

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



PRŮMYSLOVÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2013

© prof. Dr. Ing. Petr Novák

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3032-2



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	ANALOGOVÉ VÝSTUPY	3
1.1	Úvod	4
1.2	D/A převodníku váhovou strukturou odporové sítě	6
1.2.1	D/A převodník s příčkovou strukturou odporové sítě	7
1.2.2	Technické parametry (pouze vybrané)	9
1.3	Cvičení	10
2	LITERATURA	15



1 ANALOGOVÉ VÝSTUPY



OBSAH KAPITOLY:

Úvod

Digitálně analogový převodník

Vlastnosti

Principy



MOTIVACE:

Cílem této přednášky je seznámit posluchače s určením digitálně analogových převodníků, základními principy činnosti a vlastnostmi a popisem multifunkční měřicí karty.

Budete umět:

- orientovat se v principu D/A převodníků,
- rozumět základním vlastnostem a parametrům,
- vyspecifikovat a vybrat vhodnou měřicí kartu s D/A převodníkem.

Rovněž si doplníte odbornou terminologii z této oblasti

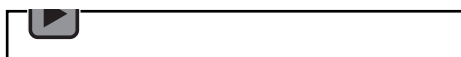


1.1 ÚVOD

Funkcí digitálně analogového převodníku (zkratky D/A, v angličtině i DAC) je převod binárního čísla na analogový signál – tedy opak A/D převodníku. Tím bývá nejčastěji napětí, méně často proud. Výstup může být – podobně jako vstup u A/D převodníku – unipolární, nebo bipolární. Na výstupu převodníku však nemůžeme nastavit libovolnou hodnotu analogového signálu, výstupní signál je schodovitý, o výšce schodu rovnu LSB. Chyba způsobená diskrétními úrovněmi výstupního signálu se nazývá kvantizační chyba. Maximální nepřesnost, tj. rozdíl mezi požadovanou a nastavenou hodnotou výstupního signálu je dán polovinou přírůstku výstupního signálu, odpovídajícímu nejnižšímu bitu vstupního datového slova (LSB).



Audio 1.1 Úvod



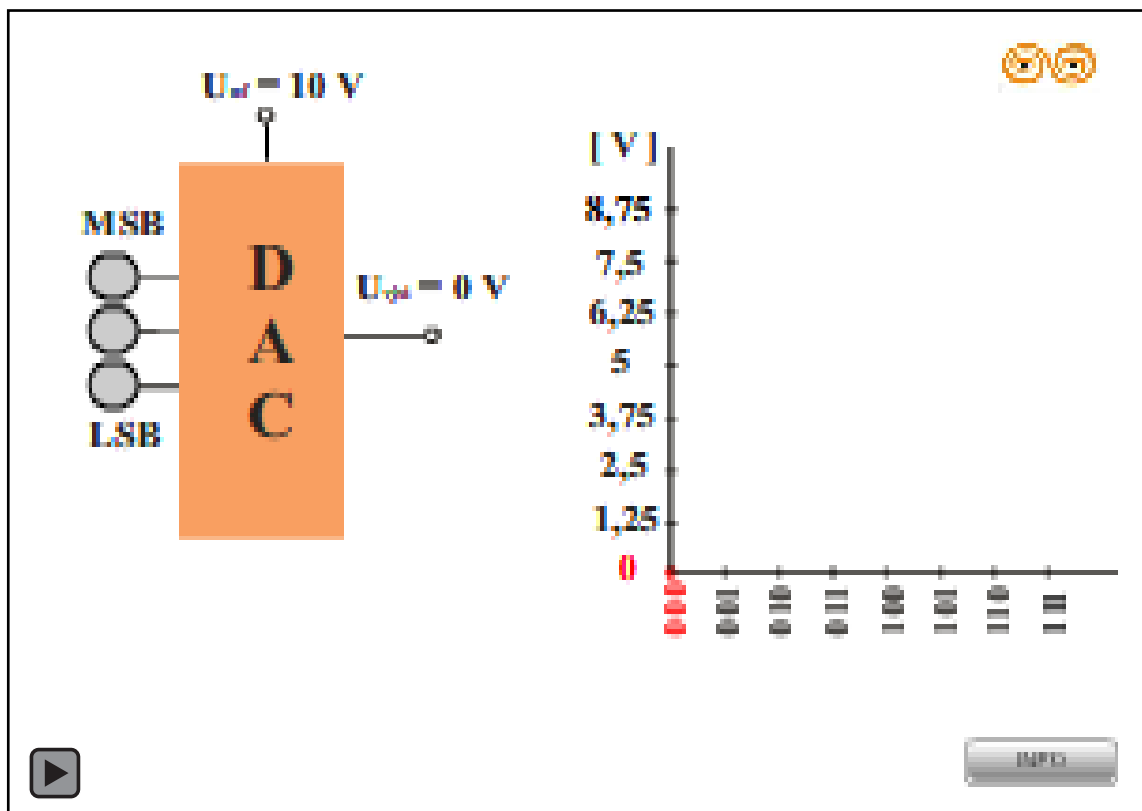
D/A převodník je charakterizován počtem bitů, rozsahem (zpravidla bývá jeden) a rychlostí. D/A převodníky rozlišujeme na přímé, nepřímé a sigma-delta modulací.

Přímé - vstupní datové slovo je přímo převedeno na výstupní napětí, příp. proud:

- s váhovou strukturou odporové sítě – napěťové váhování
- s příčkovou strukturou odporové sítě $R - 2R$
- s váhovou strukturou kapacitorové sítě – nábojové váhování
- kombinované
- Sériové převodníky (blíže např. [33]) –
 - S nábojovou redistribucí
 - Algoritmický

Nepřímé - Pomocný signál má tvar impulzu, měronosnou veličinou je šířka impulzu konstantní amplitudy, příp. poměr šířky impulzu k době převodu (střída)





Animace 1.1 Generování výstupního napětí D/A převodníku v závislosti na vstupním, postupně se zvyšujícím vstupním kódem. Na výstupu zobrazovat graficky schodovité napětí.

