



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



PRŮMYSLOVÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY II

Studijní opora předmětu „Průmyslové řídicí systémy“

Petr Novák

Ostrava 2011



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Průmyslové řídicí systémy II

Autor: Petr Novák, prof., Dr., Ing.

Vydání: první, 2011

Počet stran: 116

Náklad:

Studijní materiály pro studijní obory Robotika a další, Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu

Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147

Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Petr Novák

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

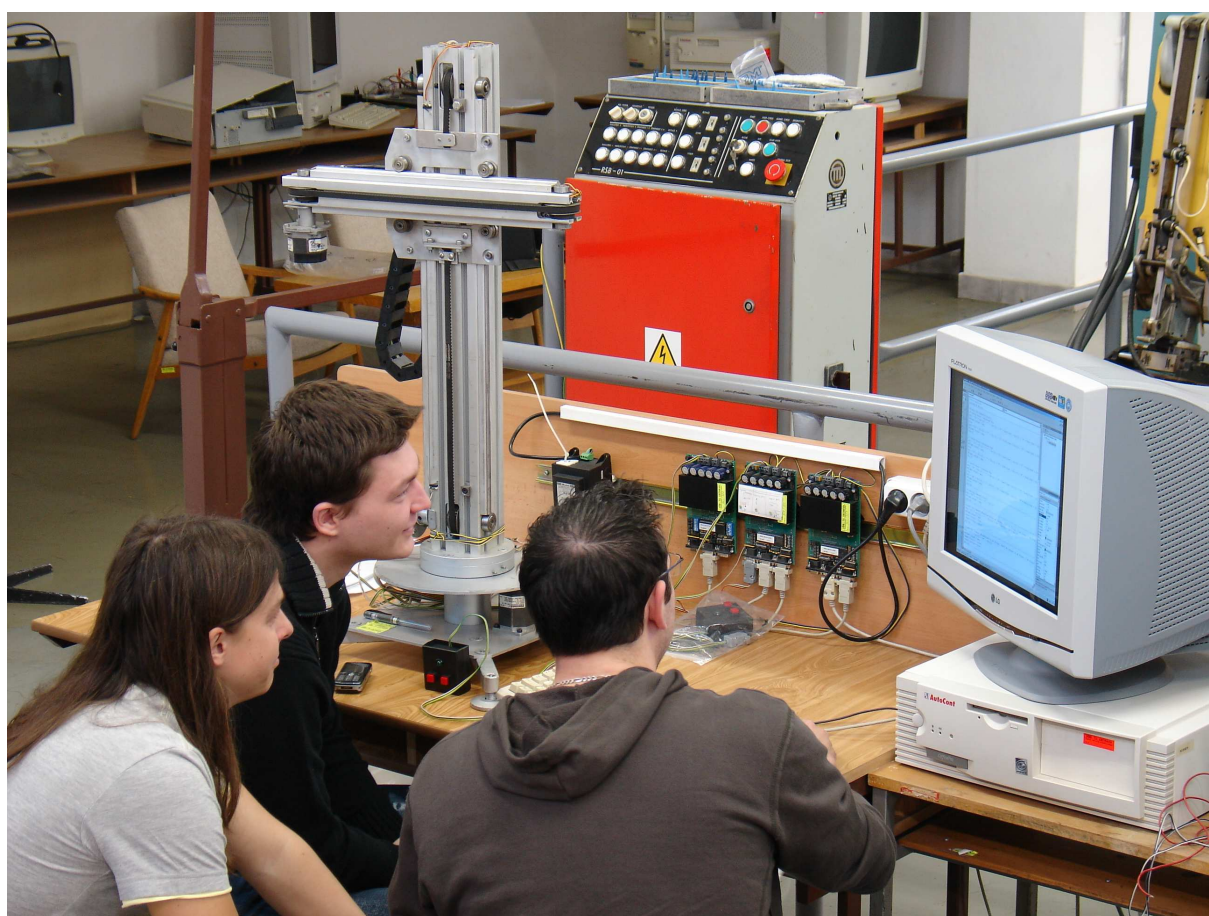
ISBN 978-80-248-2711-7

POKYNY KE STUDIU

Pro předmět Průmyslové řídicí systémy jste obdrželi studijní balík obsahující:

Pro studium problematiky návrhu řídicích systémů spodní úrovně na bázi průmyslových PC (IPC) jste obdrželi studijní balík obsahující:

- tento text,
- program pro řízení víceosého mechatronického systému – zde tříosého školního manipulátoru s pohony s krokovými motory, ovládanými moduly CD30M. Program je k dispozici na laboratorním pracovišti – viz obrázek níže.



Obr. 1.1 Pracoviště s pohony s krokovými motory – školní tříosý manipulátor.

Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětu Základy elektrotechniky pro neelektrotechnické obory nebo podobný předmět a je doporučeno prostudování první části tohoto textu - „Průmyslové řídicí systémy I“.

Cíl textu

Cílem je doplnit první část textu (studijní podpory) o kapitoly, které nebyly uvedeny a jsou důležité pro vlastní návrh řídicího systému na bázi IPC, případně i jiných typů řídicích systémů (PLC, embedded atp.). Jedná se především o problematiku bezpečnosti a spolehlivosti řídicích systémů postavených na bázi IPC, včetně metod a postupů, jak tohoto dosáhnout. Tyto postupy pak jsou zohledněny a prezentovány též na praktických příkladech/projektech řídicích systémů. Text je také doplněn o stručný (bez nároků na úplnost) popis řešení řízení víceosých pohonů pomocí modulů nebo specializovaných karet. V závěru jsou uvedeny příklady realizovaných a v praxi nasazených řídicích systémů na bázi IPC, v kterých je rovněž již zahrnuta koncepce bezpečnosti, tak jak je zde popsána.

Modul je zařazen do magisterského studia oboru Robotika studijního programu Strojní inženýrství, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity. Jedná se zejména o obory jako Automatické řízení a inženýrská informatika, Mechatronické systémy apod.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Popsat ...
-  Definovat ...
-  Vyřešit ...

Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



Shrnutí pojmů

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úlohy k řešení

Protože většina pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavním významem předmětu schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti pro řešení reálných situací.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeje autor.

Petr Novák

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
2	VÍCE A/D VSTUPŮ	9
3	BEZPEČNOST ŘÍDICÍHO SYSTÉMU.....	18
3.1	Základní vztahy	22
3.2	Redundantní řídicí systémy	25
3.3	Podmínky k dosažení dostatečné spolehlivosti	27
3.3.1	Koncepce bezpečnosti.....	28
4	VYBRANÉ ZPŮSOBY ZABEZPEČENÍ SPOLEHLIVOSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU S IPC	31
4.1	Mechanická konstrukce IPC	31
4.2	Výběr komponent IPC s ohledem na MTBF	32
4.3	Paměťový subsystém.....	33
4.4	Napájení	33
4.5	Obvod WDT	34
4.6	WDT-03	37
4.7	Jednoduché řídicí systémy	40
4.8	Redundance.....	41
4.8.1	Zdvojené řídicí systémy	41
4.8.2	Řídicí systémy typu TMR	42
4.9	Elektromagnetická slučitelnost	42
4.10	Teplota	46
4.11	Zahoření.....	48
5	ŘÍZENÍ ELEKTRICKÝCH POHONŮ.....	56
5.1	Moduly pro ovládání krokových motorů	57
5.1.1	Výkonové stupně SD30x a SD40x.....	57
5.1.2	Programovatelné jednotky typu CDxx pro řízení krokových motorů.....	58
5.1.3	Program řízení karet CD30M	61
5.2	PISO-PS400.....	64
5.2.1	Lineární interpolace	68
5.2.2	Kruhová interpolace.....	69
6	PROJEKT ŘÍZENÍ PORTÁLOVÉHO ROBOTU.....	72

6.1	Použité krokové motory	73
6.2	Výkonový modul 6410-001	75
6.3	Propojení konektorů	76
6.4	Zapojení jednotky C1x.....	78
7	PROJEKT ŘÍZENÍ PÓDIOVÝCH STOLŮ	82
	Řídicí systém pódiových stolů Smetanovy síně Obecního domu v Praze	82
7.1	Řídicí systém	83
7.2	Vstupy a výstupy	86
7.3	Řídicí program.....	88
7.4	DDE server	90
7.5	Vizualizace	91
7.6	Bezpečnost systému	93
8	PROJEKT ŘÍZENÍ NAVAŘOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	96
8.1	Popis řešení	97
8.2	Bezpečnost řídicího systému.....	100
8.3	Shrnutí.....	100
9	ZÁVĚR.....	102
10	DALŠÍ ZDROJE	103
11	PŘÍLOHY	105
11.1	Pracovní postup při zahořování počítače	105
11.2	Výstupní protokol zahořování IPC	106
11.3	Výstupní protokol zahořování IPC se závadou.....	107
11.4	Protokol o zahoření.....	108
11.5	Protokol o zahoření.....	109
11.6	Manuál desky pro řízení krokových motorů CD30M	110
11.7	Program BURNOS.....	116

1 ÚVOD

Řídicí systémy založené na mikropočítačích, začaly být v minulosti nahrazovány levnějšími, spolehlivějšími a po technické stránce výkonnějšími systémy s programovatelnými automaty (PLC). Tyto PLC založené zpočátku na jednoduchých mikroprocesorech byly původně zaměřené na cyklické čtení vstupů (převážně binárních), kterými byl reprezentován stav řízeného objektu. Vlastní řídicí program pak pomocí binárních výstupů automatu ovládal řízený objekt. V této etapě se jednalo o náhradu řídicího systému na bázi relé. Postupně s rozvojem mikroprocesorové a analogové součástkové základny se funkční schopnosti PLC rozšiřovaly o možnosti styku s analogovým okolím, komunikaci po síti atd. Původní programování na úrovni strojového kódu použitého mikroprocesoru bylo nahrazeno efektivnějšími vývojovými prostředky, umožňujícími též ladit program, monitorovat, případně simulovat vstupy/výstupy, respektive celý řídicí systém.



Výklad

Požadavky na moderní koncepci řídicího systému, popřípadě jeho části zajišťující vlastní řízení, vyžadují mimo zajištění požadované funkcionality stále vyšší úroveň bezpečnosti a spolehlivosti. Dále, v řadě případů se řídicí systémy na bázi IPC nasazují v systémech s víceosým řízením.

Cílem tohoto výukového materiálu – jeho druhé části - je zejména:

- Uvést ty postupy a řešení, které zvyšují bezpečnost a spolehlivost řídicích systémů s důrazem na procesní úroveň řízení.
- Tyto postupy demonstrovat na praktických příkladech.
- Popsat vybrané řešení řízení víceosého systému.
- Doplnit výklad analogových vstupů řídicího systému.

2 VÍCE A/D VSTUPŮ



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  Řešit požadavek na vyšší počet analogových vstupů
-  Umět použít standardní i nestandardní řešení tohoto problému
-  Umět vyřešit požadavek na DIFF vstupy u karty nabízející



Výklad

V oblasti sběru analogových dat může nastat situace, že potřebujeme připojit větší množství vstupních analogových signálů. To do počtu cca 16 DIFF/32 SE nebývá zpravidla problém, protože se jedná o typický počet, kterými bývá většina analogových karet vybavena. Dále uvažujme situaci, že se jedná o větší počet vstupů než 16 (32) současně s požadavkem na periodu měření v řádech jednotek milisekund (nemůžeme tedy použít řešení založené např. na „pomalých“ modulech ADAM řady 4000).

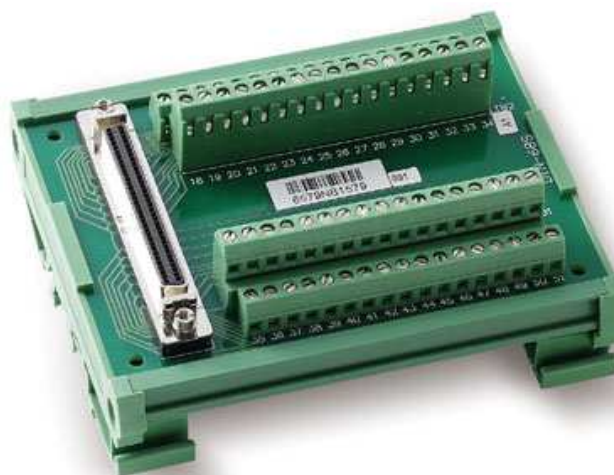
Takový požadavek je řešitelný použitím některé specializované měřicí karty s vyšším počtem analogových vstupů – např. DAQ-2208 nabízí 48 DIFF nebo 96SE A/D vstupů s rozlišením 12bitů. V případě potřeby ještě většího počtu analogových vstupů, je možné použít další karty a vzájemně je synchronizovat přes speciální systémový SSI konektor.



Obr. 2.1 Karta DAQ-2208 firmy Adlink

(http://www.adlinktech.com/PD/web/PD_detail.php?cKind=&pid=363&seq=&id=&sid=)

Tato karta existuje v provedení pro PCI sběrnici – zobrazena na obrázku a dále pro PCI Express a PXI – blíže manuál karty. Karta je na čele – vzhledem k počtu linek – osazena dvěma 68pinovými SCSI-II konektory. Vhodná dceřiná deska je zobrazena na dalším obrázku.



Obr. 2.2 Dceřiná deska DIN-68S-01. Poznámka- pro využití všech vstupů karty DAQ-2208 jsou zapotřebí 2ks.

Dalším možným řešením – požadavku na vyšší počet analogových vstupů - je použití externího analogového multiplexoru. Např. tuzemská firma Tedia [18] ke svým analogovým měřicím kartám nabízí externí multiplexory, které zároveň slouží jako svorkovnice. Uvedme příklad použití 14bitové měřicí karty PCA-7408AL z řady PCA-72xx a PCA-74xx.

Tyto karty obsahují osm analogových vstupů (s možností rozšíření pomocí externího multiplexoru) alternativně s 12bitovým, 14bitovým, nebo 16bitovým A/D převodníkem. Vstupy karet jsou výhradně typu SE. Analogové vstupy doplňují dva analogové výstupy s 12bitovými D/A převodníky (pouze verze AS), dva čítače, osm digitálních vstupů a osm digitálních výstupů.

Signály analogových vstupů a výstupů jsou vyvedeny na konektor D-Sub 25, signály čítačů pak na konektor D-Sub 9; oba konektory jsou umístěny přímo na PC štítku karty. Signály digitálních portů jsou vyvedeny na konektorech umístěných na zadní straně karty.



Obr. 2.3 Měřicí deska řady PCA-7208, 7408 a 7628.

Karty řady PCA-7208/7408/7628 nabízejí:

- vysokoimpedanční analogové vstupy se šesti softwarově volitelnými rozsahy nezávisle pro každý vstup,
- datový zásobník pro naměřená data v podobě dvoubránové paměti,

- analogové výstupy vybavené obvody zabráňujícími zakmitávání¹,
- čítače zpracovávané synchronně s analogovými vstupy,
- digitální vstupy a výstupy.

Technické parametry

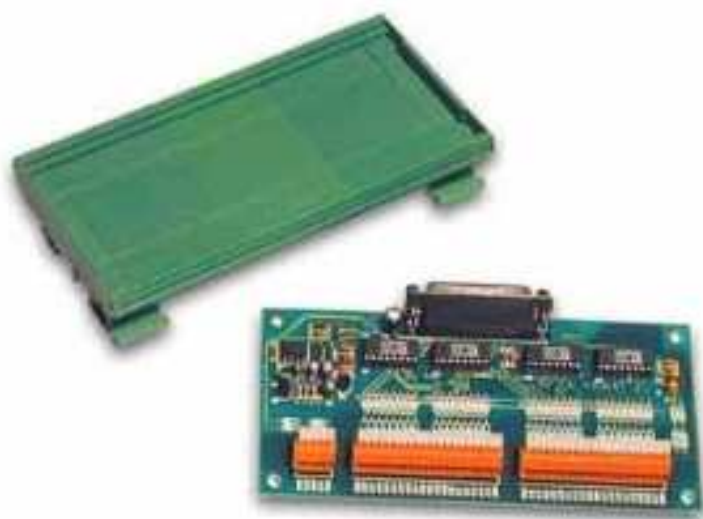
Počet a typ analogových vstupů	8x SE (možnost rozšíření pomocí externího multiplexeru)
Rozlišení analogových vstupů	12 bitů (PCA-7208AL/AS) 14 bitů (PCA-7408AL/AS) 16 bitů (PCA-7628AL/AS)
Vstupní rozsahy	$\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 2,5V$, $\pm 1,25V$, $\pm 0,635V$, $\pm 0,3125V$
Odolnost proti přepětí	$\pm 32V$ trvale, $\pm 100V$ / 1ms max.
Vzorkovací frekvence	10kHz max. (závisí na typu OS, resp. typu ovladače)
Spouštění vzorkování	softwarově, časovačem, externím TTL signálem
Datový zásobník	256B (dvoubránová RAM)
Počet analogových výstupů	2 (PCA-7208AS, PCA-7408AS, PCA-7628AS) 0 (PCA-7208AL, PCA-7408AL, PCA-7628AL)
Rozlišení analogových výstupů	12 bitů
Výstupní rozsahy	$0 \div 5V$
Doba ustálení výstupního napětí	0,05ms typ.
Počet a typ čítačů	2x 16 bitů
Počet digitálních vstupů	8
Pracovní digitálních vstupů úroveň	TTL/HC (odolnost $\pm 32V$)
Počet digitálních výstupů	8
Pracovní digitálních výstupů úroveň	TTL/HC

¹ Jedná se o problém spojený přepisem zadávaného vstupního kódu na datové vstupy D/A převodníku v případě vyššího počtu bitů než 8, což je nyní prakticky standard. V případě např. 12 bitového D/A převodníku se řídicí slovo zadává ve dvou částech – zpravidla nižších 8 bitů a pak zbylé 4 bity. U „jednoduchého“ provedení se po zápisu první části řídicího slova toto okamžitě zapíše na vstup D/A převodníku, který nastaví svůj výstup ve shodě s řídicím slovem. V druhém kroku následuje zápis zbylé části řídicího slova (např. již zmiňované 4 bity), které navíc zpravidla obsahují MSB bit. Teprve nyní se výstup D/A převodníku nastaví na požadovanou hodnotu. Právě změna výstupu D/A převodníku ve dvou krocích způsobuje zákmit. U lepších karet se tento problém řeší tak, že až po zápisu druhé části řídicího slova D/A převodníku je celé slovo zapsáno/přeneseno na řídicí vstupy převodníku. Zákmity zde tedy z principu nemohou nastat.

