obvodem (paměť, periferní obvod atd.).

## 6. Nový přístup k ladění programového vybavení pro ADuC812

Za zcela nový přístup k ladění programového vybavení lze právem považovat možnosti, které nabízí firma Analog Devices. Na obr. 22. jsou naznačeny možné varianty, kde se najde i standardní způsob, tj. po překladi zdrojového textu jeho klasické naprogramování do procesoru a běžné testování.



obr. 22. Naznačení možností vývoje programového vybavení pro mikrokonvertor ADuC812

středí pro windows dává firma Analog Devices volně k dispozici na svých stránkách <http://www.analog.com/industry/microconverter/>. To umožňuje potenciálním uživatelům si vše vyzkoušet bez výrazných nákladů. Firma také dodává vývojový kit -Quick Start, který umožňuje zkoušení všech vestavěných periférií na připraveném HW zařízení. Kit navíc obsahuje část externí paměti RAM, čímž je možné si také vyzkoušet režim DMA přístupu do paměti pro A/D převodník.

## 7. Závěr - příklady , aplikace

Na www stránkách Analog Devices jsou uvedeny jednoduché aplikace pro využití vlastností všech vestavěných periférií. Vlastnosti mikrokontroleru ADuC182 je předurčují v průmyslu k použití v nepřehledném množství aplikací od malých řídicích systémů až po velké víceprocesorové systémy.

Odkazy na internetu:

⇒ hlavní stránka firmy Analog Devices - <http://www.analog.com/>

⇒ přímý odkaz na ADuC812 -<http://products.analog.com/products/info.asp?product=ADUC812>