Mezi základní parametry u D/A převodníků patří:

Rozlišení D/A převodníku vyjadřuje se počtem diskretních úrovní výstupního analogového napětí nebo proudu a přímo souvisí s počtem bitů vstupního slova. Např. 8-bitový dvojkový převodník D/A má celkem 256 různých výstupních úrovní napětí, tj. má rozlišovací schopnost přibližně 0,4% rozsahu,

kdežto např. 8-bitový převodník D/A s dvojkově-desítkovým kódem (BCD) má rozlišovací schopnost pouze 1% rozsahu.

Kvantovací chyba je způsobena konečným počtem diskretních úrovní výstupního napětí a může dosahovat maximálně $\pm 1/2$ hodnoty LSB.

Přesnost výstupního napětí resp. proudu převodníku D/A udává maximální odchylku mezi skutečnou a ideální převodní charakteristikou převodníku D/A.

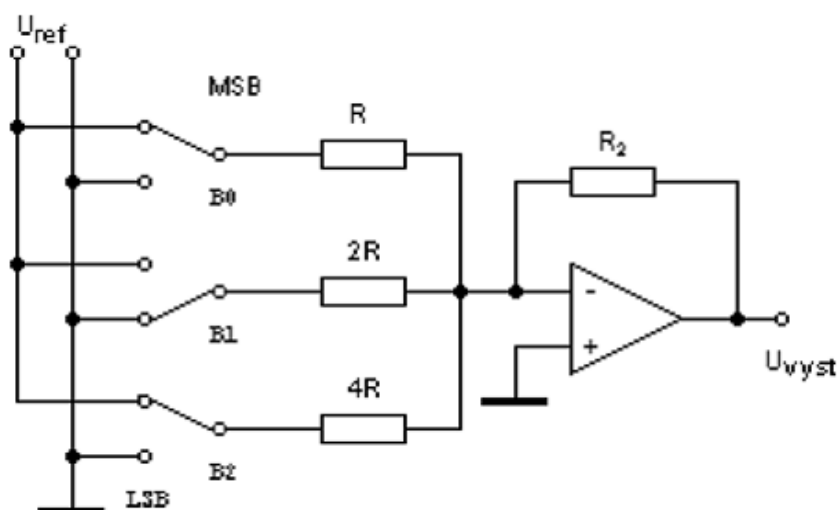
Doba převodu T_P je maximální doba potřebná k ustálení výstupní analogové veličiny na správnou hodnotu s povolenou chybou za předpokladu konstantní hodnoty digitálního signálu C během převodu.

Rychlost převodu je maximální počet vstupních slov C , která mohou být převodníkem převedena na analogovou výstupní veličinu za jednotku času, je převrácenou hodnotou doby převodu T_P .

Pro převod signálu zpět na spojitý analogový signál se využívá buď rezistorová síť (napěťový dělič), nebo elektronické přepínače řízené binárním kódem, nebo operační zesilovače ve funkci sumátoru. V následujícím textu jsou uvedeny dva základní principy.



1.2 D/A PŘEVODNÍKU VÁHOVOU STRUKTUROU ODPOROVÉ SÍTĚ



Obr. 4.1 Principiální schéma D/A převodníku využívající příčkovou strukturu odporové sítě.

Řídicí veličinou je vstupní datové slovo, předávané prostřednictvím datové sběrnice. Jednotlivé bity vstupního slova s váhou $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^n$ ovládají jednotlivé elektrické přepínače, které mají v sérii odpory o takových hodnotách, že každá další hodnota je vždy dvojnásobkem předcházející. Pro napětí na výstupu převodníku můžeme psát:

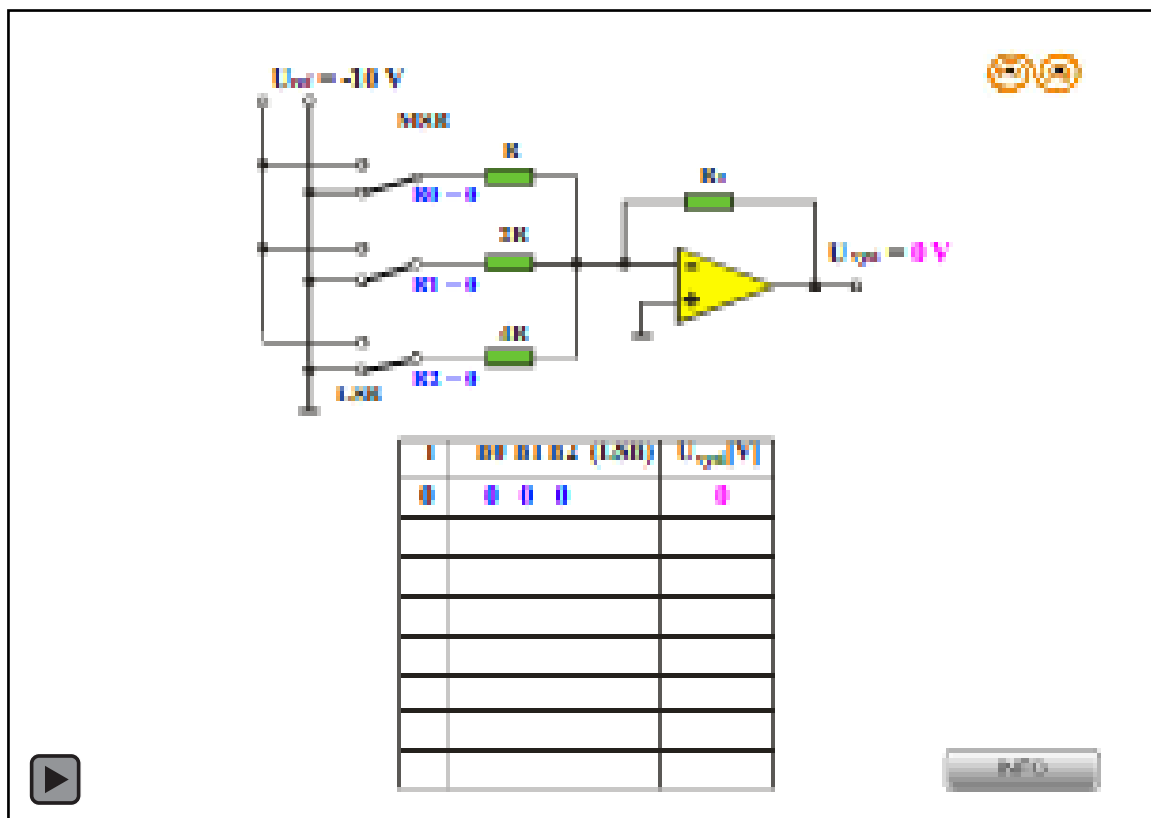
$$U_{vyst} = -U_{ref} \frac{R_2}{R} \sum_{i=0}^n \frac{B_i}{2^i}$$