Sběrnice	standardní PCI (32 bitů, 33 MHz, 5V)
Rozměry desky	cca 100x130 mm

Tab. 1 Technické parametry měřicích karet

Z výše uvedeného popisu karet zejména plyne, že tyto disponují pouze osmi SE analogovými vstupy s rozlišením 12, nebo 14 bitů. V případě potřeby většího počtu vstupů je možno použít externí modul (dceřinou desku) OPT-832. **Dceřiná deska OPT-832 slouží k rozšíření počtu analogových vstupů multifunkčních PC karet beze změny jejich vlastností.**



Obr. 2.4 Dceřiná deska OPT-832.

Deska obsahuje multiplexer se 32 analogovými vstupy a osmi výstupy, tzn., že každý z osmi vstupů multifunkční karty je rozšířen 4x. Deska neobsahuje žádný zesilovač a celý systém disponuje stejnými vstupními rozsahy jako řídicí karta.



Důležitá poznámka

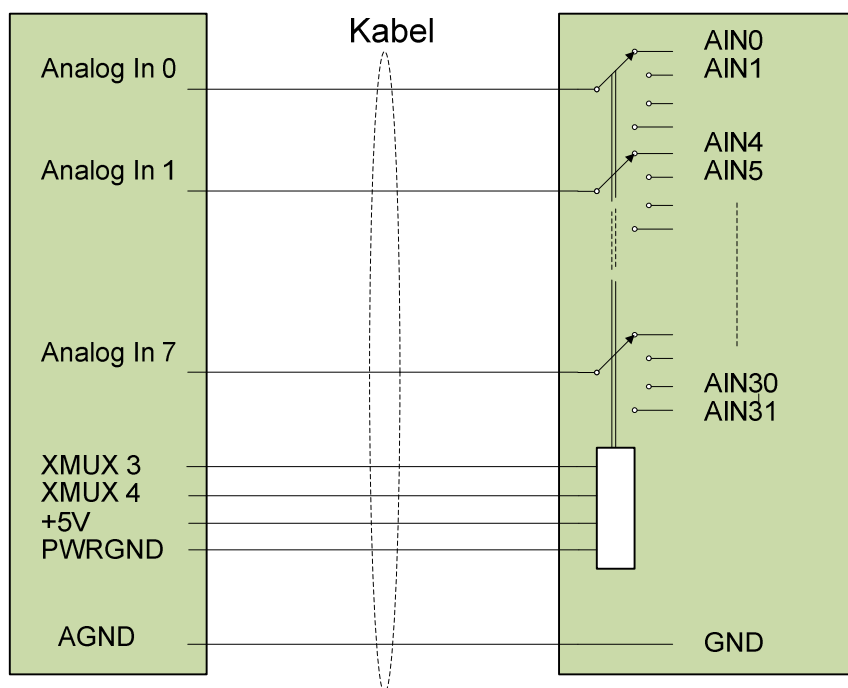
Pokusme se zamyslet nad tím, jak a čím je vlastně tento **externí** multiplexer ovládán. Jedná se v podstatě o přepínač se čtyřmi polohami. Pro jeho ovládání potřebuje řídicí aplikace (ovladač karty) určitý počet binárních signálů. Pro 4 stavy (každý z osmi vstupů karty je externě připojen na čtyřpolohový přepínač) jich tedy bude zapotřebí dva ($2^2 = 4$). Tyto signály bychom měli nalézt na příslušném připojovacím konektoru karty a dceřiné desky – viz tabulka.

<i>funkce</i>	<i>PIN</i>	<i>PIN</i>	<i>funkce</i>
+5V (viz. poznámka)	C1	C14	+12V (viz. poznámka)
PWR GND	C2	C15	PWR GND
Analog Out 1	C3	C16	Analog Out 0
XMUX4 (*)	C4	C17	XMUX3 (*)
A GND	C5	C18	Analog In 7
A GND	C6	C19	Analog In 6
A GND	C7	C20	Analog In 5
A GND	C8	C21	Analog In 4
A GND	C9	C22	Analog In 3
A GND	C10	C23	Analog In 2
A GND	C11	C24	Analog In 1
A GND	C12	C25	Analog In 0
A GND	C13		

Tab. 2 Připojovací konektor karet řady PCA-72xx a 74xx. Poznámka: označeny logické signály XMUX 3 a XMUX 4 pro řízení externího multiplexoru.

Karta
PCA-74xx

Deska OPT-832



Obr. 2.5 K vysvětlení funkce externího multiplexoru rozšiřujícího počet SE analogových vstupů (kresleno principiálně).

(Konec poznámky)

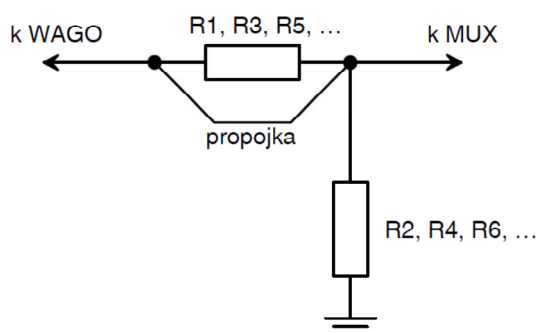


Otázky 2.1.

Kolik analogových multiplexorů je použito v této sestavě = měřicí karta s osmi analogovými vstupy plus dceřiná deska rozšiřující počet vstupů čtyřnásobně? (Odpověď je pod čarou.²)

(Konec dotazu)

V dokumentaci desky OPT-832 je dále uvedeno zapojení vstupních analogových obvodů – viz Obr. 2.6. Z něho je zřejmé, že obsahují vstupní odporové děliče, což je velice praktické. Rovněž si všimněte zakreslené propojky – jejím osazením lze jednoduše řešit napojení signálu s proudovým výstupem.

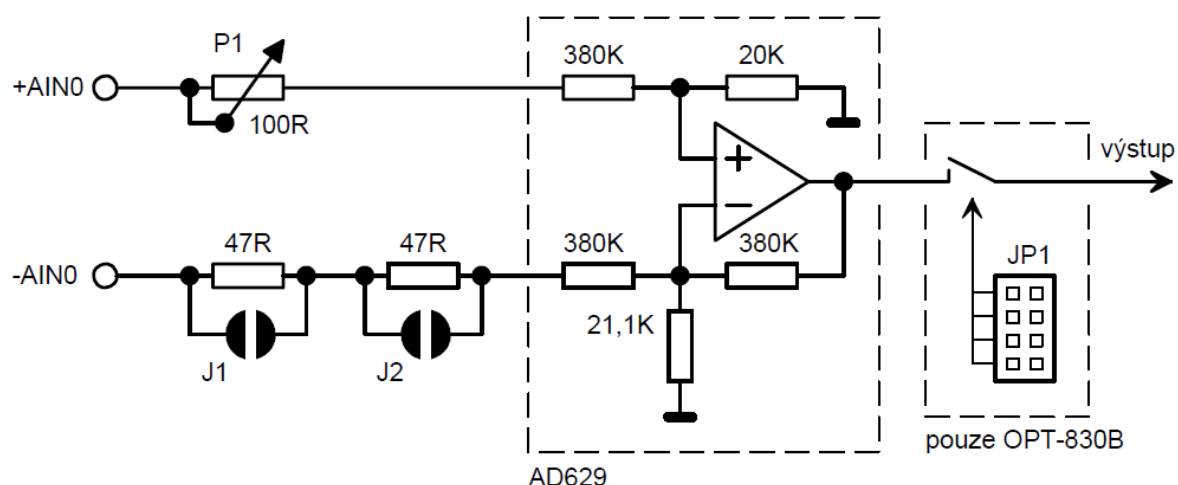


Obr. 2.6 Zapojení vstupních analogových obvodů desky OPT-832.

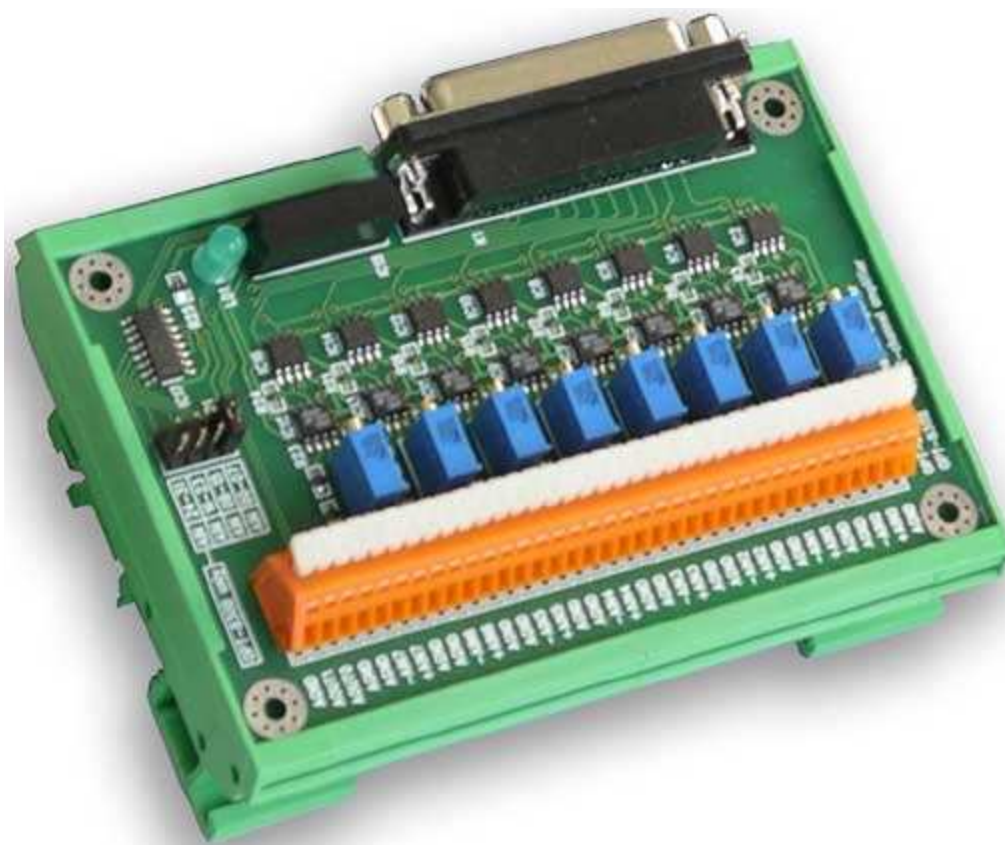
Výše popsaným řešením jsme realizovali rozšíření osmi vstupů na čtyřnásobek, tedy 32. Jedná se však stále o SE vstupy.

Pokud bychom potřebovali vstupy diferenciální (DIFF), můžeme pro popisované karty použít dceřině desku OPT-830A nebo desku/desky 830B. Desky OPT-830A/830B (Obr. 2.8) obsahují osm diferenciálních zesilovačů. Deska OPT-830B je navíc osazena třístavovými výstupními budiči, umožňující paralelním řazením až 4 desek, rozšířit základních osm vstupů měřicí karty až na 32 – bude se jednat v podstatě o zapojení jako v předchozí kapitole, ale tentokrát s DIFF vstupy. Pro názornost je na Obr. 2.7 zachyceno zapojení jednoho vstupu.

² Dva multiplexory – první na měřicí kartě před vstupem do A/D převodníku (ten je pouze jeden) a druhý na již zmiňované dceřině desce...



Obr. 2.7 Zjednodušené schéma zapojení diferenciálního vstupu se zesilovačem (1 kanál).



Obr. 2.8 Dceřiná deska OPT-830B (v provedení určeném pro montáž na DIN lištu).

Výhodou řešení požadavku více analogových vstupů založeném na použití karet rodiny PCA-7xxx výrobce Tedia může být také jejich velice příznivá cena a to včetně dceřiné desky/multiplexoru. Výrobce rovněž na svých stránkách nabízí potřebné ovladače. Na této sestavě bylo např. řešeno měření 64 analogových signálů s DIFF vstupy.



Shrnutí pojmů 2.2.

- U většiny analogových měřicích karet je standardní počet vstupů cca 8, 16 nebo 32 typu SE.
- U těchto karet bývá ve většině případů možné též vstupy nakonfigurovat na typ DIFF. V takovém případě je pak počet vstupů poloviční.
- Pro aplikace vyžadující „nadstandardní“ počet analogových vstupů je nabídka vhodných karet omezena.
- Větší počet analogových vstupů je možné též zajistit použitím více karet současně – některé karty jsou pro tuto variantu uzpůsobeny (speciální vlastní synchronizační sběrnice). Výhoda řešení – je možné měřit více vstupů současně a nedojde k dalšímu snížení celkové vzorkovací frekvence.
- Některé karty lze dovybavit externími elektronickými multiplexory. Dojde ke snížení celkové vzorkovací frekvence.
- Při použití multiplexoru musíme zajistit jeho adresování == musíme mít k dispozici logické výstupy.



Otázky 2.2.

1. Kdy je nevhodné použít pro navýšení vstupů měřicí karty multiplexoru využívajícího relé?
2. Představte si situaci, kdy určitá měřicí karta s 16 A/D vstupy bude dovybavena multiplexorem rozšiřující počet těchto vstupů na 64. Kolik DO linek budete potřebovat pro adresaci multiplexoru?
3. Jakou výhodu přináší použití více analogových měřicích karet?
4. Vysvětlíte rozdíl mezi SE a DIFF vstupem (náповěda viz první část této studijní podpory).

3 BEZPEČNOST ŘÍDICÍHO SYSTÉMU



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

-  se orientovat v základní terminologii a parametrech ukazatelů jakosti a spolehlivosti v oblasti řídicích systémů,
-  umět zohlednit požadavky kladené na spolehlivost při návrhu řídicího systému/výběru jeho komponent,
-  kategorizovat typy poruch,
-  získáte představu o důvodech použití redundantních řídicích systémů.



Výklad

Spolehlivost spolu s pohotovostí³ je důležitým měřítkem jakosti všech řídicích systémů, tedy i řídicích systémů založených na IPC. Porucha a selhání řídicího systému často vede k odstavení řízené technologie a může ohrozit zdraví lidí a poškodit zařízení.

Pojem spolehlivosti vymezuje norma ČSN ISO 84022 a ČSN IEC 50 (191) (a jejich doplňky). Jakost a spolehlivost služeb: Spolehlivost⁴ je termín pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují tj. bezporuchovosti, udržitelnosti, zajištěnosti údržby...

Spolehlivost je chápána jako komplexní vlastnost objektu (např. řídicího systému). Jednotlivé vlastnosti spolehlivosti lze pak definovat:

- **pohotovost** je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce v *daném časovém okamžiku* a v daných podmínkách.
- **bezporuchovost** je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po *stanovenou dobu* a za stanovených podmínek,

³ ČSN IEC 50 (191) *Jakost a spolehlivost služeb* - *Jakost a spolehlivost služeb*: **Pohotovost, dostupnost** (availability) – schopnost objektu (entity, systému,...) být ve stavu schopném plnit požadované funkce v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo intervalu za předpokladu, že jsou zajištěny všechny požadované vnější prostředky.

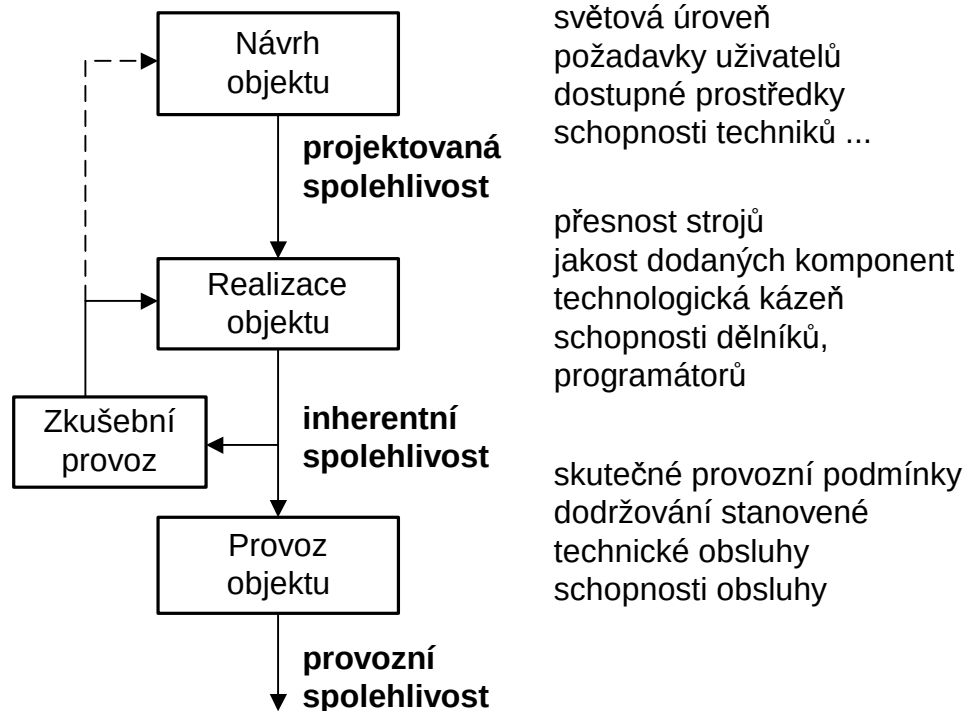
⁴ Podle definice platné dle ČSN do roku 1993 byla spolehlivost definována jako vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených podmínek.

- udržovatelnost je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a prostředky (zahrnují i dřívější pojem opravitelnosti),
- zajištěnost údržby,
- skladovatelnost,
- životnost – schopnost objektu plnit požadované funkce do dosažení mezního stavu při stanoveném systému předepsané údržby a oprav,
- bezpečnost – vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění předepsané funkce.

Kvantitativní vyjádření jedné nebo několika dílčích vlastností spolehlivosti nazýváme **ukazatel spolehlivosti**. U daného objektu (zde řídicího systému) je nutné určit, kterými ukazateli bude jeho spolehlivost popsána.

Každý objekt prochází během svého technického života třemi obdobími:

- Obdobím návrhu, kdy jsou vytvářeny předpoklady pro dosažení určité spolehlivosti. V podstatě se hledá řešení s požadovanou úrovní spolehlivosti při minimálních nákladech ve všech obdobích technického života. Jedná se o **projektovanou spolehlivost**.
- Obdobím realizace, kdy je nutné navrženou úroveň spolehlivosti realizovat. Každý jednotlivý objekt tak získává svoji vlastní, tzv. **inherentní spolehlivost**.
- Obdobím provozu, v němž je objekt používán ke stanovenému účelu. Navrženou a realizovanou úroveň spolehlivosti je nutné udržovat. Hovoří se zde o **provozní spolehlivosti**.



Obr. 3.1 Návaznost řešení problematiky spolehlivosti v jednotlivých obdobích návrhu, realizace a provozu.

Poruchy se klasifikují podle různých hledisek:

Příčina vzniku poruchy:

- vnější příčiny (například):
 - nedodržení stanovených provozních podmínek,
 - porušení předpisů pro obsluhu a údržbu,
 - klimatické podmínky,
- vnitřní příčiny
 - vlastní nedokonalost HW, především pak časně poruchy, projevující se v počátečním období provozu,
 - software (operační systém a vlastní aplikační – řídicí program, absence zálohování,...).

Časový průběh změn parametrů

- poruchy náhlé, projevující se prudkou změnou jednoho, nebo i více parametrů zařízení (napájecí obvody...),
- poruchy postupné – např. v důsledku stárnutí nebo opotřebení (pevný disk...). Zatímco poruchy náhlé se předvídat nedají, je předvídaní postupných poruch častou úlohou teorie spolehlivosti,
- poruchy občasné (tepelné přetížení CPU...).

Stupeň porušení provozuschopnosti

- poruchy úplné zabraňují objektu zajišťovat požadovanou funkci,

- poruchy částečné znamenají odchýlení jednoho nebo i více parametrů od úrovní stanovených technickými podmínkami, které však úplně nebrání objektu plnit požadovanou funkci.

Následky poruch (viz též dále uvedený popis PCL-752)

- poruchy kritické (ohrožení zdraví, života, životního prostředí, technologie),
- poruchy podstatné (ztráta provozuschopnosti),
- poruchy nepodstatné (nevedou ke ztrátě provozuschopnosti).

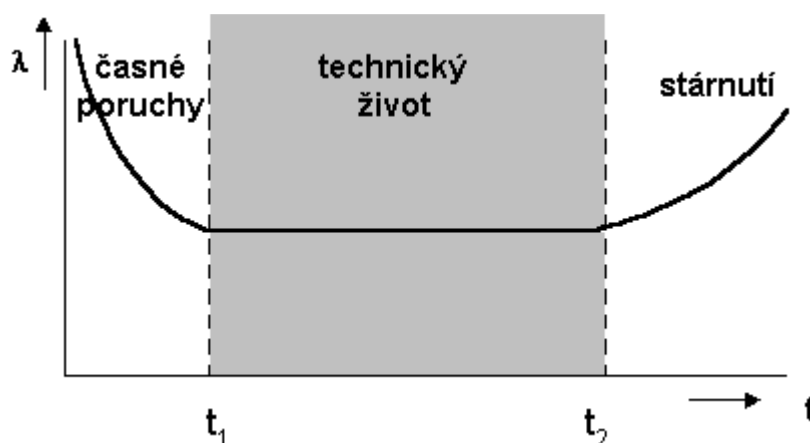
Pro kvantitativní hodnocení spolehlivosti je důležitá klasifikace objektů z hlediska jejich dalšího osudu po vzniku poruchy, tj. zda po poruše dochází nebo nedochází k obnově jejich provozuschopnosti:

Neobnovované objekty: které se hodnotí pouze z hlediska vzniku jejich poruchy, jejichž další osud po vzniku nás nezajímá. U těchto objektů nás tedy zajímá zejména bezporuchovost. Jedná se o objekty, které se po vzniku poruchy vyřazují. Jsou to např. ložiska, elektronické komponenty, prvky IPC,...

Obnovované objekty, jejichž schopnost plnit požadované funkce po poruše se obnovuje opravou nebo výměnou vadného prvku. Zde nás zajímá především pohotovost (provozuschopnost). Jedná se tedy např. o řídicí systém, který jako celek je chápán jako obnovovaný objekt (s tím, že jeho prvky jsou většinou neobnovované objekty). Oprava se považuje za účelnou tehdy, když průměrná cena opravy a náhradních součástí je malá vůči pořizovací ceně zařízení.

3.1 Základní vztahy

Spolehlivost (pohotovost) elektronických zařízení se často stanovuje s pomocí statistiky. Výpočet je založen na pojmu *intenzity poruch* λ . Intenzita poruch daného prvku je definována jako celkový počet jeho poruch během daného období⁵, obvykle za jeden milion provozních hodin.



Obr. 3.2 Průběh intenzity poruch – vanová křivka, její tvar platí zejména pro elektronické komponenty.

Typický tvar intenzity poruch je zachycen na Obr. 3.2. Křivka na tomto obrázku se nazývá **vanová křivka** a obvykle se dělí na tři úseky. V prvním úseku tato křivka klesá. Odpovídající časový interval se nazývá období časných poruch (období záběhu, období počátečního provozu, období osvojování nebo období dětských nemocí). Příčinami zvětšené intenzity poruch v tomto období jsou poruchy v důsledku výrobních vad, nesprávné montáže, chyb při návrhu, nebo při výrobě apod.

Ve druhém úseku dochází k běžnému využívání zařízení, k poruchám dochází většinou z vnějších příčin, nedochází k opotřebení, které by změnilo funkční vlastnosti zařízení. Intenzita poruch je v tomto období přibližně konstantní. Příslušný časový interval se nazývá obdobím technického života (období normálního využívání).

Ve třetím úseku procesy opotřebení stárnutí mění funkční vlastnosti zařízení, projevují se nashromážděné otřesy, trhliny, provoz při vyšších teplotách, při vyšších napájecích napětích, provoz při vyšších kmitočtech (např. přetaktování mikroprocesorů a z toho plynoucí zvýšený tepelný ztrátový výkon) apod. Tento časový úsek se nazývá stárnutí (dožití).

Pro období technického života v intervalu $\langle t_1, t_2 \rangle$ s exponenciálním zákonem rozdělení platí: $\lambda(t) = \lambda = \text{konst.}$, a lze používat následující vztahy:

⁵ v oblasti technického života ve vanové křivce

$$\lambda = \frac{\text{celkový počet poruch}}{\text{celkový sledovaný čas}} \quad (1)$$

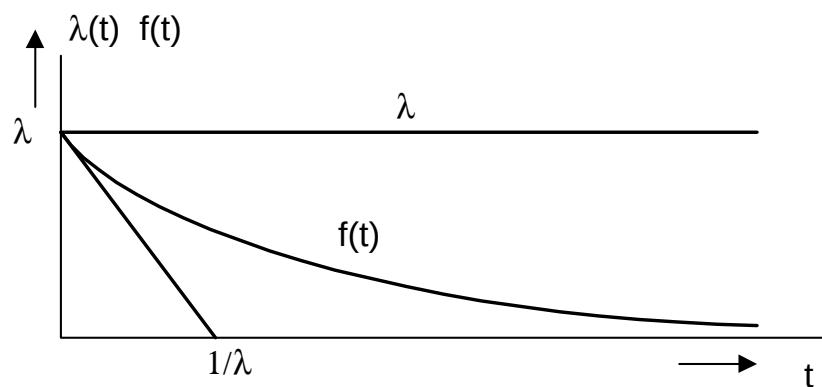
Pravděpodobnost bezporuchového provozu:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Tato funkce vyjadřuje pravděpodobnost toho, že na intervalu (0, t) nedojde k poruše.

Hustota pravděpodobnosti poruch:

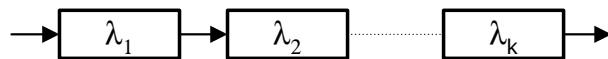
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3)$$



Obr. 3.3 Průběhy ukazatelů $\lambda(t)$ a $f(t)$.

Intenzita poruch systému sestávajícího z mnoha částí, z nichž každá je považována pro činnost systému nezbytnou (*jedná se tedy o sériový poruchový model*), může být vypočítána jako součet intenzit poruch jednotlivých komponent.

$$\lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i, \quad (4)$$



kde k je počet komponent.

Z tohoto vztahu plyne, že systém navržený z menšího počtu komponent má nižší intenzitu poruch.

Střední doba mezi poruchami (*Mean Time Between Failures – MTBF*⁶) se vypočítá jako převrácená hodnota intenzity poruch,

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

Bezpečná MTBF (*safe*), značená $MTBF_s$, je odvozena z poruch, které mají za následek bezpečné odstavení řízeného objektu.

Nebezpečná MTBF (*dangerous*), značená $MTBF_d$, je odvozena z poruch, které mají v důsledku chybné funkce systému řízení za následek ztrátu kontroly nad řízeným procesem.

Střední doba mezi opravami (*Mean Time To Repairs – MTTR*), je průměrná doba potřebná k odstranění poruchy a uvedení zařízení do provozu. Podle normy jsou v této době zahrnuty i časy potřebné k lokalizaci příčiny poruchy, doby potřebné na dodávku potřebného náhradního dílu atd.

$$MTTR = \frac{T_O}{N_P} \quad , \quad (6)$$

kde T_O je celková doba potřebná na opravy,

N_P je celkový počet poruch.

Pohotovost A je poměr doby, po kterou zařízení plní svou funkci a celkového uplynulého času.

$$A = \frac{T_{BP}}{T_P} \quad (7)$$

kde T_{BP} je celková doba bezporuchového plnění funkce,

T_P je celkový uplynulý čas.

⁶ též se používá značení T_S

Lze ji vypočítat také z MTBF a MTTR:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (8)$$

Předpokladem správného výpočtu intenzity poruchy jsou správné výchozí hodnoty intenzit poruch λ_i jednotlivých komponent, respektive jejich hodnoty MTBF. V současné době tyto hodnoty začínají zveřejňovat výrobci komponent průmyslových PC ve svých katalogích, případně na internetu.

Předpokladem správného výpočtu intenzity poruchy jsou správné výchozí hodnoty intenzit poruch λ_i jednotlivých komponent, respektive jejich hodnoty MTBF.

Hodnoty MTBF uvádějí pouze někteří výrobci komponent IPC a to ještě ne u všech komponent. Hodnoty MTBF jsou například firmou Advantech udávány u některých komponent a celků, jako jsou:

- CPU karty,
- napájecí zdroje,
- displeje a jejich podsvícení,
- flash disky,
- panelová PC,
- průmyslové pracovní stanice.

3.2 Redundantní řídicí systémy

Pro hodnocení rizika a následků havárie technologických zařízení je možné použít normu DIN V 19250, která v závislosti na obecně chápáném riziku definuje celkem osm tříd požadavků na řídicí systém (*Anforderungsklasse – AK*), označených stupnicí 1 až 8. Při hodnocení rizika se berou v úvahu čtyři kritéria:

1. možný rozsah škod,
2. předpokládaná frekvence výskytu rizikové situace,
3. možnost jejího odvrácení a
4. pravděpodobnost jejího vzniku.

Vazbu AK na tyto kritéria zachycuje Obr. 3.4. Uvedeným AK je normou DIN VDE 0801 přiřazena typová konfigurace řídicího systému. Je potřeba poznamenat, že pro splnění nároků plynoucích z AK7 a AK8 nelze vyhovět jediným, byť i redundantním řídicím systémem. Pro tyto případy je potřeba použít diverzifikovaný systém složený například z redundantního automatu a reléové logiky sestavené z certifikovaných bezpečnostních prvků. Typové konfigurace řídicích systémů pro AK1 až AK6 jsou uvedeny v tabulce níže.

Konfigurace	AK		
	1 až 4	1 až 5	1 až 6
CPU	jednoduchá	redundantní	redundantní
I/O jednotky	jednoduché	jednoduché	redundantní
I/O sběrnice	jednoduchá	jednoduchá	redundantní

Tab. 3 Typové architektury pro AK 1 až 6 podle normy DIN VDE 0801.

Rozsah škod	Frekvence	Možnost odvrácení	Pravděpodobnost události		
			relativně malá	malá	velmi malá
lehké zranění			1	-	-
těžká zranění, smrt jedné osoby	zřídka	možné	2	1	-
		nemožné	3	2	1
	často	možné	4	3	2
		nemožné	5	4	3
smrt několika osob	zřídka	nemožné	6	5	4
	často	katastrofa	7	6	5
			8	7	6

Obr. 3.4 Třídy požadavků DIN VDE 0801 (čísla ve sloupcích vyjadřují AK).

Jednoduché řídicí systémy odpovídající třídám 1 až 4 se vyznačují jedinou procesorovou jednotkou propojenou jednoduchou sběrnicí se vstupními a výstupními moduly v jednoduchém provedení bez zálohy. Mají-li být takovéto systémy nasazeny pro aplikace s jistými nároky na bezpečnost a spolehlivost provozu, musí k tomu být zvlášť uzpůsobeny. Například pro použití ve třídě 3 a 4, musí být vybaveny průběžným testováním funkce CPU jednotky a testovatelnými I/O moduly. Při zjištění chyby jednoduchého řídicího systému je

nutné okamžitě odstavit řízený proces. Akční členy v technologii tedy musí být konstruovány tak, aby při výpadku řízení uvedly technologické zařízení do bezpečného stavu.

Zdvojené řídicí systémy jsou v různé míře vybaveny redundancí. Základní provedení má jednoduchý I/O systém, jednoduchou sběrnici a redundantní CPU jednotky. Znamená to, že ve funkci je jeden procesor a druhý tvoří tzv. horkou zálohu. V obou procesorech běží paralelně stejný program, přičemž si vhodným způsobem vzájemně kontrolují svou činnost. Při poruše přebírá řízení v plném rozsahu záložní procesor. Pro vyšší hodnoty AK bývají zdvojeny také sběrnice a I/O systém. Při poruše zdvojeného systému není nutné bezprostředně odstavovat řízený proces. Pokud takový požadavek s ohledem na bezpečnost je, tak musí být systém navržen tak, aby při přechodu na záložní systém automaticky spustil odstavovací sekvence. Vlastní proces je tedy v tomto případě odstaven řídicím systémem a nemusí zde tedy být akční členy konstruovány pro přechod do bezpečného stavu při výpadku řízení jako v případě jednoduchých řídicích systémů.

K řízení procesů s nejvyššími požadavky na bezpečnost a provozuschopnost jsou určeny trojnásobně redundantní (*Triple Modular Redundant* – TMR) řídicí systémy. Jejich architektura zajišťuje bezchybnou a nepřerušovanou činnost při výpadku některého z prvků i při poruchách způsobených některou jinou vnější nebo vnitřní příčinou. Bližší informace o TMR řídicích systémech včetně popisu praktických aplikací lze nalézt v [23].

Vliv tří základních koncepcí redundance řídicího systému na hodnoty $MTBF_s$ a $MTBF_d$ jsou uvedeny v následující tabulce.

	Zdvojený CPU s jednoduchým I/O	Zdvojený CPU s redundantním I/O	TMR systém
$MTBF_s$ [roky]	0,80	5,4	324
$MTBF_d$ [roky]	4,31	25,54	18 745

Tab. 4 Příklad hodnot $MTBF_s$ a $MTBF_d$ pro tři základní koncepce redundance v řídicím systému (převzato z [23]).

Další zdroje informací týkající se spolehlivosti (obecně) lze hledat v ČSN ISO 9000-4 “Pokyny pro řízení programu spolehlivosti“, dále o „udržovatelnosti“ hovoří ČSN IEC 706“ a o „bezporuchovosti“ ČSN ISO 300.

3.3 Podmínky k dosažení dostatečné spolehlivosti

- hardwarová spolehlivost,
- softwarová spolehlivost (algoritmus, operační systém, program),

- *informační spolehlivost* (komunikace, zpracování a uchovávání informace),
- *lidský faktor* (je-li součástí lidská obsluha).

Cílem metod zvyšování spolehlivosti je návrh systému odolného proti vytypovaným poruchám. (fault-tolerant system).

3.3.1 Koncepce bezpečnosti

fail-safe (při poruše) – jak reagovat na vzniklou poruchu, aby se neprojevila jako kritická nebo nebezpečná.

life-safe (koncepce bezpečného života) – tak navržený systém, aby až do ukončení jeho bezpečného života byla pravděpodobnost kritické poruchy přijatelně malá.

Faktor	Popis	
Dělbba funkcí	Nejvýhodnější z hlediska dosažitelné spolehlivosti je zpravidla koncepce řídicího systému založena na distribuovaném systému, v němž zpravidla poruchy jednotlivých komponent mají méně závažné důsledky.	
Struktura řídicího systému	Rozdělení ŘS na autonomní jednotky snižuje vliv jednotlivých poruch.	
Odolnost software	Při psaní a testování programů je obtížné ošetřit všechny možné situace, které by mohly nastat během provozu. Vývojář se může pouze snažit o co nejtěsnější přiblížení ideální situaci. Důsledkem softwarové funkce nezakončené definovaným stavem může být cokoli mezi trivialitou a katastrofou. Existují však metody, které, když už selhání nevyloučí, tak alespoň velmi výrazně minimalizují jeho následky. Jsou to:	
	Strukturování software -	s cílem získat autonomní moduly: rozdělení na méně složité části a jejich postupný vývoj a ladění,
	Spolehlivý soubor základ. služeb -	pro všechna funkční volání, např. plánování běhu úloh, jejich časová náročnost vzhledem k možnostem výkonu procesoru, průchod zpráv, ukládání a nalezení dat, komunikace, ošetření chyb a diagnostika ⁷ ,
Kvalita vnitřní diagnostiky a vyhledávání chyb	Protože doba potřebná k odstraňování poruch (tj. celkový prostoj) má přímý vliv na pohotovost, je důležité poruchy rychle lokalizovat a odstranit. V současné době se ŘS postavené na IPC obvykle opravují výměnou vadné desky novou. Jedním z nejlepších opatření ve prospěch pohotovosti je tedy osvojení „know-how“ potřebného k rychlé diagnóze chyb, vytvoření skladu potřebných náhradních dílů a zavedení účinných postupů výměn a oprav.	
Úroveň zálohování	Redundance, tj. zajištění záložních prostředků, které převzmou funkci v případě selhání základního vybavení, může spolehlivost výraznou měrou zlepšit. Ovšem jen za předpokladu, že záloha je v potřebný okamžik provozuschopná a že původní vybavení lze rychle opravit.	
Program zajištění kvality	Zahrnuje všechny činnosti od nákupu přes návrh, výrobu a instalaci až po uvedení do provozu a týká se jak hardware, tak software systému. Základem, bez kterého nelze požadované spolehlivosti dosáhnout, je jasné stanovení procedurálních metod a pravidel údržby a jejich striktní dodržování. Samozřejmostí je vybudování zpětné informační vazby mezi údržbou a vývojem.	

Tab. 5 Některé faktory ovlivňující spolehlivost řídicího systému.