kde n je počet bitů datového slova a B_i nabývá hodnot 0 nebo 1 podle stavu příslušného spínače.

Výhody: Rychlost,

Nevýhody:

- vysoký požadavek na přesnost odporů –Velký rozsah hodnot odporů
- Malý počet bitů
- Technologický problém vyrobit tak přesné hodnoty rezistorů.

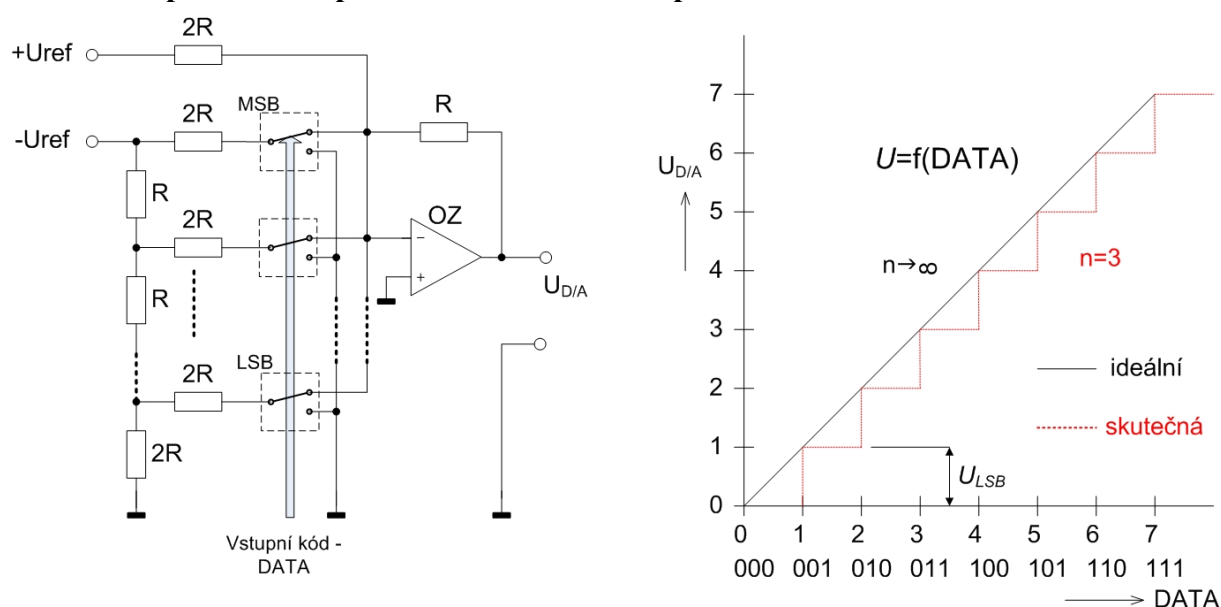


Animce 1.2 Generování výstupního napětí D/A převodníku s příčkovou strukturou odporové sítě. Viz $U_{ref} = -10V$, $R = 10k\Omega$, $R_2 = (4/7)R$

$$U_{výst} = 10 \cdot \frac{4}{7} \left(\frac{B_0}{1} + \frac{B_1}{2} + \frac{B_2}{4} \right) = \frac{40}{7} (B_0 + 0,5B_1 + 0,25B_2)$$

kde $B_i = \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}$

1.2.1 D/A převodník s příčkovou strukturou odporové sítě



Obr. 4.2 Principiální schéma D/A převodníku založeném na napěťovém sumátoru a žebříčkovou odporovou sítí $R-2R$. Vpravo příklad převodní charakteristiky 3bitového unipolárního D/A převodníku s výstupním rozsahem 0-7V.



Jedna z možných topologií vnitřní odporové sítě přímého D/A převodníku je znázorněna na obrázku výše. Její výhodou je, že využívá pouze odpory dvou hodnot R a $2R$. (Odstraňuje nevýhody předchozích zapojení s množstvím součástek a rozsahem velikostí součástek.)

Tato síť tvoří dělič záporného napětí U_{ref} , jehož jednotlivé hodnoty jsou – prostřednictvím jednotlivých spínačů, vyjadřující váhy vstupního slova – připojeny na vstup sumátoru OZ spolu s napětím U_{ref} (kladné polarity), od kterého se odečtou. Na výstupu sumátoru, je napětí, odpovídající vstupnímu kódu převodníku.

D/A převodníky se vyrábějí jako monolitické integrované obvody 8 až 16 bitové. Jejich přesnost závisí jednak na kvantizační chybě, jednak na stabilitě referenčního zdroje převodníku. Důležitým kritériem je i rychlost převodu, která se obvykle pohybuje v rozsahu 0,01 až 25 μs .

Unipolární převodník má výstupní analogový signál pouze jedné polarity – např. +5V.

Bipolární převodník má výstupní analogový signál obojí polarity – např. +/- 2,5V.

Dvoukvadrantový převodník je unipolární převodník, jehož referenční signál může nabývat obou polarit (při užití jako zesilovač s číslicově nastavitelným zesílením), případně je možné referenční napětí přivést z externího zdroje.

Čtyřkvadrantový převodník je bipolární násobící převodník, jehož referenční signál může nabývat obou polarit, **čehož lze využít jako zesilovače, u kterého lze číslicově řídit velikost zesílení (tedy násobení) i polaritu.**

Dále typ výstupního signálu – nejčastěji napěťový, ale jsou k dispozici i karty s proudovým výstupem (nebo oběma typy).

Mezi důležité parametry patří počet analogových výstupů (kanálů) a také bitů – standardně mají DAC karty 12bitové D/A převodníky.

Při výběru DAC karty, respektive karty s DAC výstupem je také třeba věnovat pozornost tomu, zda vstupní číslicový registr D/A převodníku (u více než osmi bitových) má přepisuje svůj obsah na vstup D/A převodníku až po zápisu druhé části řídicího byte. Tato vlastnost zabraňuje nežádoucím napěťovým skokům na výstupu převodníku.

Užitečnou vlastností DAC karty také může být, že žádané hodnoty je možno uložit předem do části paměti (počítače nebo karty) a s nastavenou periodou je „posílat“ na vstup D/A převodníku. Díky tomu je možno jednoduše generovat i složité, rychle se měnící napěťové (proudové) výstupní signály.

DAC vstupní registr obsahuje

V nabídce firem také existují DAC karty s galvanicky oddělenými analogovými výstupy.

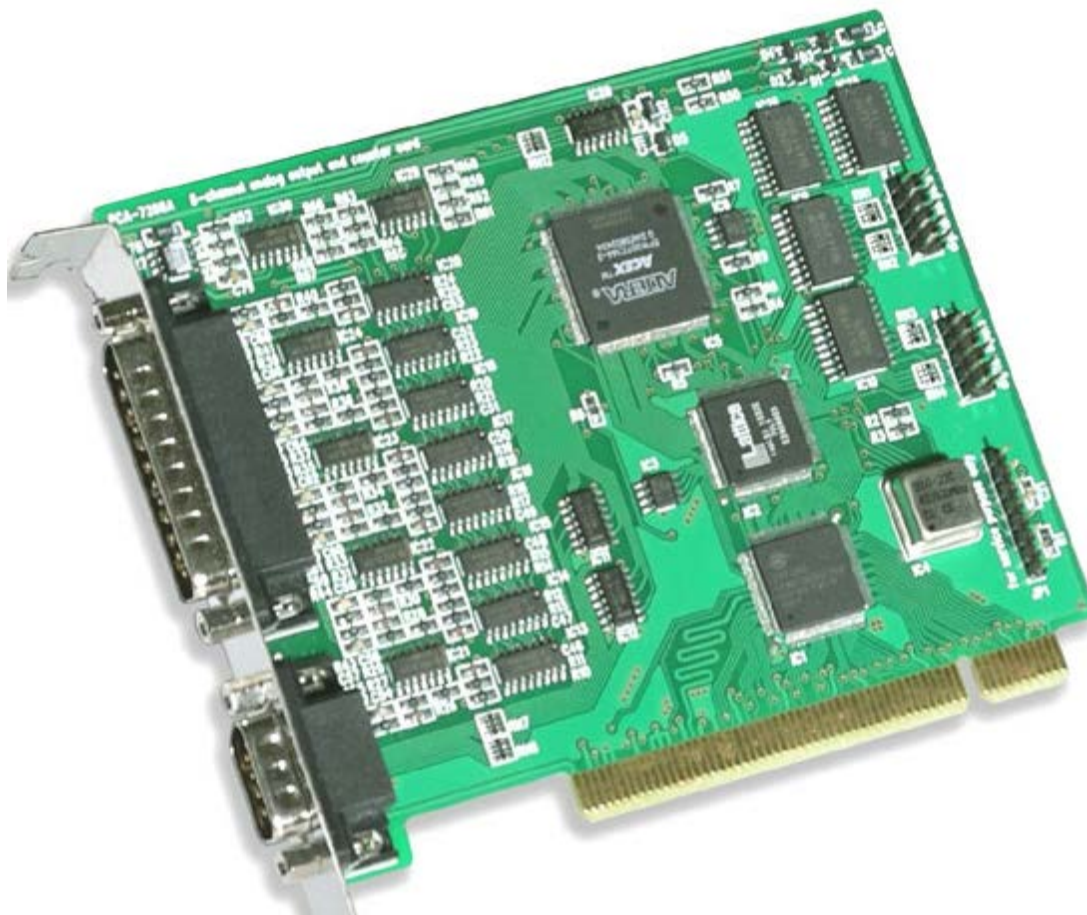
Jako příklad jednoduché a levné DAC karty je možno uvést PCA-7288A, tuzemského výrobce Tedia (www.tedia.cz).

Karta obsahuje osm 12bitových analogových výstupů s rozsahem softwarově konfigurovatelným individuálně pro každý výstup – unipolární i bipolární rozsahy. Kalibrace je prováděna elektronicky pro každý rozsah, data jsou uložena na kartě v paměti EEPROM, jejíž obsah lze uživatelským programem modifikovat.

Tato karta mimo zmiňované DAC výstupy dále obsahuje osm čítačů, 8 DI a 8 DO.

Signály analogových výstupů jsou vyvedeny na konektor D-Sub 25.





Obr. 4.3 Karta PCA-7288A.