⁷ Příkladem jednoduché, ale někdy opomíjené diagnostiky je prověřování kombinace fyzicky možných stavů koncových spínačů.



Shrnutí pojmů 3.1.

- Spolehlivost je chápána jako komplexní vlastnost objektu (např. řídicího systému).
- Kvantitativní vyjádření jedné nebo několika dílčích vlastností spolehlivosti nazýváme **ukazatel spolehlivosti**.
- Každý objekt prochází během svého technického života třemi obdobími: návrh – realizace – provoz.
- Příčina poruchy bývá vnější a vnitřní.
- Z pohledu časového průběhu bývají poruchy náhlé, postupné a občasné (nahodilé).
- Z pohledu následků je možné poruchy definovat jako: kritické, podstatné a nepodstatné.
- Intenzita poruch daného prvku je definována jako celkový počet jeho poruch během daného období, obvykle za jeden milion provozních hodin.
- **Střední doba mezi poruchami** (*Mean Time Between Failures* – MTBF).
- Redundantní řídicí systémy řeší problém jak z komponent (dílů, subsystémů atp.) s určitou MTBF postavit systém s vyšší celkovou MTBF (zjednodušeně řečeno).



Otázky 3.1.

1. Jaký je vztah mezi intenzitou poruch a MTBF?
2. Co je MTBF a jaký je má rozměr?
3. Co znamená bezpečná MTBF a nebezpečná MTBF?
4. Co je to MTTR?
5. Co je to redundance?
6. Proč se používá?
7. Co je koncepce bezpečnosti fail-safe a life-safe?
8. Co je pohotovost?
9. Nakreslete a popište typickou vanovou křivku. Čeho se týká?

4 VYBRANÉ ZPŮSOBY ZABEZPEČENÍ SPOLEHLIVOSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU S IPC



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ specifikovat komponenty IPC s ohledem na specifické požadavky spolehlivosti dané aplikace,
- ✚ se orientovat ve vlivu některých subsystémů IPC na jeho spolehlivost,
- ✚ řešit požadavky na monitorování bezporuchového chodu řídicího systému a zakomponovat je i dodatečně do stávajícího řídicího systému,
- ✚ vysvětlit a při vlastním návrhu řídicího systému zohlednit nepříznivý vliv teploty na spolehlivost,
- ✚ popsat zahořování IPC, včetně používaných postupů.



Výklad

V následujícím textu budou stručně uvedeny některé základní metody a postupy mající vliv na spolehlivost řídicího systému založeného na IPC.

4.1 Mechanická konstrukce IPC

Jedná se o koncepci bezpečného života (*life-safe*)

Nasazování počítačů na bázi PC do průmyslových provozů si vyžádalo používání speciálních komponent, které zajistí stabilitu systému i při extrémních pracovních podmínkách (jedná se o vnější vlivy). Tyto pracovní podmínky jsou zejména:

- vibrace 0 až 500Hz při 1g, rázy do 10g,
- pracovní teplotní rozsah 0 až 55 °C; případně –40 až 85 °C,
- relativní vlhkost 10 až 90 % (bez kondenzace),
- elektrické krytí až IP 65/68 pro mokré a prašné prostředí,
- periferie přizpůsobené průmyslovým podmínkám.

Konstrukce takového PC vhodného do průmyslového prostředí se od klasického stolního kancelářského PC odlišuje skříní, která má robustní plechovou konstrukci, se sacím ventilátorem s vyměnitelným prachovým filtrem. Nucená cirkulace vzduchu je na druhé straně zajištěna výtlačným ventilátorem zabudovaným zpravidla do napájecího zdroje počítače. Na víceslotovou pasivní sběrnici se pomocí antivibračních lišt pevně fixují zásuvné karty ISA nebo PCI. Toto uspořádání umožňuje snadnou výměnu, operativnější rozšiřování a lepší mechanické vlastnosti celého systému. Mechanické konstrukce použitých šasi umožňuje montáž počítačů do vlastních 19'' rámců. K dispozici jsou také atypická šasi ve spojení s integrovanými CPU kartami. V případě zvláště vysokých nároků na provozní klimatické podmínky (prašnost, vlhkost a teplota), lze použít speciálních klimatizovaných skříní, do kterých je vlastní IPC včetně vnějších připojovacích karet umístěno.

4.2 Výběr komponent IPC s ohledem na MTBF

Jedná se o koncepci bezpečného života (*life-safe*)

Způsobem, jak nejjednodušeji ovlivnit provozní spolehlivost řídicího systému založeného na průmyslovém PC, je vhodný výběr komponent s ohledem na hodnotu MTBF. Příklad hodnot MTBF některých komponent je uveden v následující tabulce.

Komponenta	MTBF [hodiny]	MTTR [min]	Poznámka
ACE-932T	141000	-	Napájecí zdroj (-40 až -70V DC)
PCM-3820/C	1000000	-	PC104 Flash disk (1-32MB)
CM-iGLX	> 100000	-	Jednodeskový počítač s CPU
SBC-iAM	100000/50 °C	-	mini-ATX deska s procesorem Intel Atom Z550 CPU @2.0GHz
PCA-6147	81000/25 °C 20900/60 °C	5	CPU karta 486
AWS-850	50000	-	Průmyslová pracovní stanice (bez CPU)
MiPC-70 PPC-100T	50000 (10000)	-	Panelové PC s LCD displejem (bez CPU) (zdroj podsvícení LCD)
Intel X25-E Extreme	2000000/50°C	-	SSD - Polovodičový disk

Tab. 6 Příklady hodnot MTBF⁸ u některých komponent (převzato z [19][20][21])
Tabulka záměrně obsahuje i příklady starších typů komponent, u kterých výrobce uváděl MTBF i pro různé pracovní teploty.

⁸ V současné době (2011) výrobci IPC komponent parametr MTBF často implicitně neuvádí, spokojí se s poněkud vágním tvrzením, že např. „uvedené řešení vede ke zvýšení MTBF...“

U CPU karty PCA-6147 výrobce také uvádí parametr MTTR pět minut. Je zřejmé, že se zde jedná pouze o čas potřebný k vlastní výměně vadné karty za novou, které tento čas odpovídá bez započítání doby na lokalizaci poruchy, dodávky potřebného náhradního dílu atd.

Hodnoty MTBF uváděné u průmyslových pracovních stanic a panelových PC jsou ve většině případů udávány v hodnotě cca 50000 hodin, takže s touto hodnotou lze počítat i u IPC, kde MTBF není uvedena (například komponenty a sestavy IPC firmy AXIOM).

U některých karet není udávána hodnota MTBF, ale údaj o počtu určité operace. Například u reléové karty bývá často uveden zaručený počet sepnutí/ rozepnutí kontaktu. Z tohoto údaje a periody spínání reléového kontaktu lze odhadnout hodnotu MTBF (s ohledem na konkrétní aplikaci a algoritmus jejího řídicího programu). Další podrobnosti týkající se stanovení výpočtu pohotovosti lze čerpat v [22].

4.3 Paměťový subsystém

Vnější paměťový subsystém IPC může být tvořen pevným diskem (disky) s SATA, popřípadě SCSI rozhraním, dále čtečkou paměťové karty. S ohledem na průmyslové nasazení jsou mechaniky těchto jednotek připevněny pomocí speciálních antivibračních lišt. V situaci, kdy ani tato možnost z hlediska spolehlivosti nevyhovuje, je možné použít jiných řešení.

V současné době jsou již zcela dostupné polovodičové disky (SSD) v kapacitách stovek gigabajtů. Odolnost proti vibracím je uváděna 15g (špička-špička) a nárazu do 1000g. Obě hodnoty během provozu. To jsou hodnoty pro klasický pevný disk naprosto nepřijatelné. Bezkonkurenční je rovněž střední doba mezi poruchami (MTBF) větší než milion hodin při pracovní teplotě 25°C. I pouze tato vlastnost může být dobrým argumentem pro použití tohoto typu disku.

Operační paměť je tvořena zásuvnými moduly RAM. Pro nasazení v průmyslových PC s požadavky na spolehlivost je vhodné volit moduly s paritou nebo ještě lépe se samoopravným kódem ECC.

4.4 Napájení

Napájení počítače PC je standardně řešeno spínaným zdrojem 230V, poskytujícím na svém výstupu stejnosměrná napětí +5V, +12V, +3,3V a případně i dříve používané hodnoty -5V, +12V a -12V (nutno specifikovat).

Pro napájení IPC je možné použít i stejnosměrných zdrojů obou polarit (myšleno např. -48V, nebo +24V atp.), pokud to aplikace vyžaduje, popřípadě střídavých zdrojů s jiným vstupním napětím a frekvencích od 47 do 440Hz.

Dalším důležitým parametrem je zaručovaná střední doba poruchy MTBF a povolený pracovní teplotní rozsah, elektrické a mechanické krytí atd., viz Tab. 6⁹.

Typ	Vstupní napětí	MTBF [hod]
ACE-870A	85-265 VAC (47-63Hz a 440Hz)	274000
ACE-870T	36-72 VDC	225000
ACE-870C	18-36 VDC	224000
ACE-870V	8-16 VDC	213000

Tab. 7 Přehled vlastností zdrojů řady ACE-870 do IPC.

U některých aplikací je také zapotřebí řešit problém možného rušení napájecí sítě a její možné výpadky. Oba tyto případy lze řešit použitím tzv. záložních zdrojů nebo také nepřerušitelných zdrojů napájení známých pod zkratkou UPS - uninterruptible power supply.

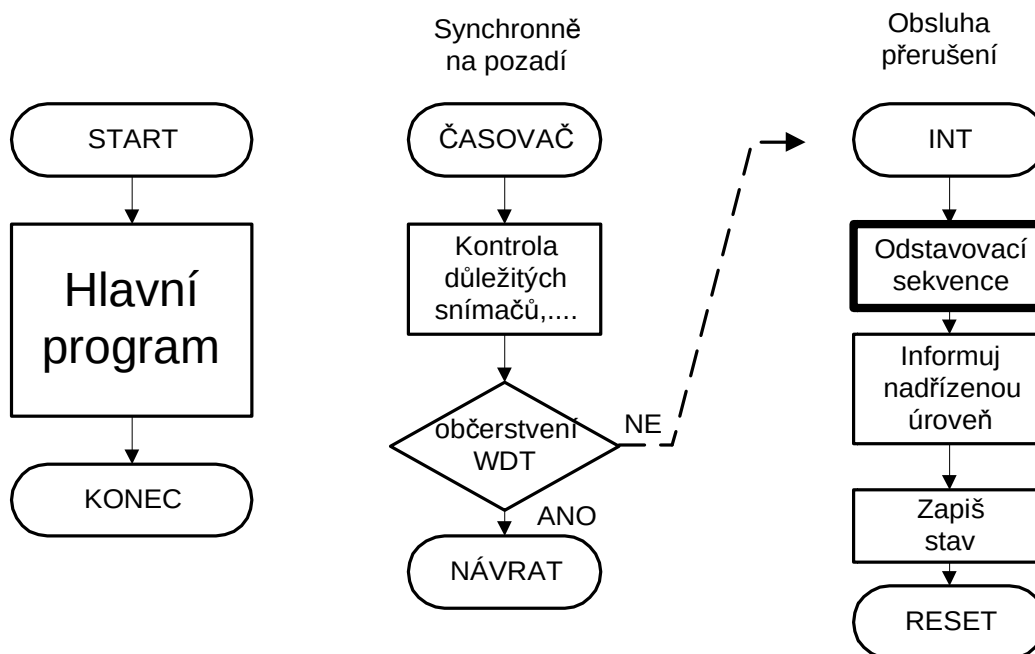
4.5 Obvod WDT

Jedná se o obvod realizující koncepci bezpečnosti při poruše (*fail-safe*).



Nejrozšířenějším způsobem monitorujícím funkčnost procesorové jednotky a korektní chod programu je použití obvodu WDT (*Watch Dog Timer*). Tento obvod bývá (většinou) standardní součástí CPU karet do průmyslového PC, případně i některých specializovaných základních desek. Princip WDT obvodu je založen na periodickém občerstvování příslušného registru. Tímto občerstvováním se ve většině případů rozumí prosté čtení obsahu tohoto registru. Za provádění periodického občerstvování je zodpovědný řídicí program. Pokud není v průběhu nastavené časové prodlevy občerstvení provedeno, je obvodem WDT generováno přerušení zvoleného typu – typicky nemaskovatelné, popřípadě signál RESET.

⁹ Jejich uváděná MTBF bývá 100000 až 350000 hodin. V případě přísnějších požadavků na spolehlivost je možné použít též redundantních zdrojů – až s trojnásobnou redundancí a za provozu vyměnitelných.



Obr. 4.1 K vysvětlení obvodu „WDT“.

Důvodem neprovedení občerstvení může být (typicky):

- nesprávně napsaný program (zacyklení),
- popřípadě HW závada procesoru a jeho paměťového podsystému apod.

Nejspolehlivější signál generovaný WDT obvodem, z hlediska 100% zachycení, je RESET. V jeho případě je vždy provedena **inicializace systému**, bez ohledu na funkčnost CPU a dalších subsystémů. Jestliže návrh řídicího systému procesní úrovně počítá s touto možností, je vhodné, pokud se používají zásuvné v/v karty a řídicí karty, provést jejich výběr s ohledem na to, zda se výstupy těchto karet inicializují (po zapnutí počítače a generování signálu RESET) na definovaný stav. Akční členy by pak měly být těmito stavy **deaktivovány**. Tímto způsobem dojde k **neřízenému odstavení** ovládané technologie.

**Důležitá poznámka**

V případě použití generování přerušení, včetně NMI (nemaskovatelné přerušení - Non-maskable interrupt), ve snaze provést odskok do rutiny zajišťující **řízené odstavení** dané technologie, toto nepracuje při poruše CPU, popřípadě při závadě paměťové oblasti s tabulkou vektorů přerušení. Dále může dojít k nechtěnému (např. chybou zhroucení programu) k přepsání kódu obsluhy daného přerušení (pokud je uložen v paměti RAM), který pak nevykoná očekávanou odstavovací sekvenci technologie.

Sofistikovanější WDT obvody mohou navíc ještě zaznamenávat např. do na nevolatilní paměti (EEPROM apod.) důležité informace (např. časy kdy došlo k zresetování systému a jaký byl obsah registrů, případně poslední hodnoty napájecích napětí a teplot,...). Při následném hledání příčiny závady se může jednat o „neocenitelné“ informace. Běžné je použití WDT obvodů také v embedded (zabudovaných) systémech, kde jsou dnes již standardně součástí mikroprocesoru.

(Konec poznámky)

Jako příklad procesorové karty se zabudovaným obvodem WDT je dále uvedena PCA-6011, výrobce Advantech [26] – viz též *Obr. 4.2*. Jedná se kartu plné délky, typu PICMG 1.0 (viz první část tohoto textu). Karta obsahuje obvod WDT (je založen na specializovaném kontroléru W83627DHG-P), který musí být (pokud je samozřejmě jeho funkce povolena) synchronně občerstvován. Požadovaná perioda je nastavitelná od 1 do 255 sekund, nebo od 1 do 255 minut¹⁰. Vlastní občerstvení WDT obvodu zde spočívá v jeho adresování – podrobněji viz manuál této karty [26]. Při jeho konfiguraci je možné pomocí propojky zvolit typ generovaného přerušení: k dispozici je signál Reset a přerušení č.11 (IRQ11). V případě volby signálu Reset tedy dojde k neřízené inicializaci celého systému, respektive ovládání dané technologie (pokud je toto zohledněno při výběru komponent). Jestliže je zvoleno generování přerušení (zde) č.11, je proveden odskok na obsluhu tohoto přerušení, která by měla být napsána tak, aby provedla řízené (=bezpečné) odstavení řízené technologie, dále může provést uložení důležitých parametrů systému do paměti atd. Ve finále může následovat generování signálu Reset a pokus o znovunastartování celé aplikace.

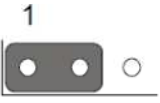
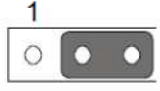
Je potřeba uvést, že spolehlivá a funkční obsluha přerušení od WDT obvodu vyžaduje velké zkušenosti a praxi jak v oblasti hardware, tak i software. Nejedná se o triviální záležitost.



Obr. 4.2 Procesorová karta PCA-6011 (Advantech).

¹⁰ Pro některé aplikace se může jednat o poměrně dlouhé časy. V takovém případě je možné použít jinou procesorovou kartu, nebo použít samostatnou WDT kartu – viz dále v textu.

Table 1.4: Watchdog timer output (JWDT1)

Function	Jumper Setting
IRQ11	 1-2 closed
* Reset	 2-3 closed
*default setting	

Tab. 8 Možnosti nastavení generování přerušení u procesorové karty PCA-6011.

4.6 WDT-03

Jedná se o kartu (jednotku) realizující koncepci bezpečnosti při poruše (*fail-safe*) a zajišťující monitorování důležitých částí IPC.

WDT-03 je představitele inteligentní karty s možností nezávislého napájení, monitorující důležité HW části IPC (PC). Pomocí této karty lze zjišťovat mimotolerantní hodnoty sledovaných parametrů (viz níže) a vhodným způsobem na ně:

- automaticky – v režii karty reagovat,
- upozorňovat nadřazenou úroveň řízení.

Mezi sledované hodnoty patří:

- tolerance napájecích napětí 3.3V, 5V, 12V, -5V, -12V na ISA/PCI sběrnici,
- měření otáček tří ventilátorů,
- řízení otáček tří ventilátorů (prostřednictvím PWM výstupů),
- hodnoty tří teplotních senzorů,
- WDT obvod pro monitorování stavu host počítače (řídicího systému) s nastavitelnou periodou od 30ms do cca 2000 sekund. Ten je občerstvován pomocí příkazů posílaných na příslušnou „master“ linku RS232 této karty,
- tři digitální výstupy typu otevřený kolektor 30V/100mA,
- tři digitální vstupy 3.5V ~ 30V.



Důležitá poznámka

Kartu je možno dovybavit dceřinou deskou – viz Obr. 4.4, která obsahuje svorkovnici pro již zmiňované digitální vstupy a tři relé (typu Form A) ovládané digitálními výstupy karty. Pozor – nejedná se tedy o navýšení počtu těchto vstupně/výstupních linek!

(Konec poznámky)

Karta je vybavena dvěma sériovými porty RS232. První, nazývaný „master“, slouží ke komunikaci s počítačem, v kterém je karta osazena – na označeném jako Local PC. Přes tuto sériovou linku je také prováděno občerstvení WDT obvodu karty. (Karta je tedy napojena přes svou sériovou linku se sériovou linkou v počítači.) Druhá sériová linka – „slave“ – je určena pro komunikaci s nadřazeným systémem, který může být karta nastavena a především může „vyšší místa“ informovat o vznikajících problémech – myšleno např. vzrůstající teplota uvnitř skříně monitorovaného PC, nízké/proměnlivé otáčky ventilátoru/ů, otevření dveří skříně atp. Na základě těchto informací může nadřazený ŘS predikovat vynikající problém již v zárodku a v předstihu ho řešit – např. vyměnit „podezřelý“ ventilátor, být upozorněn na vniknutí do skříně (rozvaděče) atp.

Karta může být napájena také ze svého vlastního zdroje (10-30V) a být tedy nezávislá na napájení z počítače, ve kterém je instalována. Díky tomu je schopna pracovat i při „totální“ poruše monitorovaného ŘS.

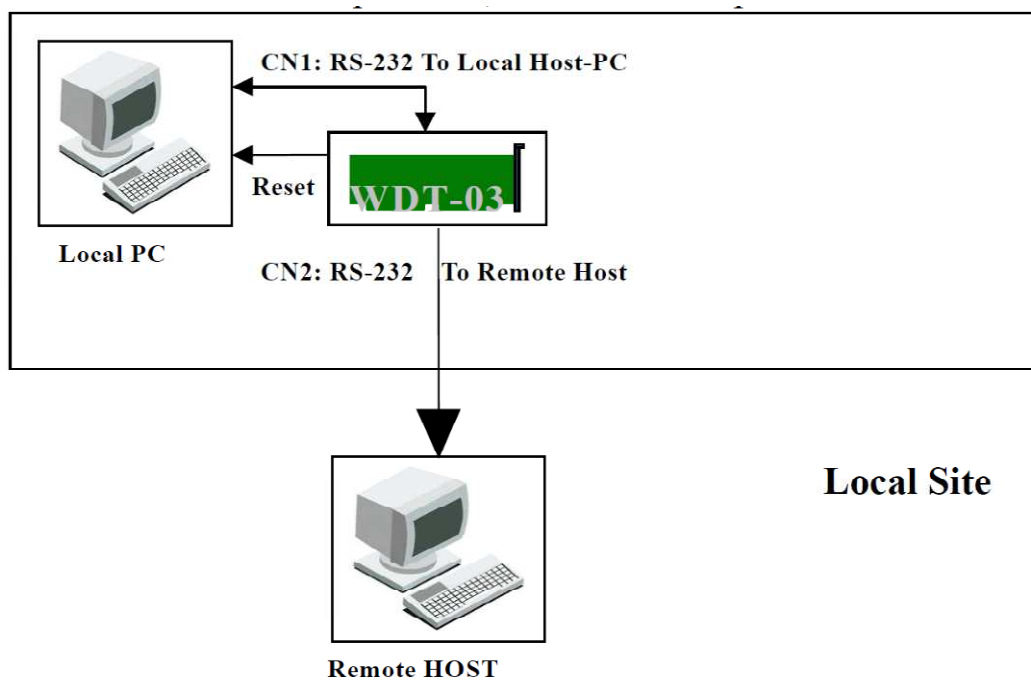
Vzhledem k tomu, že WDT obvod této karty není občerstvován „klasickým“ způsobem prostřednictvím adresace jejího portu, ale pomocí sériové linky, může být tato karta nasazena i v systémech vybavených pouze RS-232 sběrnici. V takovém případě se nezasouvá do žádného slotu, ale je upevněna pomocí čtyř montážních otvorů – viz její foto na Obr. 4.4.

Karta je dále vybavena třemi digitálními vstupy, které mohou (typicky) monitorovat stav otevření/zavření skříně, polohu koncového spínače atp.

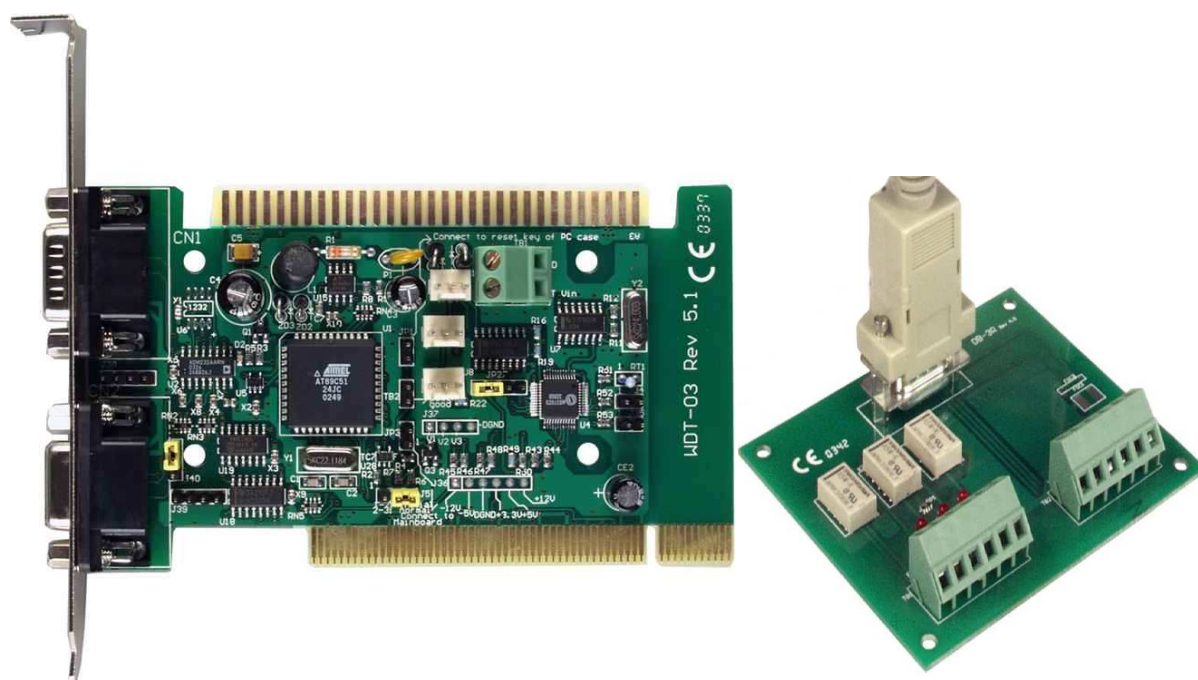
Jakým způsobem tedy může karta detekování (předem zvoleného) nestandardního stavu ovlivnit monitorovaný počítač? Nejjednodušším způsob je generování signálu reset, který je kablíkem přiveden na příslušné konektory monitorovaného počítače (jedná se o paralelní napojení na signál „reset“ tlačítka počítače, případně konektoru na procesorové desce (kartě)). V tomto případě hovoříme o neřízeném odstavení (binární a analogové výstupy, případně vysílané povely počítače by měly být konfigurovány tak, aby po resetu byly automaticky nastaveny do neaktivních hodnot. Toto by měl zohlednit projektant řídicího systému výběrem vhodných typů karet a programátor aplikace vhodnou inicializací.

Další možností je použít binární výstupy této WDT karty k řízenému odstavení ovládané aplikace/technologie. Ty jsou k dispozici tři – všechny typu s otevřeným kolektorem a parametry 30V/100mA. Těmito výstupy je možné ovládat relé – viz „Důležitá poznámka“ výše.

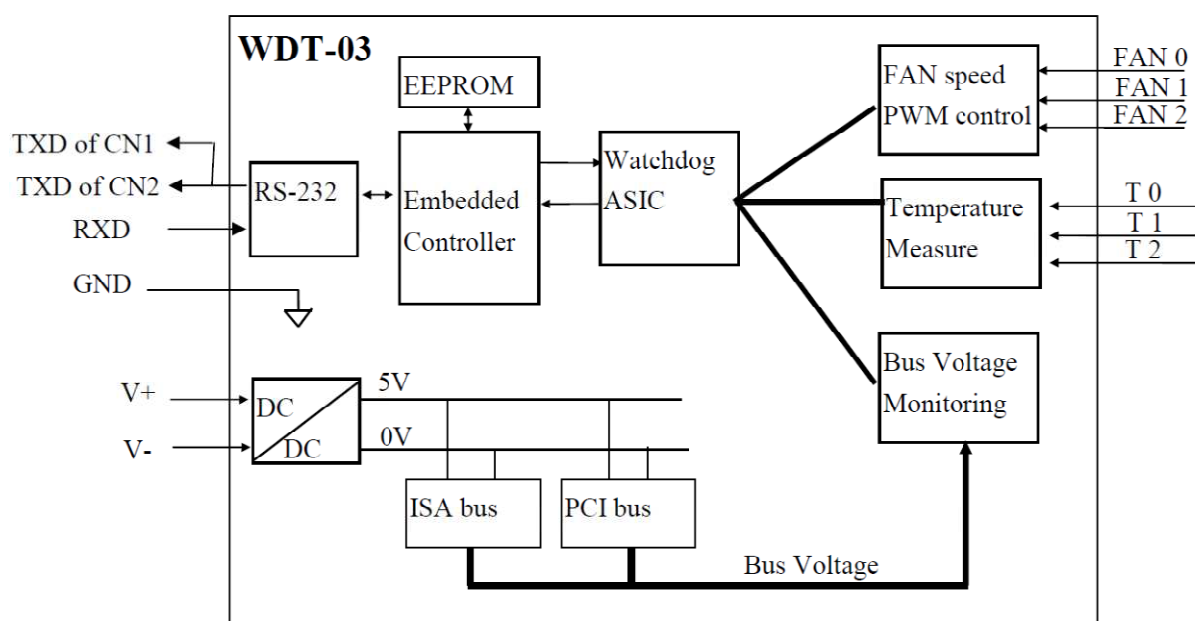
Vlastní naprogramování této karty spolu s popisem příkazů je mimo rámec tohoto textu a je uvedeno v manuálu -



Obr. 4.3 Integrace karty WDT-03 do řídicího systému.



Obr. 4.4 Karta WDT-03 spolu s dceřinou deskou DB-3R (vpravo).



Obr. 4.5 Blokové schéma karty WDT-03 (bez zakreslených 3xDI a 3xDO).

Určitým nedostatkem karty – s porovnáním s dnes již historickou WDT kartou PCL-752, která je bohužel pouze pro ISA sběrnici – je absence analogových vstupů. Na druhou stranu je k této kartě k dispozici řada SW ovladačů jak pro různé operační systémy, tak i pro různé aplikace – namátkou: DLL knihovna s funkcemi pro ovládání karty, DDE server, OCX Control, OPC server, ovladač pro LabView, řada ovladačů pro operační systém Linux.



Úlohy k řešení 4.1.

Do staršího existujícího řídicího systému na bázi IPC se sběrnici ISA navrhnete vhodný způsob monitorování vybraných parametrů jako je teplota, napětí, otáčky ventilátoru. Navržené řešení musí být schopno pomocí reléového výstupu (svého) odpojit napájení řízené technologie.

4.7 Jednoduché řídicí systémy

Jednoduché řídicí systémy se vyznačují jedinou procesorovou jednotkou propojenou jednoduchou sběrnici se vstupními a výstupními moduly v jednoduchém provedení bez zálohy. Mají-li být takovéto systémy nasazeny pro aplikace s jistými nároky na bezpečnost a spolehlivost provozu, musí k tomu být zvlášť uzpůsobeny. Musí být vybaveny **průběžným testováním funkce CPU** jednotky a testovatelnými v/v moduly (WDT obvod). Při zjištění chyby jednoduchého řídicího systému je nutné okamžitě odstavit řízený proces. Akční členy v technologii tedy musí být konstruovány tak, aby při výpadku řízení uvedly technologické zařízení do bezpečného stavu. **Odstavení** řízené technologie může být **řízené** nebo **neřízené**.

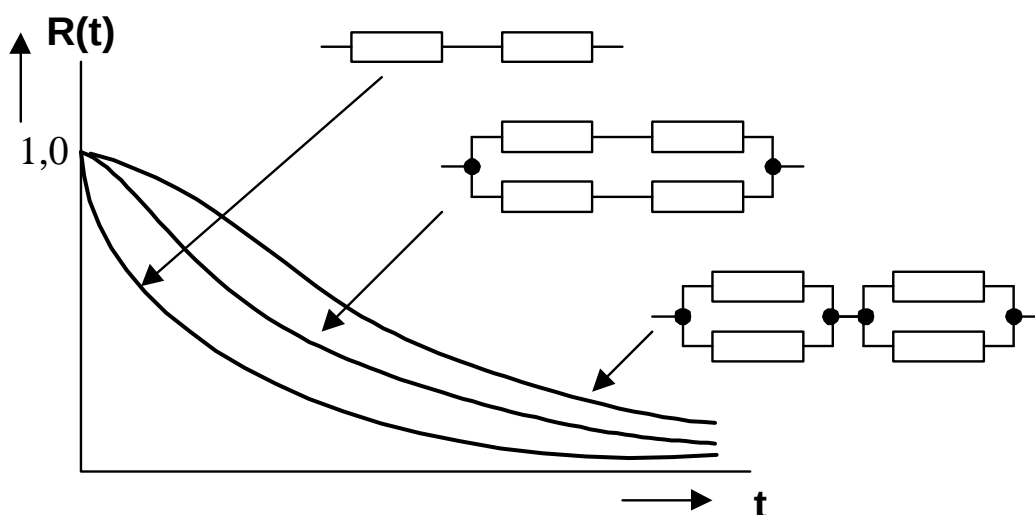
4.8 Redundance

Další možností, jak dále zvýšit spolehlivost provozu řídicího systému je řešit řídicí systém jako redundantní.

Jedním z důležitých hledisek při volbě řídicího systému pro určitou technologii je hledisko přizpůsobení úrovně bezpečnosti a spolehlivosti řízení nárokům dané technologie.

Nevhodná volba řídicího systému se může projevit v zásadě dvěma způsoby:

- u předdimenzovaného systému je zbytečně vynakládáno více prostředků na pořízení, oživení a provoz systému,
- u poddimenzovaného systému je následkem neúnosné riziko havárie řízené technologie způsobené poruchou řízení.



Obr. 4.6 Průběhy ukazatele pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ pro sériový systém a systémy s redundancí. (Sériový, sériově-paralelní a paralelně-sériový model.)

4.8.1 Zdvojené řídicí systémy

Zdvojené řídicí systémy jsou v různé míře vybaveny redundancí. Základní provedení má jednoduchý v/v systém, jednoduchou sběrnici a redundantní CPU jednotky. Znamená to, že ve funkci je jeden procesor a druhý tvoří tzv. horkou zálohu. V obou procesorech běží paralelně stejný program, přičemž si vhodným způsobem vzájemně kontrolují svou činnost. Při poruše přebírá řízení v plném rozsahu záložní procesor.

Podporu paralelního běhu dvou procesorů a vzájemné kontroly disponují procesory Pentium. Pro vyšší nároky na spolehlivost bývají zdvojeny také sběrnice a v/v systém. Při poruše zdvojeného systému není nutné bezprostředně odstavovat řízený proces. Pokud takový požadavek s ohledem na bezpečnost je, tak musí být systém navržen tak, aby při přechodu na záložní systém automaticky spustil odstavovací sekvence. Vlastní proces je tedy v tomto

případě odstaven řídicím systémem a nemusí zde tedy být akční členy konstruovány pro přechod do bezpečného stavu při výpadku řízení jako v případě jednoduchých řídicích systémů.

4.8.2 Řídicí systémy typu TMR

K řízení procesů s nejvyššími požadavky na bezpečnost a provozuschopnost jsou určeny trojnásobně redundantní (*Triple Modular Redundant* – TMR) řídicí systémy. Jejich architektura zajišťuje bezchybnou a nepřerušenou činnost při výpadku některého z prvků i při poruchách způsobených některou jinou vnější nebo vnitřní příčinou.

4.9 Elektromagnetická slučitelnost

IPC určené k řízení strojů a technologických procesů, případně jejich vizualizaci v průmyslovém prostředí, musí mít odpovídající mechanické a elektrické provedení. Robustní mechanická konstrukce poskytuje elektronice určitou ochranu před mechanickými vlivy, nárazy a vibracemi. Bývá uzpůsobena pro snadnou montáž do 19'' rámců.

Průmyslovým podmínkám a požadavkům na snadnou montáž musí odpovídat i svorkovnice a konektory pro vstupní a výstupní signály i pro spojové cesty. Problém konektorů a svorkovnic je řešen externími zakončovacími panely – dceřinými deskami. Nabídka těchto panelů je velice široká od prostých svorkovnic, přes optooddělovací binární vstupy, výkonové polovodičové a reléové binární výstupy, až po analogové přístrojové zesilovače, antialiasingové filtry a tenzometrické mosty.

Vnitřní elektrické provedení IPC je navrženo s ohledem na maximální spolehlivost a odolnost proti průmyslovému rušení. Přesto musí projektant, uživatel a výrobce řízených strojů a technologií zajistit řídicímu systému – IPC, alespoň minimální podmínky pro spolehlivé fungování.

Prvním požadavkem je provedení rozváděčové skříně, v níž je umístěno IPC. Provedení a stupeň krytí se volí s ohledem na provozní podmínky, tj. s ohledem na prašnost, vlhkost a agresivitu prostředí, případně na výbušnost prostředí. Současné silové skříně a rozvodnice (plechové i plastové) obvykle splňují nejnáročnější požadavky.

Významným, ale často opomíjeným hlediskem je dodržení zásad elektromagnetické kompatibility (**E**lectromagnetic compability - EMC), které spočívají jak v omezení zdrojů rušení v řízeném objektu, v omezení možností jejich vyzařování a šíření v prostoru, ale i v odolnosti systému (zmenšení citlivosti) proti rušivým vlivům. Cílem je zajištění maximální životnosti řídicího systému, jeho maximální spolehlivosti a plné funkčnosti. Nedodržení

konstrukčních zásad se může projevit „jen“ náhodnými chybami přechodného charakteru – obtížně lokalizovatelnými. Někdy pominou samy, jindy je nutné restartování systému, načtení programu nebo jiný zásah.