1.2.2 Technické parametry (pouze vybrané)

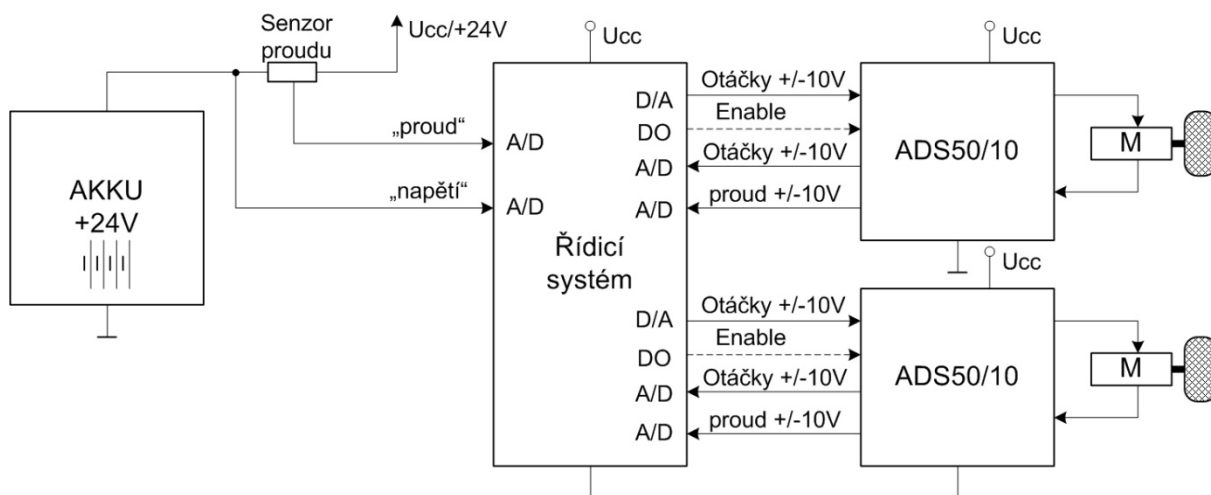
Počet analogových výstupů	8
Rozlišení analogových výstupů	12 bitů
Výstupní rozsahy	0÷5V, ±5V, 0÷10V, ±10V
Doba ustálení výstupního napětí	5 ms typ. (0,1%, skok 100% rozsahu)
Počet čítačů	8
Funkce čítačů	synchronní čtení a programování hodnoty, start/stop
Rozlišení čítačů	16 bitů
Pracovní úroveň vstupů čítačů	TTL/HC (odolnost ±10V)
Počet digitálních vstupů	8
Pracovní úroveň digitálních vstupů	TTL/HC (odolnost ±32V)
Počet digitálních výstupů	8
Pracovní úroveň digitálních výstupů	TTL/HC
Sběrnice	standardní PCI (32 bitů, 33 MHz, 5V)
Rozměry desky	cca 100x130 mm



1.3 CVIČENÍ

Zadání: Nastavte žádanou hodnotu otáček a měřte otáčky motoru, proud odebíraný motorem, napětí a odebíraný proud akumulátoru mobilního zařízení.

Pohonný subsystém mobilního robota s diferenciálně řízeným podvozkem je tvořen dvěma jednotkami ADS 50/10. Žádaná hodnota rychlosti se nastavuje napětově a má rozsah $\pm 10\text{V}$. Dalším řídicím signálem je logický signál Enable. Aktuální otáčky a odebíraný proud motoru jednotka poskytuje v analogové formě $\pm 10\text{V}$. Blokové schéma zapojení je znázorněno na Obr. 4.11.



Obr. 4.4 Blokové schéma zapojení řízení otáček, proudu a napětí – viz zadání v textu.

Řešení: Pro zajištění výše uvedených požadavků použijeme moduly distribuovaných I/O řady I7000 výrobce ICP DAS.

Použití těchto modulů – s ohledem na jejich rychlost měření cca desítky za sekundu – vyhovuje požadavkům dané aplikace. V případě aplikace, kde by byly vyšší nároky na rychlost převodu A/D převodníku a celkového sběru dat, bychom museli použít jiná řešení, např. zásuvné karty do PC, případně i jiné moduly komunikující po některé sériové sběrnici/rozhraní – typu CAN, USB apod. Tento výběr je potřeba řešit na začátku.

Budeme potřebovat dva D/A výstupy $\pm 10\text{V}$, dva analogové vstupy (měření proudu a napětí), dva a dva (celkem 4) analogové vstupy pro měření aktuálních otáček a odebíraného proudu motoru v rozsahu $\pm 10\text{V}$. Celkem tedy 6 A/D vstupů. Pro ovládání vstupu Enable jednotek ADS50/10 dva logické výstupy minimálně $+4\text{V}$. Je samozřejmě možné navrhnout řešení založené na PC kartách, např. použitím některé z multifunkčních karet.