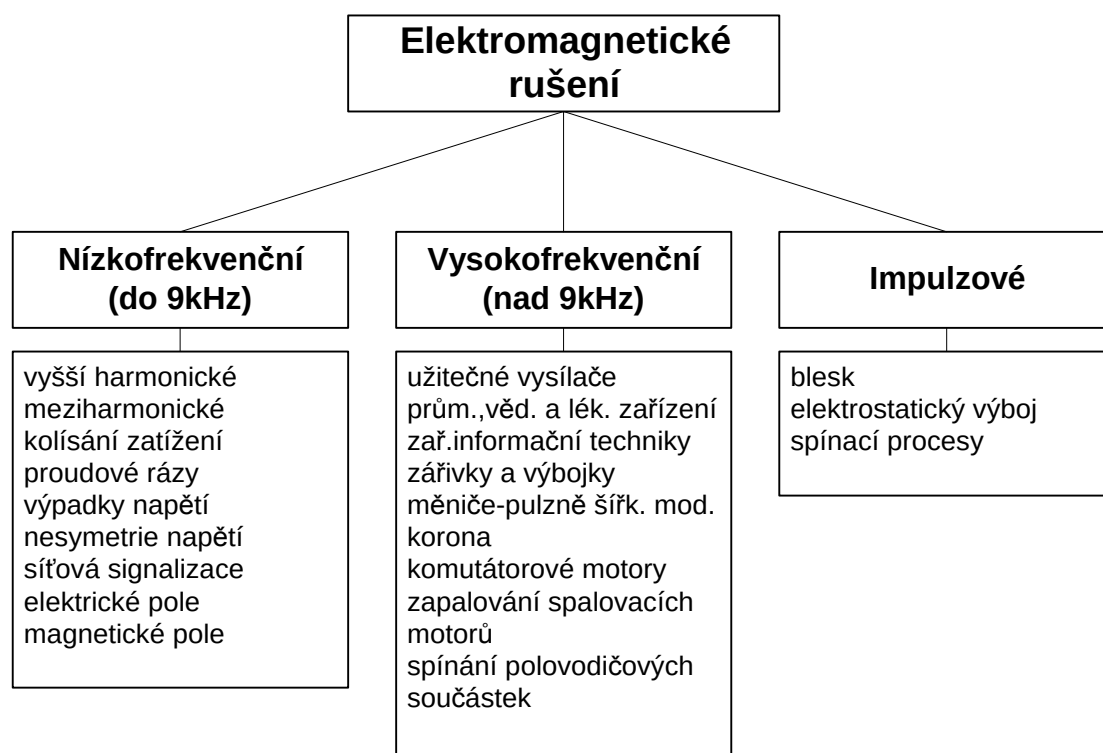
Jindy se nedodržení zásad plynoucích z EMC může projevit jako neúměrná zátěž elektronických součástek (např. v důsledku přepětí na logických a analogových vstupech), která vede k jejich postupné degradaci, jejímž konečným důsledkem je zmenšená spolehlivost nebo zkrácená životnost řídicího systému nebo jeho části.

Všechny tyto negativní efekty lze finančně vyčíslit. Obvykle dostaneme dosti značnou částku. Je nutné započítat nejen náklady na servis, na výměnu vadných dílů, ztráty z výpadku výroby, ale významné mohou být i ztráty „morální“ a obchodní – penále za poruchový stroj a nespolehlivou technologii, respektive jejich porouchaný řídicí systém apod.

Dalšími pojmy jsou elektromagnetické rušení a odolnost. Elektromagnetické rušení (**E**lectromagnetic interference – EMI) je představováno elektromagnetickou energií z elektrického či elektronického zařízení která působí degradaci vlastností jiného zařízení.

Elektromagnetická odolnost (**E**lectromagnetic susceptibility – EMS) je odolnost či tolerance vůči přítomné elektromagnetické energii, která ještě neovlivní nepříznivě, nedegraduje vlastnosti zařízení.

Od roku 1996 platí pro členské země EU přísné normy pro požadavky na EMC pro každé elektrické zařízení. Žádný výrobek, který nemá certifikát **CE**, není možné prodávat v zemi EU a ani jej vystavovat. Porušení zákazu je tvrdě sankcionováno. Po přijetí ČR do EU je pro nevyhovující výrobky (i tuzemské) uzavřen i náš domácí trh.



Obr. 4.7 Druhy elektromagnetického rušení.

V následujícím textu jsou stručně uvedeny nejdůležitější zásady konstruování elektronické části strojů a technologií, vedení silových, signálových a sdělovacích tras s ohledem na EMC. Druhy elektromagnetického rušení a příčiny jsou bez nároku na úplnost uvedeny na Obr. 4.7.

Především je nutné potlačit nebo omezit výskyt zdrojů rušení a omezit šíření již vzniklých rušivých vlivů (vyzařování elektromagnetických polí, vznik indukovaných proudů a přepětíových vln). Všechny spínané indukční zátěže (cívky relé a stykačů, elektromagnetických spojek a ventilů) by měly být důsledně doplněny zhášecími a odrušovacími obvody. Odrušeny by měly být všechny zdroje možného jiskření (kontakty, komutátory stejnosměrných motorů) a výboje (obloukové a bodové svářečky, ale i výbojky světelného zdroje). Mohutnými zdroji vysokofrekvenčního rušení bývají spínané napájecí zdroje, střídače, frekvenční měniče a regulátory servopohonů, zdroje pro vysokofrekvenční ohřev, ale i silové přívody k těmto spotřebičům, často již jen pouhá rozvodná síť, zejména ve velkém průmyslovém podniku. Proto se někdy napájení elektronických přístrojů, IPC a jeho periférií řeší z oddělené sekce rozvodné sítě, případně on-line záložním zdrojem.

Přívody k řídicímu IPC (vstupní a výstupní vodiče, spojovací linky, napájecí přívody) by měly být chráněny před vlivy rušivých vysokofrekvenčních polí. Měly by být vedeny odděleně od silových vodičů a pokud možno co nejdále od všech zdrojů rušení a opatřeny elektrickým, případně magnetickým stíněním. Účinnou ochranou je umístění IPC systému do kovové rozváděčové skříně, případně do oddělené a odstíněné části rozvaděče vyhrazené jen pro IPC a jeho zakončovací panely. Toto řešení bylo například použito při umístění řídicího IPC a jeho zakončovacích panelů pro řízení pódiových stolů ve Smetanově síni v Obecním domě v Praze [15] – Obr. 4.8.



Obr. 4.8 V levé – oddělené části plechového rozvaděče je v jeho horní polovině skříň IPC. V jeho dolní části jsou zakončovací panely (řada červených modulů polovodičových relé a tři tmavé panely optooddělených binárních vstupů). V pravé části rozvaděče jsou umístěny stykače, výkonová relé, spínané zdroje apod.

Přijímači rušení bývají i vodivé smyčky vzniklé nevhodným propojením zemnicích a ochranných vodičů, dotykem stínících plášťů mezi sebou navzájem, i s jinými předměty, náhodným propojením stínících plášťů kabelů a krytů, jejich spojením na nevhodném místě nebo i na více místech. Problémem bývá i kostření a zemnění a způsob a místo spojení ochranného a zemnicího vodiče se signálovou nulou systému.

Často bývá opomíjena ochrana před přepětím. Hrozí nejčastěji ze strany elektrorozvodné sítě. Systém ale bývá ohrožen i indukovaným napětím ze strany signálových vodičů (vstupních i výstupních vodičů) a zejména dlouhých sdělovacích tras. V obzvláště exponovaných podmínkách a při požadavcích na extrémní spolehlivost se určitě vyplatí řešit spojení optickými kabely, popřípadě rádiovými spoji.

Některým z výše uvedených požadavků lze vyhovět s minimálními náklady – oddálením nebo oddělením signálových a silových vodičů, prostorovým oddělením a odstíněním elektronických a silových prvků, dodržování zásad pro nulování a zemnění a systematickým spojováním vodivých částí a stínících plášťů do definovaného místa, vyloučením smyček mezi stíněním a ochrannými vodiči.

Bezvýznamné jsou rovněž náklady na odrušovací členy indukčních zátěží a přepět'ové ochrany signálových vodičů (varistory). Víceúrovňové přepět'ové ochrany na straně napájecího zdroje nebo na přívodech telekomunikační linky nebo případně vedení optické trasy jsou již poněkud dražší, ale stále ještě levné oproti možným ztrátám ve výrobě při chybě nebo výpadku řídicího systému. Podrobnější údaje k této problematice lze nalézt v [100].

4.10 Teplota

Okolní pracovní teplota průmyslového počítače bývá zpravidla výrobcí zaručována v rozmezí od 0 do 50-60°C. Při požadavku na nasazení v širších teplotních rozsazích je výběr vhodných komponent omezen. Existují systémy – například výrobky řady PC4 a PC5compact společnosti „or Industrial Computers“, pracující v rozsahu pracovních teplot od -40°C do +70°C, nebo některé moduly řady CMH PC104 rovněž amerického výrobce *Real Time Devices* pracující při teplotách od -40°C do +85°C. Ceny těchto výrobků však odpovídají své výjimečnosti.

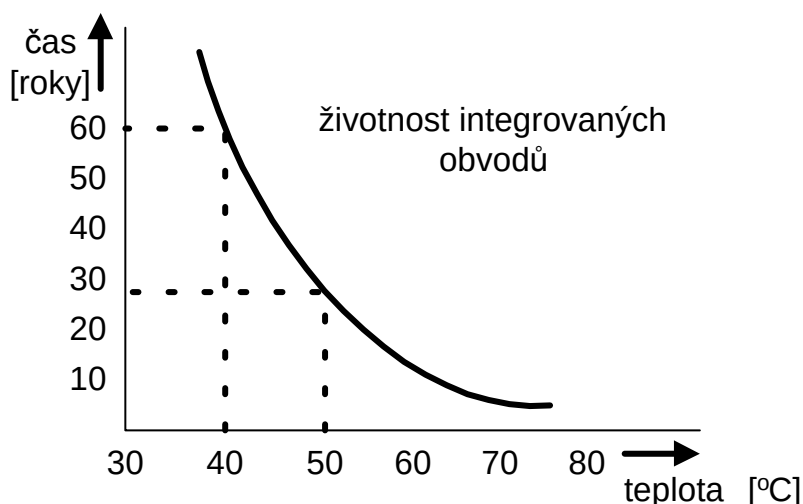
Pokud má tedy počítač pracovat i v teplotním prostředí mimo povolené teplotní rozsahy, případně při teplotách zaručující příznivější hodnotu MTBF (Tab. 9 a Obr. 4.9), musíme věnovat pozornost tepelnému režimu skříně, v které je zabudován.

Komponenta	MTBF [hodiny]	Teplota [°C]
PCA-6147	81000	25 °C
	20900	60°C

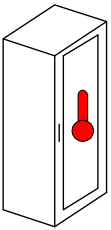
Tab. 9 Příklady hodnot MTBF u CPU karty PCA-6147 pro různé pracovní teploty.

Při umístění IPC do rozváděčové skříně v provozu – což je nejčastější způsob, si musíme uvědomit, že uvnitř skříně dochází k výkonovým ztrátám ve formě produkovaní

tepla samotným počítačem, dále monitorem a dalších elektrických komponent (stabilizované zdroje, transformátory atd.). Podle velikosti těchto tepelných ztrát, objemu skříně a velikosti okolní teploty (vně skříně) můžeme řešit problém odvodu tepla několika způsoby spočívající v prostém zabudování ventilátoru uvnitř skříně, který zamezí akumulaci teplejšího vzduchu v horní části skříně a rozptýlí jej po celém objemu, přes tlačné ventilátory až po klimatizační jednotku. Uvedené možnosti včetně hodnot dosažitelného elektrického krytí jsou stručně popsány v níže uvedené tabulce.



Obr. 4.9 Závislost životnosti integrovaného obvodu na pracovní teplotě.

teplota okolí (vzhledem k vnitřní)	výkon [W]	chlazení (vyhřívání)
Mráz	-	vyhřívaná skříň, IP65
Nižší 	500	žádné, IP65
	1000	akumulace vyšší teploty v horní části uzavřené skříně. ventilátor rozptýlí ohřátý vzduch na celou vnitřní plochu skříně – zvětší se odvod tepla, IP65
	2000	tlačný ventilátor(y) ve spodní části skříně s prachovými filtry, IP53
	3000	výměník tepla (např. vodní zdroj), IP54
Vyšší 	-	klimatizační jednotka

Tab. 10 Způsoby řešení tepelných pracovních podmínek IPC umístěného ve skříně (uvedené výkony vztaheny k 19" skříně o výšce 1,8m).

4.11 Zahoření

Z pohledu na tvar vanové křivky (Obr. 3.2) vyplývá, že v jejím počátku do doby t_1 je průběh intenzity poruch nepříznivý = má vysokou hodnotu. Je proto výhodné nasazovat řídicí systém, který již prošel obdobím časných poruch. Absolvování této fáze lze rozdělit mezi dodavatele řídicího systému, který by měl být vybaven vhodným pracovištěm, kde provede zahoření IPC osazeného všemi potřebnými kartami podle ověřených postupů, včetně vystavení protokolu o provedených testech a dále do etapy zkušebního provozu daného projektu.

Jako příklad praktických testů jsou dále uvedeny postupy a metodiky používané firmami ELVAC IPC s.r.o. a AutoCont IPC a.s. (za vstřícnost a poskytnuté informace autor děkuje pánům Janu Grossmannovi a Ing. Ivo Orlíkovi z těchto firem).

Prvním popisovaným pracovištěm je bezobslužná zkušebna (Obr. 4.10) s řízenou okolní teplotou. Teplota v ní stoupá a klesá podle nastavení požadavků na zahořování – viz průběh na levé části Obr. 4.11. Řídicí systém zahořovny na základě informací senzorů teploty ovládá digitálními regulátory teploty Obr. 4.12 systém topidel a odsávacích prvků v místnosti (zahořovně). Pro standardní zahoření průmyslových systémů na bázi IPC je nastavena perioda teplot $30^{\circ}\text{C}/60\text{min}$, $40^{\circ}\text{C}/180\text{min}$ po dobu 48 hodin.



Obr. 4.10 Zahořovna ELVAC IPC s.r.o.

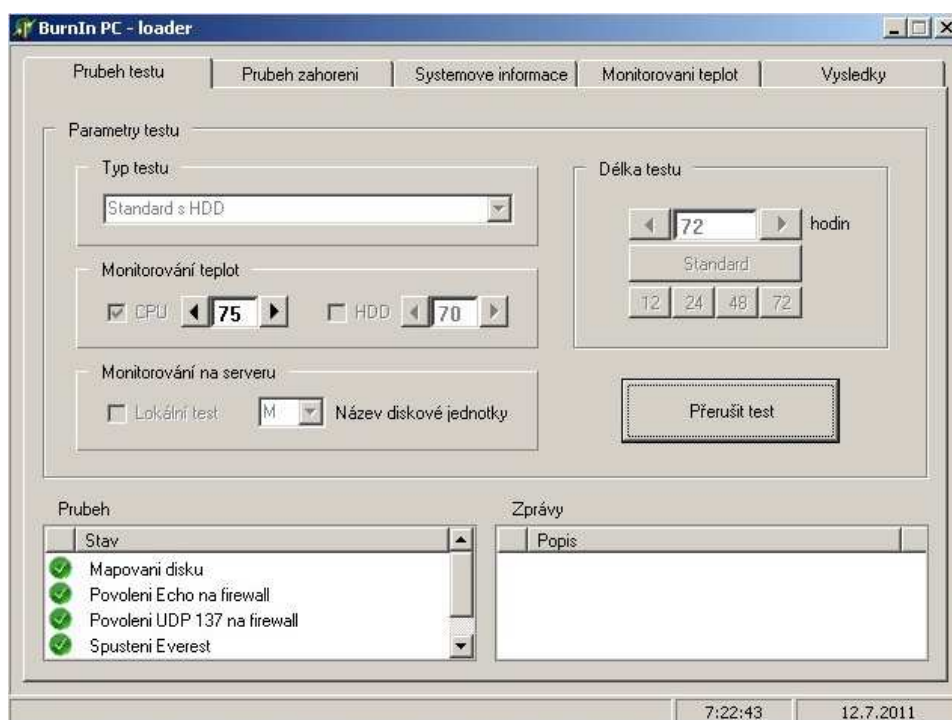


Obr. 4.11 Průběhy teplot v zahořovně – v levé části místnost, v pravé skříň.

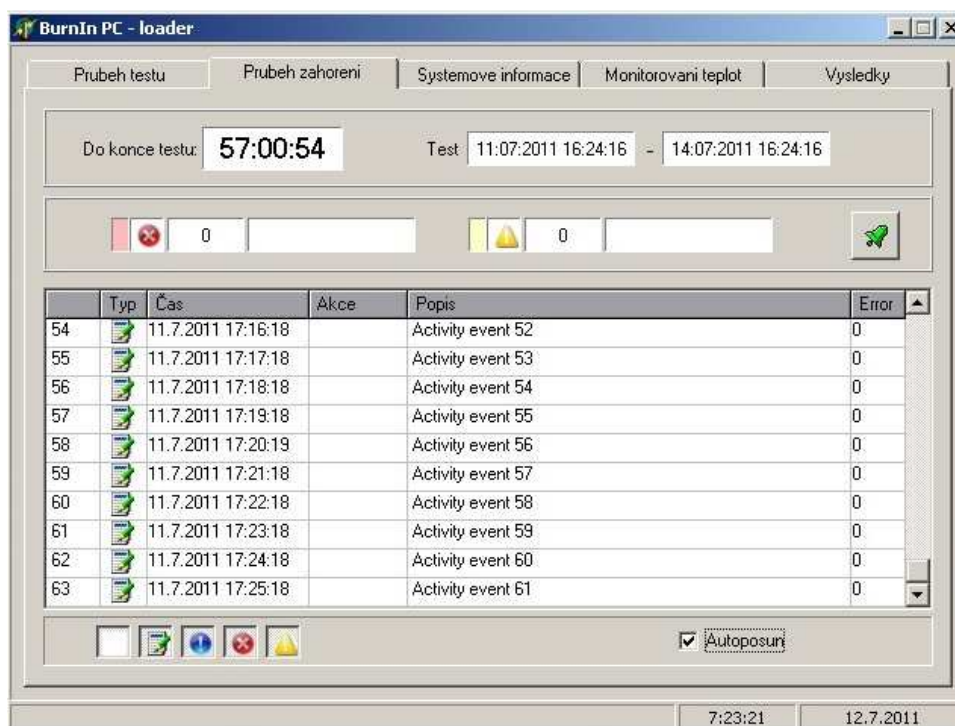


Obr. 4.12 Použitý regulátor teploty.

Každé PC, které projde základní instalací a testy u pracovníka výroby (sestavení počítače), je tedy na 48h (pokud není interními předpisy, nebo požadavky zákazníka dáno jinak) umístěno do bezobslužné zkušebny, kde jsou spuštěny zahořovací testy a monitorovány teploty hlavních komponent pomocí software - viz Obr. 4.13 až Obr. 4.17 a senzorů teploty - Obr. 4.18.