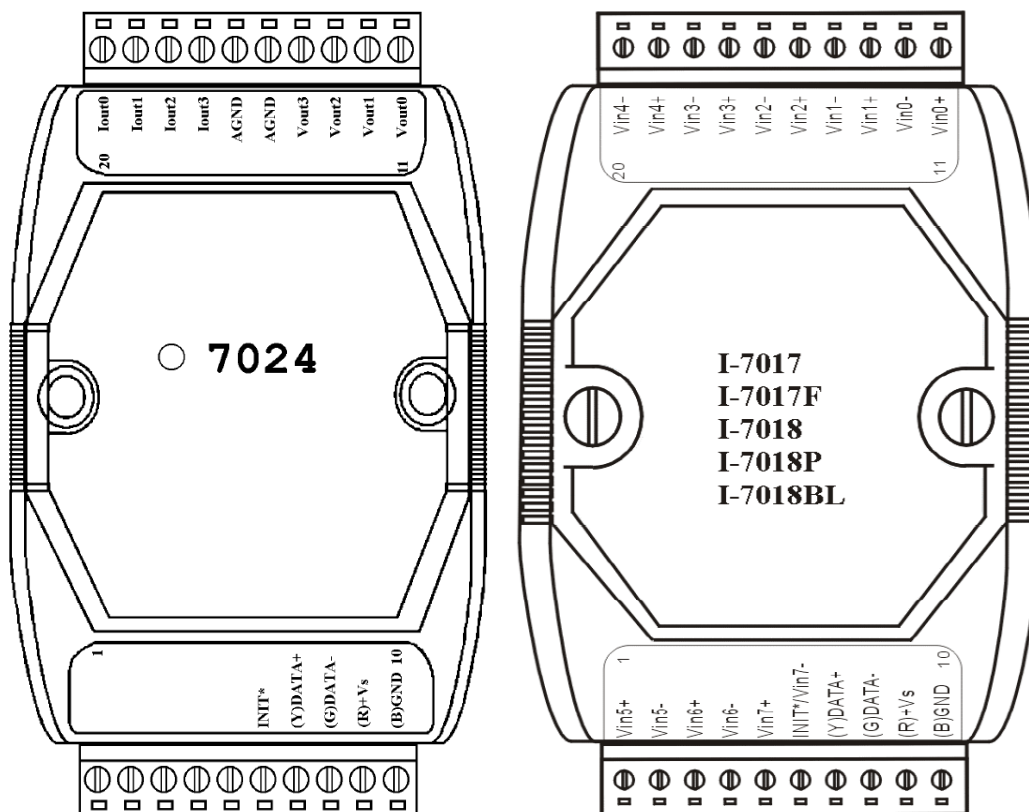
Vhodným D/A modulem, který splňuje požadavky na rozsah ($\pm 10\text{V}$) a počet (2) napětových výstupů je I-7024 (ICP DAS)¹. Tento modul nabízí 4 D/A výstupy v bipolárních rozsazích $\pm 10\text{V}$ (případně i proudových – zde je ale nepotřebujeme).

Pro měření napětí vybereme modul I-7017F, který nabízí 8 bipolárních diferenciálních (DIFF) A/D vstupů, mimo jiných i na rozsazích $\pm 10\text{V}$.

Pro nastavení logického signálu Enable jednotek ADS50/10 musíme generovat napětí minimálně $+4\text{V}$ – viz manuál jednotky. Impedance tohoto vstupu je $15\text{k}\Omega$, z čehož plyne

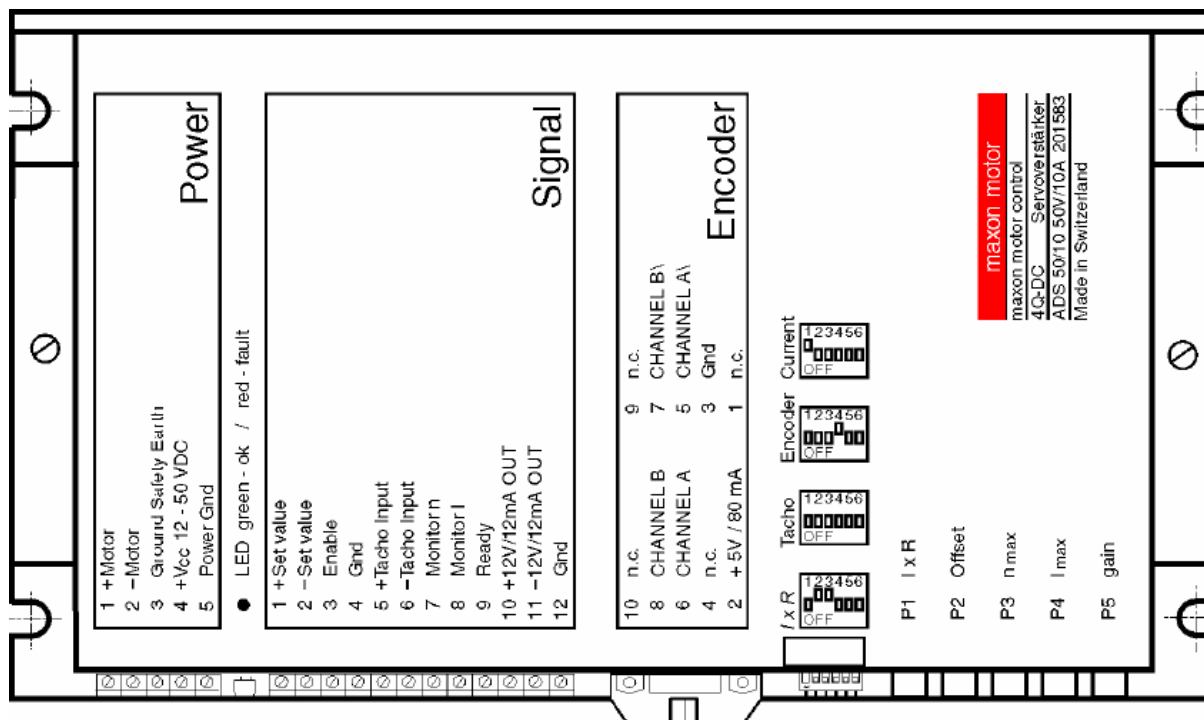
¹ Modul I-7024 má ještě další výhodné vlastnosti pro naši aplikaci – lze nastavit rychlost změny generovaného napětí z aktuální hodnoty na novou. V případě systémů řízení rychlosti to eliminuje skokové změny rychlosti a tedy i nároky na pohonný subsystém. Dále – má zabudovaný obvod WDT, který dokáže nastavit výstupní napětí automaticky na předem nastavenou hodnotu. V naší aplikaci by se jednalo o napětí odpovídající nulovým otáčkám a tedy zastavení pohybu (jiné řešení tohoto problému by mohlo využít vstupu Enable).