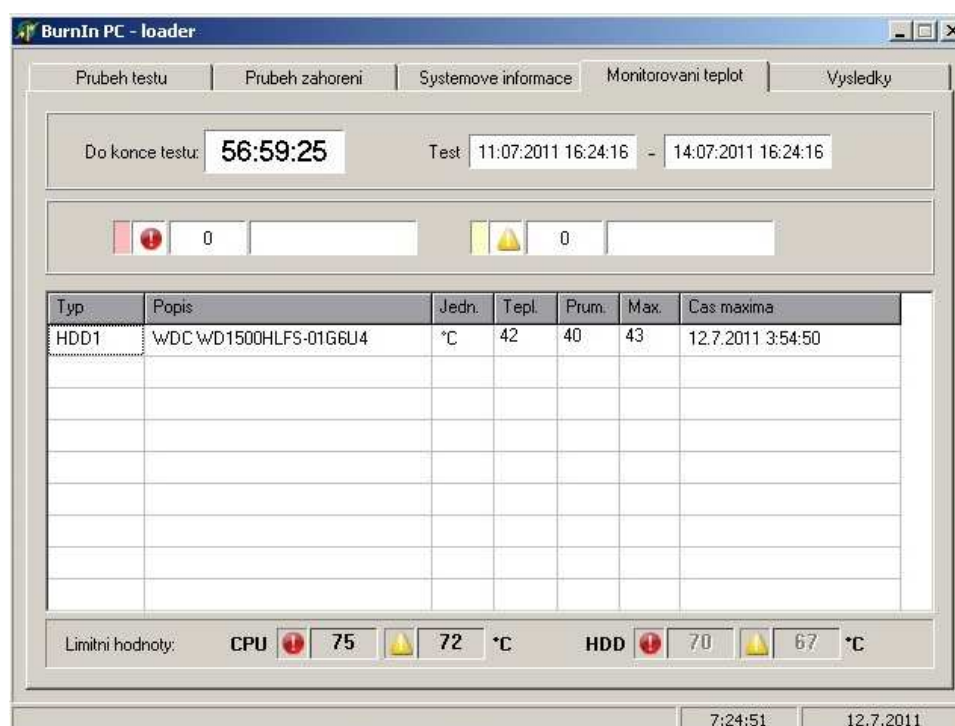
Obr. 4.13 Průběh testů.



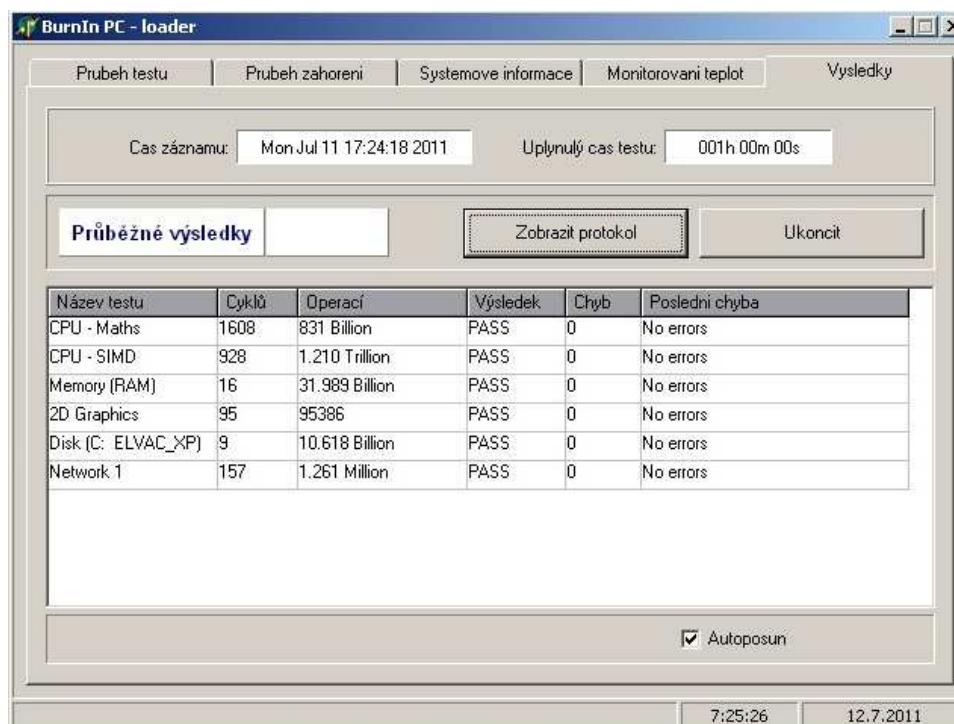
Obr. 4.14 Události během zahořování.



Obr. 4.15 Systémové informace testované (zahořované) sestavy.



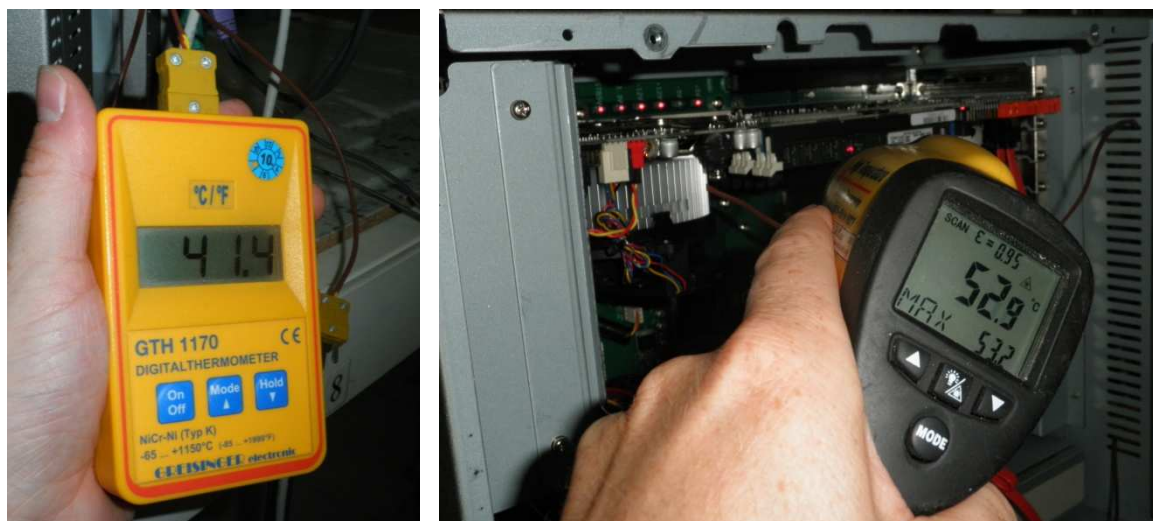
Obr. 4.16 Monitorování teplot – zde pevný disk.



Obr. 4.17 Celkové výsledky testů s výpisem testovaných subsystémů.

V přílohách 11.4 a 11.5 jsou protokoly o zahořování průmyslového počítače, které obsahují průběh teploty během celého testu (zahořování).

Nejvyšší naměřené teploty v průběhu zahořování jsou zaznamenány. Pokud překročí danou mez, vrací se systém na pracoviště repase nebo technické oddělení, podle závažnosti problému.



Obr. 4.18 Senzory teploty- vpravo bezkontaktní infračervený teploměr.

Po uplynutí doby předepsané pro zahoření, jsou výsledky testů vyhodnoceny – viz přílohy 11.2 a 11.3. Ke každému zahořovému systému se dokládá zahořovací protokol - viz příloha 11.4 s udanou dobou zahoření a jejím průběhem.

Testy při vyšších teplotách se provádějí pouze u některých sestav, kde to zákazník požaduje a komponenty subsystémů počítače (paměťový, procesorová deska/karta, I/O karty,

napájecí zdroj atd.) vyhovují širšímu teplotnímu rozsahu. Standardně se celá zde popisovaná teplotní komora na vyšší teploty nevyhřívá, protože se v ní v jednom čase nacházejí také např. panelová PC s LCD displeji, které vyšší teploty nemusí snášet (záleží na typu). Proto je uvnitř zahořovny umístěn ještě jeden rack (skříň) s přitápěním – viz jeho ovládací program v pravé části Obr. 4.11, kde je možno provádět zátěžové testy při vyšších teplotách, aniž by to ohrozilo ostatní zahořované systémy.

Pokud se jedná o mechanickou odolnost, tedy vibrace apod., tak tyto testy provádí samotný výrobce komponent, ze kterých se pak počítače kompletují, případně se provádí externí testy prototypových sestav, na základě kterých se pak vyrábějí příslušné řady počítačů (zde ELVAC IPC s.r.o.).

Dalším pracoviště pro zahořovací testy je používáno ve firmě AutoCont IPC a.s.

To je zde tvořeno sestavou skříní (racků) s nezávisle řízenými vnitřními teplotami - Obr. 4.19.



Obr. 4.19 Pracoviště pro zahořování AutoCont IPC a.s.

Tato firma pro potřebu tohoto studijního materiálu také poskytla seznam kroků celého výrobního procesu IPC. Pro zajímavost je níže uveden:

1. Specifikace IPC
2. Nachytání komponent
3. Načtení sériových čísel komponent
4. Primární test
5. Montáž počítače

6. Test kompatibility
7. Funkční testy
8. Instalace SW
9. Zahoření IPC
10. Konfigurace IPC
11. Finální kompletace
12. Výstupní kontrola
13. Balení

Vlastní proces zahořování se skládá z těchto kroků:

1. Otestovaný průmyslový počítač je umístěn do zahořovací pece.
2. Na počítač se nainstaluje operační systém.
3. Nastaví se teplota zahoření. Obvykle se počítač zahořuje 48 hod s tím, že teplota okolí kolísá mezi 45 a 30°C.
4. Při zahoření je na počítačích spuštěn zátěžový test, který zatíží CPU, paměti, pevný disk na 100%.
5. Pokud se na počítači objeví nějaká závada, obvykle se to projetí tak, že počítač „zamrzne“, pak následuje kontrola komponent a analyzujeme, která komponenta závadu způsobila.

Z uvedeného přehledu je zřejmé, že se zahořovací testy obou výrobců od sebe v zásadě neliší.

Kopie zahořovacího protokolu s průběhem teploty je zachycen v příloze 11.5.

Na přání zákazníka, je možné u obou výše uvedených výrobců parametry zahořovacích testů posunout směrem k hraničním hodnotám. Stojí to však čas a „peníze navíc“, což zákazník akceptuje pouze v případech, kde to má skutečné opodstatnění. Je třeba si také uvědomit, že zbytečné „trápení“ IPC sestav na hranici dovolených provozních podmínek, kterých by při provozu nemělo být dosahováno, může zbytečně zkrátit životnost systému či paradoxně ve výsledku spolehlivost snížit.



Důležitá poznámka

Proto je třeba k návrhu testů přistupovat s rozumem, respektive vybírat pro aplikace takové komponenty, které předpokládané provozní podmínky s rezervou zvládnou, a lze je při nich tedy i testovat bez rizik popsanych výše.

(Konec poznámky)



Shrnutí pojmů 4.1.

- Nasazování počítačů na bázi PC do průmyslových provozů si vyžádalo používání speciálních komponent, které zajistí stabilitu systému i při extrémních pracovních podmínkách (jedná se o vnější vlivy).
- Způsobem, jak nejjednodušeji ovlivnit provozní spolehlivost řídicího systému založeného na průmyslovém PC, je vhodný výběr komponent s ohledem na hodnotu MTBF.
- Okolní pracovní teplota průmyslového počítače bývá zpravidla výrobcí zaručována v rozmezí od 0 do 50-60°C. Vyšší pracovní teplota snižuje hodnotu MTBF.
- Je výhodné nasazovat řídicí systém, který již prošel obdobím časných poruch. Absolvování této fáze lze rozdělit mezi dodavatele řídicího systému, který by měl být vybaven vhodným pracovištěm, kde provede **zahoření** IPC osazeného všemi potřebnými kartami podle ověřených postupů, včetně vystavení protokolu o provedených testech a dále do etapy zkušebního provozu daného projektu.
- WDT – bývá součástí procesorových karet. Existuje také v provedení samostatné karty/modulu.
- WDT monitoruje zpravidla: napájecí napětí, teplotu/y, otáčky ventilátoru/ů, binární signály.



Otázky 4.1.

1. Co je WDT? Jaký je princip činnosti?
2. Co WDT zpravidla monitoruje?
3. Jak reaguje WDT obvod na své „neobčerstvení“.
4. Jak je u WDT karty zajištěno, že může monitorovat IPC (řídicí systém) i v případě jejího totální poruchy – včetně napájení.
5. Jaké teplotní intervaly používají výrobci IPC při jejich zahořování? Jaká bývá doba tohoto zahořování?
6. Co je účelem zahořování? Proč je pro zákazníka/uživatele výhodné?

5 ŘÍZENÍ ELEKTRICKÝCH POHONŮ



Čas ke studiu: 4 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce získáte představu o:

- ✚ některých možnostech technického zajištění řízení pohonů s krokovými motory,
- ✚ typech modulů pro ovládání krokových motorů,
- ✚ technických prostředcích pro víceosé řízení pohonů,
- ✚ typických vstupně/výstupních signálech pohonu (různé koncové polohové spínače,...),
- ✚ terminologii z této oblasti,
- ✚ typických parametrech karet pro víceosé řízení.



Výklad

Častým úkolem řídicí aplikace bývá řízení elektrických pohonů. Podle zvolené koncepce může být řídicí část pohonu – polohové, momentové, rychlostní řízení realizováno samostatnou inteligentní řídicí jednotkou (modulem), kde žádaná hodnota (polohy, momentu, rychlosti) je zadávána řídicím systémem. Formát žádané hodnoty může být analogový (starší řešení), nebo číslicový formou zaslání příslušných dat. Příkladem modulu, kde je žádaná hodnota (zde rychlosti) zadávána hodnotou napětí je např. jednotka ADS 50/10 firmy Maxon.



Obr. 5.1 Jednotky řízení motorů ADS50/10 (vlevo) a EPOS výrobce Maxon.

Představitelem jednotky se zadáváním žádané hodnoty číslicově – prostřednictvím sériového rozhraní (RS232, USB nebo CAN) je např. řada EPOS stejného výrobce. (poznamenejme, že výše uvedené jednotky již obsahují koncové budičí členy pro motory (DC, případně BLDC).

V případě řízení pohonů s krokovými motory existují v zásadě tyto možnosti:

První je založena na kompaktní jednotce (která může, ale nemusí obsahovat výkonovou budičí část) ovládané pulsy („kroky“) a signálem směr¹¹. Představitelem jsou moduly řady SDxx tuzemského výrobce Microcon.

Další využívá způsob zadávání hodnot formou zpráv, zasílaných přes některé sériové rozhraní (např. moduly CDxx výrobce Microcon).



Důležitá poznámka

Tento text předpokládá základní znalosti principů a vlastností základních typů elektrických motorů, jako jsou krokový motor a stejnosměrný motor. V případě nejasností je možné odkázat na knihu [11], kde je podáno vysvětlení včetně dimenzování motoru.

(Konec poznámky)

5.1 Moduly pro ovládání krokových motorů

Pro buzení krokových motorů existuje celá řada specializovaných modulů. Ty je možno rozdělit s ohledem na typ krokového motoru (zejména počet fází), dále na to, jakou funkci jednotka zabezpečuje:

- koncový výkonový stupeň (můstkový zesilovač, někdy včetně mikrokrokování),
- rozdělovač impulsů (sequencer),
- programovatelné jednotky (mikrokrokování, řízení rozběhu, brzdění, generování požadovaného počtu kroků/mikrokroků s ohledem na směr,...).

V dalším textu budou jako příklady zmíněny moduly tuzemského výrobce Microcon. Podobné výrobky ale nabízí samozřejmě celá řada dalších výrobců.

5.1.1 Výkonové stupně SD30x a SD40x

Výkonové stupně slouží pro bipolární napájení krokových motorů s pulsní regulací proudu s možností mikrokrokování. Obsahují rozdělovač (sequencer), který přijímá signály Pulsy a Směr a převádí je na digitální hodnoty proudu pro obě fáze krokového motoru. Výkonové stupně jsou využívány v aplikacích, kde uživatel preferuje vlastní řízení, které

¹¹ Další používanou formou zadávání žádané hodnoty je kroky jeden směr a kroky opačný směr.

generuje signály Pulsy a Směr – např. pomocí specializované zásuvné PC karty (např. 60sá karta PCI-1261 Advantech, nebo dále v textu uvedená PISO-PS400 výrobce icpdas).

Jednotky jsou ovládány vnějšími signály Pulsy, Směr¹² a Enable s optooddělením. Dále obsahují výkonový zesilovač (můstkové spínače) pro bipolární napájení dvoufázových krokových motorů s pulsní regulací proudu. Signál Enable umožní zapnutí/vypnutí koncového stupně. Jednotky mají zabudováno mikrokrokování - pomocí 4 bit D/A převodníku - pro další zvýšení plynulosti chodu motoru. Z dalších vlastností lze uvést: automatické snížení proudu po zastavení motoru pro snížení tepelné zátěže, amplitudu výstupního proudu motoru je možné nastavit pomocí spínače.



Obr. 5.2 Jednotka SD30x (Microcon)

Parametry výkonové části		
	SD30x	SD40x
Napájecí napětí	12 - 48 VDC	12 - 48 VDC
Amplituda proudu	0,4 - 3,3 A	0,4 - 4 A
Nastavení proudu	v šestnácti stupních	v šestnácti stupních
Dělení celokroku	nastavení pomocí spínače SIP	nastavení pomocí spínače SIP
Doporučený počet mikrokroků na celokrok	4, 8, 16	4, 8, 16
Automatické snížení proudu po zastavení motoru	ANO	ANO
Možnost vypnutí koncového stupně	ANO	ANO
Momenty vhodných krokových motorů	1,2 - 8,5 Nm	3 - 8,5 Nm
Rozměry	105 x 57 x 47 mm	105 x 57 x 67 mm
Doporučený napájecí zdroj	PS 35	PS 35

Tab. 11 Parametry jednotek SD30x a SD40x (Microcon)

5.1.2 Programovatelné jednotky typu CDxx pro řízení krokových motorů

Programovatelné jednotky typu CD20M, CD30M a CD40M obsahují řídicí část realizovanou kontrolerem M1486 i výkonovou část pro bipolární napájení krokového motoru s pulsní regulací proudu.