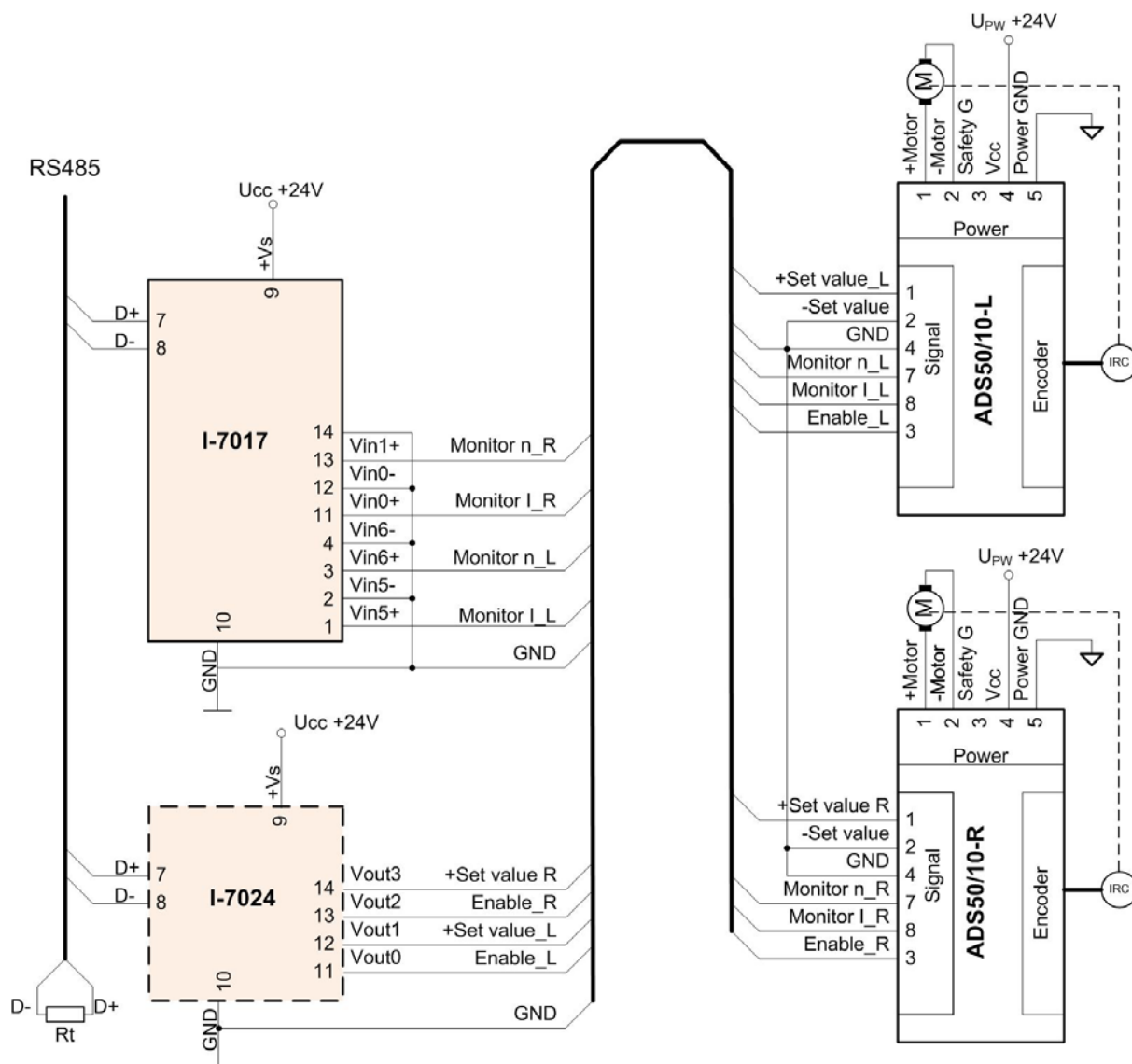
Obr. 4.5 Moduly I-7024 (4 D/A výstupy) a I-7017F (8 A/D DIFF vstupů).

požadavek na ovládací signál – např. +10V, aby byl schopen dodat proud $10/15000 = 0,7$ mA. Při prostudování parametrů analogových výstupů modulu I-7024 zjistíme, že parametry D/A výstupu jsou +/-10V s proudovým odběrem 5mA. Je zřejmé, že tento D/A výstup dokáže generovat požadované logické napětí a především dodat potřebný proud pro vstup Enable modulu DAS50/10. Toto řešení – které nám ušetří jeden modul s DO výstupem - tedy použijeme. Poznamenejme, že ovládání vstupu Enable by mohlo být zajištěno i z jednoho D/A výstupu a tedy ovládat tyto vstupy současně.



Obr. 4.6 Jednotka ASD50/10 výrobce Maxon.

Popis zapojení: Žádané hodnoty rychlosti „+Set value L (R)“ pro jednotky ADS50/10 jsou generovány D/A výstupem $\pm 10V$ Vout1 a Vout3 modulu I-7024, proti zemi GND. Povolovací logický signál jednotek „Enable“ není generován binárním výstupem (DO), ale opět D/A výstupy – Vout0 a Vout2. Výše v textu je toto podrobně zdůvodněno a vysvětleno. Jednotky ADS50/10 také poskytují informaci o aktuální rychlosti a aktuálním proudu motorem. Tyto hodnoty jsou napěťové a bipolární - $\pm 10V$. Pro jejich měření tedy potřebujeme odpovídající analogové vstupy (tedy bipolární s rozsahem $\pm 10V$). To zajišťuje modul I-7017F (F znamená rychlejší verzi tohoto modulu – více měření za sekundu). Tento modul disponuje 8 A/D diferenciálními (DIFF) vstupy. Ty zde však nejsou využity, takže všechny vstupy Vinx- jsou připojeny na společnou zem GND. Skutečná hodnota proudu „Motor I_R“ je přivedena na vstup Vin0+, dále „Motor I_L“ na vstup Vin5+. Skutečné hodnoty proudu „Motor n_R“ a „Motor n_L“ na vstupy Vin1+ a Vin6+.



Obr. 4.7 Zapojení řízení pohonů – generování dvou napět'ových výstupů, binárního výstupu a měření analogových signálů.

Moduly ADS50/10 jsou napájeny ze stejného zdroje, jako moduly I-7024 a I-7017. Kvůli potlačení možného rušení jsou ze zdroje k modulům ADS50/10 vedeno napájení samostatnými vodiči (a s vhodně dimenzovaným průřezem) – viz napájecí svorky UPW +24V a Power GND. V zadání nebylo řešit napojení jednotek ADS50/10 na motory a inkrementální senzory – ty jsou zde proto zakresleny pouze informativně.

Moduly I-7017 a I-7024 komunikují s nadřazenou úrovní přes sériové rozhraní RS485. Ve schématu je na jednom konci této sběrnice vyznačen ukončovací odpor R_t , jehož hodnota se stanovuje podle délky vedení této sběrnice – viz manuál. V případě malých vzdáleností (jednotky metrů) a nízkých přenosových rychlostí se nemusí osazovat.

Kontrolní otázky:

1. Co je D/A převodník a k čemu se používá. Nakreslete jeho převodní charakteristiku.
2. Jaký význam má parametr LSB u D/A převodníku?
3. Jaké typy D/A výstupů může mít D/A karta/modul?
4. Jak je možno D/A převodníkem násobit?



5. Kolik kvantovacích úrovní má převodník s rozlišením 12 bitů?

Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám.

- Vazba řídicího systému s analogovým okolím prostřednictvím průmyslových karet a modulů.
- Napojení vstupů/výstupů – analogové (SE a DIF), binární.



2 LITERATURA

- [1] Advantech *ADAM 4000 Series User's Manual*. (Uživatelský manuál Advantech), Taiwan: Advantech, 1997.
- [2] PC/104 consortium - <http://www.pc104.org>
- [3] <http://www.pc104.com>
- [4] <http://www.rtd.com>
- [5] VOJÁČEK, A.: Základní typy jednodeskových počítačů - Embedded SBC (<http://automatizace.hw.cz/plc-automaty/ART305-zakladni-typy-jednodeskovych-pocitacu--embedded-sbc.html>)
- [6] <http://www.acrosser.com>
- [7] <http://www.icpamerica.com>
- [8] <http://www.ieiworld.com/>
- [9] <http://www.adlinktech.com/>
- [10] <http://www.icpdas.com>
- [11] <http://www.kotlin.cz/>
- [12] <http://www.opto22.com>
- [13] http://www.uzimex.cz/soubory/20090529_ads50-10_cz.pdf
- [14] Screw Terminal Boards for PC based I/O Boards (Daughter Boards) (http://www.icpdas.com/products/DAQ/pc_based/pc_based_io.htm#4)
- [15] Pololu1186: (<http://www.pololu.com/catalog/product/1186%20target=>)
- [16] SG-3011: (<http://www.icpdas.com/products/DAQ/signal/sg-3011.htm>)
- [17] National Instruments: *Measuring Strain with Strain Gages – tutorial*. (<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3642>)
- [18] Advantech *PCL-812PG, Enhanced Multi-Lab Card*. (manuál k multifunkční kartě PCL-812-PG), Taiwan: Advantech, 1994, 173 p.
- [19] Sigma-delta converters: (<http://www.numerix-dsp.com/appsnotes/APR8-sigma-delta.pdf>)
- [20] katalog Sick/Stegmann – irc senzor DKS40 (<http://www.compel.ru/pdf/SICK/DKS40.pdf>)
- [21] VRBA, K. a kol.: *Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu*. Skriptum VUT Brno, 131 s., 2006
- [22] Advantech *PCL-818L User's Manual*. (Uživatelský manuál), Taiwan: Advantech, 1995.
- [23] <http://www.omegaoptics.com/Technology%20-%20Backplane.asp>
- [24] ICP *Icp – Design & Manufacture* (katalog). Taiwan: ICP, 2010.
- [25] NOVÁK, P. a NOSKIEVIČ, P. a KLEN, P. Řídicí systém pódiových stolů ve Smetanově síni v Obecním domě v Praze. In *XX.Seminář ASŘ 97- Počítače v měření, diagnostice a řízení, mechatronika*“ (sborník). Ostrava: VŠB-TUO, 1997, s. 36/1-7, ISBN 80-02-01153-8.
- [26] NOVÁK, P. Řídicí systém automatického řízení pohybu navařovací hubice při renovaci exponovaných míst kolejnic navařováním. In *XX.Seminář ASŘ 97- Počítače v měření, diagnostice a řízení, mechatronika*“ (sborník). Ostrava: VŠB-TUO, 1997, s. 24/1-3, ISBN 80-02-01153-8.



- [27] ŽÁČEK, J. Elektromagnetická kompatibilita a projektování elektrotechnických systémů. In *Automatizace* (časopis), 1998, č. 1, s. 10-16.
- [28] Mite: (<http://www.mite.cz>)
- [29] FIREMNÍ ČLÁNEK. Měření teploty v silech. In *Automa* (časopis) 1999, č. 5-6, s.32.
- [30] wikipedia: http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk
- [31] Vaughan, J.: *Application of B&K Equipment to Strain Measurements*. Bruel&Kjaer, Dánsko 1975
- [32] KLABOCH, L.: *Experimentální metody*. Skriptum fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT Praha, 1982.
- [33] HÁZE, J. a spol. *Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu*. (skriptum). FEKT VUT V Brně, 139 s., 2010.
- [34] ŠTEFAN, R. Měřicí karty – jak správně vybírat. Au *Automa* (časopis) 2004, č.7, s.32.
- [35] ICP DAS PCI-1202/1602/1800/1802 Hardware User's Manual, 101 s., 2007
- [36] Amit *Zásady používání RS485* www.amit.cz

Internet

<http://nudaq.com/>

<http://www.icpdas.com.tw/>

<http://www.advantech.com/>

<http://axiomtek.com/>

<http://czech.ni.com/>

<http://www.omega.com/>

<http://www.tedia.cz/>