¹² Jiné jednotky mohou mít namísto vstupů Pulsy a Směr vstupy Pulsy+ a Pulsy-.

Všechny povely obvodu M1486x¹³ jsou ASCII znaky. Uživatel může použít běžný textový editor pro přípravu povelového souboru. Nové povely jsou předávány pomocí standardní sériové linky RS232. Až 15 kontrolérů může být zřetězeno při zadání adresy jednotlivých kontrolérů pro současné víceosé řízení.

Kontrolér má vlastní soubor padesáti instrukcí pro řízení pohonu s KM, včetně instrukcí pro větvení programu dle stavu vstupních linek. Vnitřní paměť umožňuje, aby předprogramované instrukční sekvence byly prováděny samostatně i při odpojení sériové lince. Pomocí instrukcí lze nastavit délku dráhy, rychlost, zrychlení, mikrokrokování)

Standardně jsou jednotky osazeny kontrolérem M1486E1 s vnitřní pamětí pro povely EEPROM 2 000 bitů. Povely jsou uchovány v paměti i po vypnutí napájení, bez potřeby zálohování¹⁴.

Výstupem obvodu jsou číslicové hodnoty proudu pro obě fáze KM. Standardní výstup pulsy a směr (využitelný pro jiné typy KM) je také k dispozici. Přesné a plynulé řízení rychlosti i v oblastech vysokých rychlostí využívá maximálně moment motoru a kompaktnějšího výkonového zesilovače. Z toho plyne nižší cena KM a výkonového zesilovače či zvýšená momentová rezerva pohonu zejména tolik potřebná v otevřené smyčce. I když trojúhelníkový průběh rychlosti v závislosti na čase (konstantní zrychlení) je u dostupných řídicích jednotek pro KM nejrozšířenější, tento průběh je velmi nevýhodný pro pásmo rychlostí kde moment motoru klesá. Například instrukce "Profile" umožňuje uživateli zadat zlom, ve kterém se lineární charakteristika mění na parabolickou a zpět při brzdění.

Tento kontrolér dále podporuje mikrokrokování, které výrazně omezuje oscilace jednotlivých kroků a rezonance při nízkých rychlostech. Počet mikrokroků na celý krok může být naprogramován od 1 do 64 a to zvláště pro oblast nízkých a vysokých rychlostí za účelem dosažení jak maximální rychlosti, tak i vysokého rozlišení při nízkých rychlostech.

Vlastnosti jednotek

- Jednotky s rozměry standardního malého euro-formátu.
- 5 galvanicky oddělených **uživatelských vstupů**.
- Vstupní signály jsou galvanicky odděleny optočleny. Na konektor CANNON 15 Pin/F jsou vyvedeny anody i katody vstupních diod optočlenů (viz manuál jednotky níže). Uživateli jsou standardně k dispozici 4 univerzální vstupy a vstup Limit pro přerušení

¹³ x určuje typ obvodu. Např. E1 obsahuje vnitřní paměť pro povely EEPROM 2 000 bitů.

¹⁴ V případě potřeby o on-line řízení z nadřazeného systému po sériové lince bez požadavku na zálohování je možné dodat jednotky osazené kontrolérem M1486B s pamětí RAM.

běhu motoru také mimo rychlost start/stop nebo změnou polohy jumperu 5 univerzálních vstupů. Standardní úroveň vstupů 0; 24 V (7 mA), volitelně 0; 5 V.

- **4 uživatelské výstupy**, přídavný výstup interního spínaného zdroje 24 V zatížitelný do 100 mA.
- Podle požadavků aplikace je možné volit standardní výstupy aktivní v log. 0, nebo v log. 1 (potřebné pro spolupráci s některými PLC).
- Možnost mikrokrokování - plné využití 4 bit D/A převodníku pro další zvýšení plynulosti chodu motoru, možnost dělení kroku také osmi a šestnácti.
- Volitelná signalizace pohybu motoru pomocí uživatelského výstupu.



Obr. 5.3 Programovatelné jednotky CD20M, CD30M a CD40M (Microcon).

Parametry výkonové části			
	CD20M	CD30M	CD40M
Napájecí napětí	12 - 35 VDC	12 - 48 VDC	12 - 48 VDC
Amplituda proudu	0,4 - 2 A	0,4 - 3,3 A	0,4 - 4 A
Nastavení proudu	v osmi stupních	v šestnácti stupních	v šestnácti stupních
Doporučený počet mikrokroků na celokrok	4, 8, 16	4, 8, 16	4, 8, 16
Automatické snížení proudu po zastavení motoru	ANO	ANO	ANO
Možnost programového vypnutí koncového stupně	ANO	ANO	ANO
Kapacita na jednotce	4 000 μ F	5 000 μ F	5 000 μ F
Momenty vhodných krokových motorů	0,1 - 2 Nm	1,2 - 8,5 Nm	3 - 8,5 Nm
Rozměry, standardní malý euro-formát	160 x 100 x 30 mm	160 x 100 x 30 mm	160 x 100 x 45 mm
Doporučený napájecí zdroj	PS 20/30	PS 35	PS 35
Parametry řídicí části (podrobnější informace - viz str. 6, 7)			
Sériové rozhraní RS232	není galvanicky oddělená sériová linka	galvanicky oddělená sériová linka	galvanicky oddělená sériová linka
Počet jednotek připojitelných na jedno sériové rozhraní	až 16	až 16	až 16
Počet uživatelských vstupů / výstupů	5 / 4	5 / 4	5 / 4

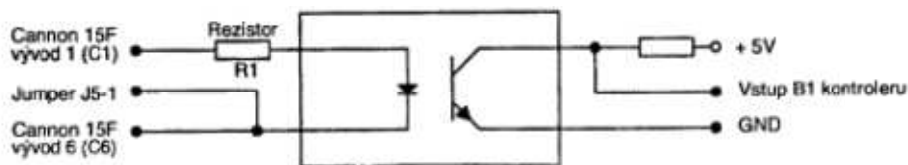
Tab. 12 Parametry výkonové části programovatelných jednotek CD20M, CD30M a CD40M (Microcon)

Pro detailnější představu o zmiňovaných modulech je přiložen manuál jednotky CD30M v příloze 11.6.



Úlohy k řešení 5.1.

Jednotka CD30M disponuje binárními vstupy. Navrhněte napojení dvou koncových (taktilních) spínačů na její vstupy. Využijte manuál jednotky uvedený v příloze - 11.6.



Obr. 5.4 Zapojení vstupních obvodů jednotky CD30M

Výběr vstupů volte s ohledem na co nejmenší omezení karty – nutno pozorně prostudovat text manuálu! Při návrhu dbejte na důsledné optoddělení!

5.1.3 Program řízení karet CD30M

SW

Program

Pro praktické seznámení s moduly určenými pro řízení pohonů s krokovými motory je navržen program „BURNOS2011“. Tento program je součástí laboratorní úlohy školního manipulátoru s třemi stupni volnosti s pohony s krokovými motory pracujícími v otevřené smyčce. Jednotlivé krokové motory jsou řízeny jednotkami CD30M – viz foto pracoviště Obr. 1.1 a Obr. 5.5. Ty jsou připojeny na sériový port řídicího počítače. Na každé jednotce je na příslušném spínači (DIP8a) nastavena unikátní adresa – viz též příloha v příloze - 11.6.

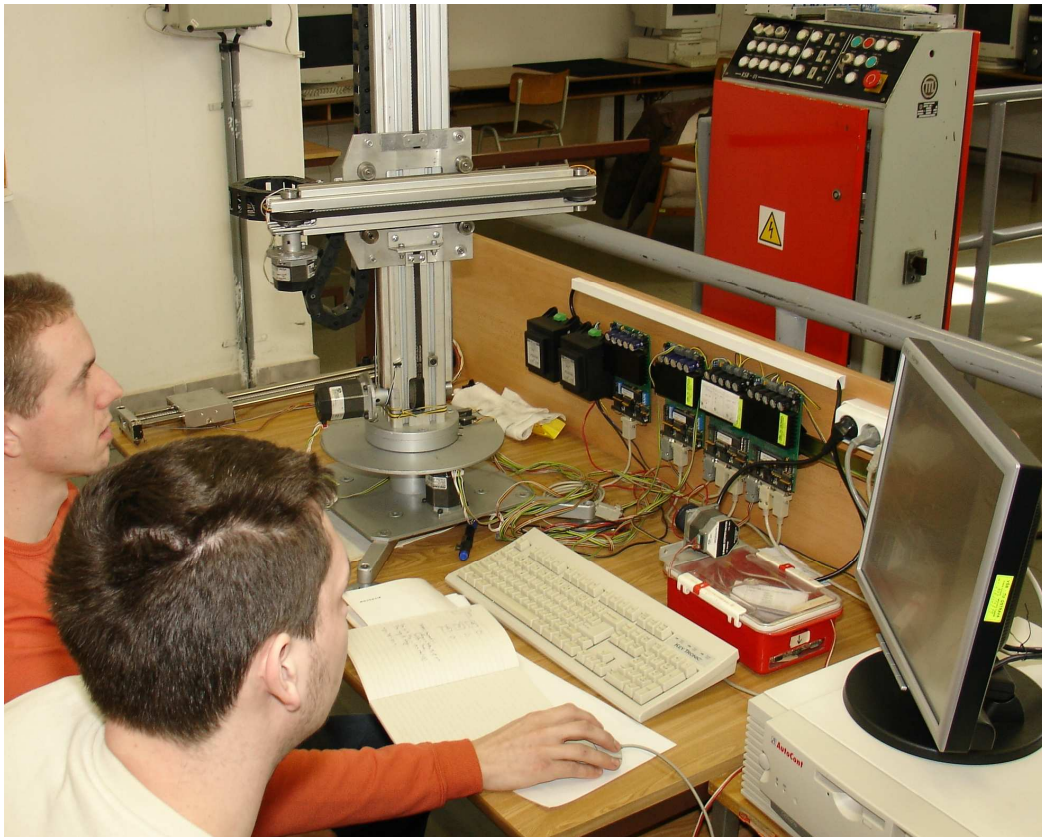
Program je napsán v programovacím jazyce Visual Basic 6.0 a je k dispozici ve zdrojovém tvaru na řídicím počítači u tohoto školního manipulátoru. Pro jeho případnou úpravu/změnu/doplnění je ho možno editovat ve vývojovém prostředí tohoto jazyka.



Důležitá poznámka

Při případném přenosu tohoto programu na jiný počítač, je potřeba zohlednit jedinou hardwarovou závislost – číslo sériového portu (COM). Zde je nastaveno na rozhraní COM1 – viz spodní část výpisu zdrojového textu programu- Obr. 5.8.

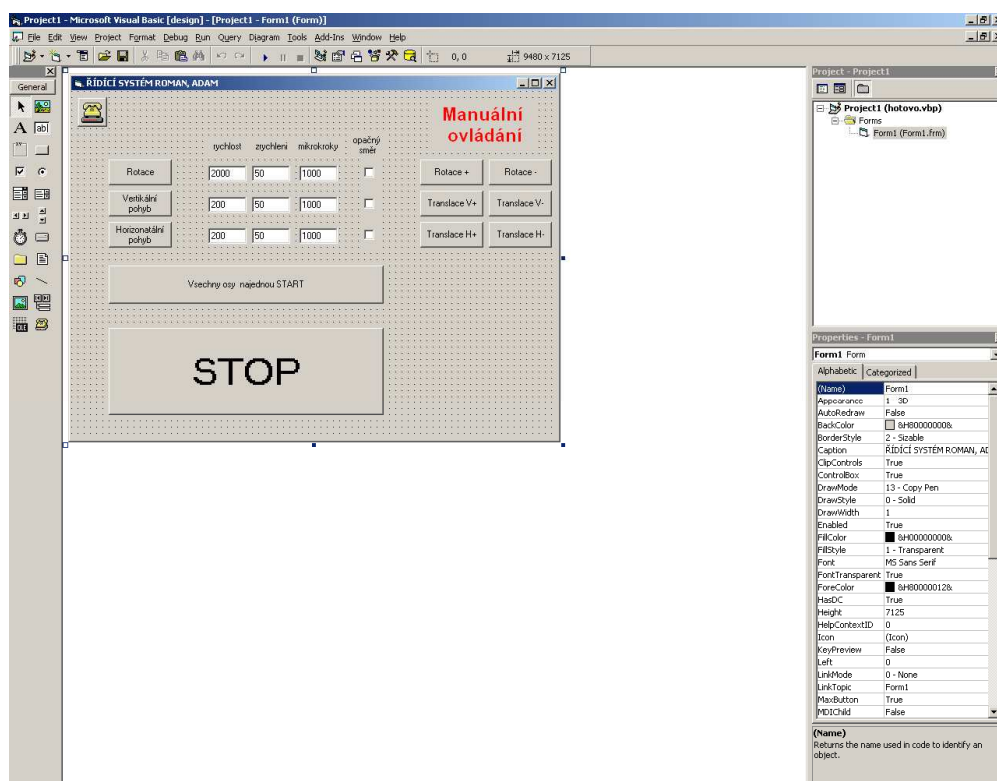
(Konec poznámky)



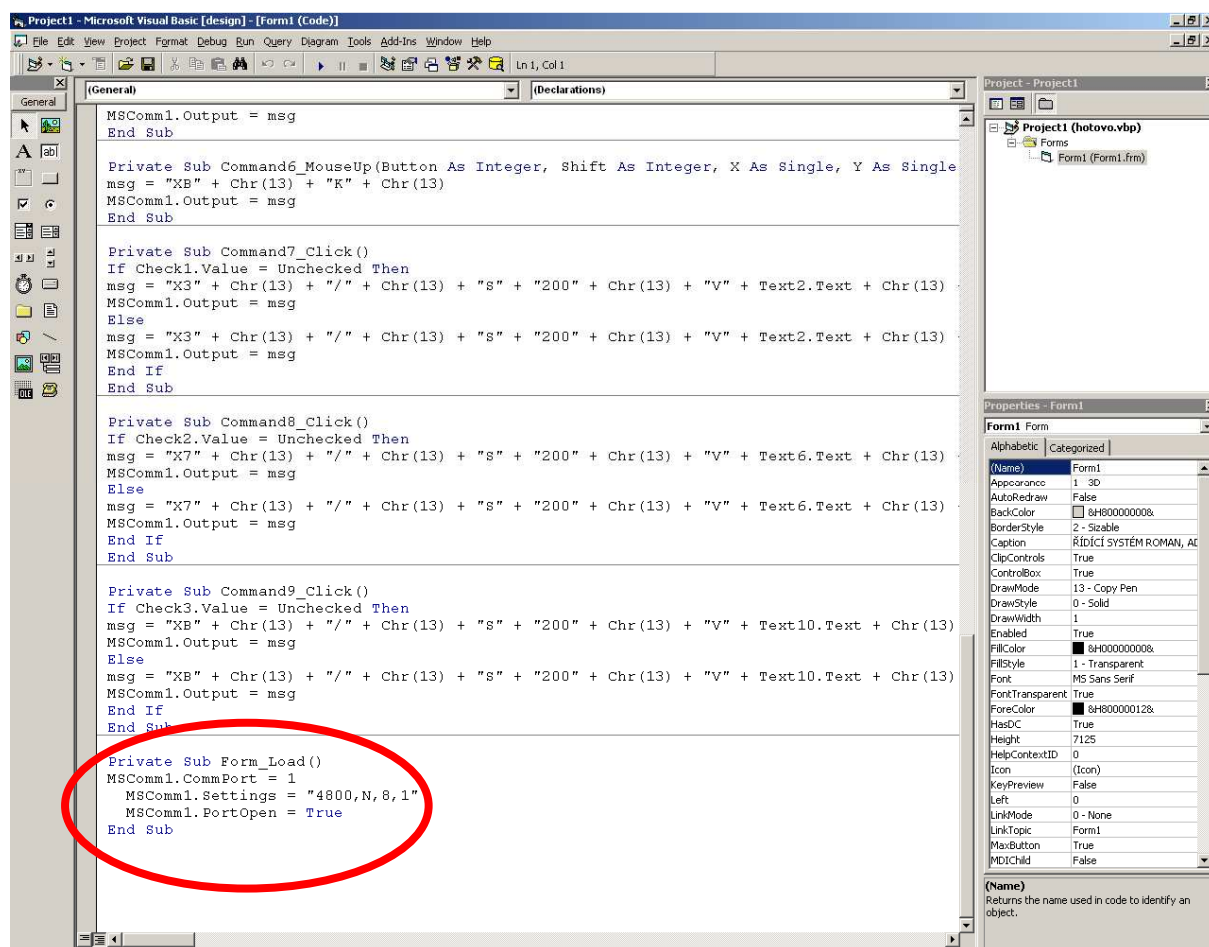
Obr. 5.5 Práce na vývoji programu řízení robotu – laboratorní cvičení.



Obr. 5.6 Vzhled ovládacího panelu programu pro ovládání školního manipulátoru BURNOS.



Obr. 5.7 Vývojové prostředí jazyku Visual Basic 6.0 s editací formuláře řídicího programu.



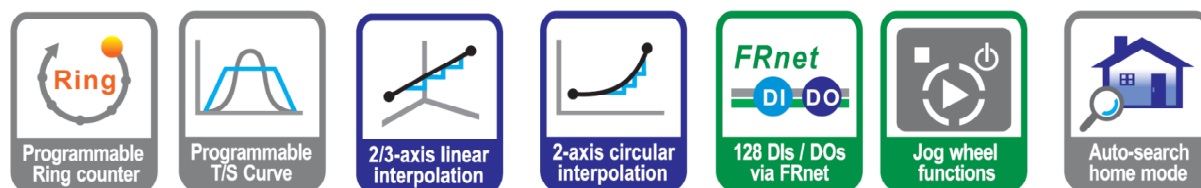
Obr. 5.8 Vývojové prostředí jazyku Visual Basic 6.0 s editací řídicího programu.

5.2 PISO-PS400

Ve všech výše uvedených způsobech řízení (bez nároku na úplnost) se jedná o nezávislé řízení. V případě systémů s více osami, které je potřeba řídit závisle – např. z důvodu požadavku na některou interpolaci (přímková, kruhová, šroubovicová, atd...) je potřeba, aby řídicí systém tuto trajektorii generoval a na příslušné jednotky řízených os zasílal požadavky. Ty jsou často ve formě impulsů, které příslušná jednotka zpracuje a ovládá její pohon.

Řídicí systém může požadovanou trajektorii teoreticky generovat softwarově. V každém případě by ho však bylo potřeba dovybavit kvadraturními dekodéry (pro připojení a dekódování inkrementálních snímačů) a výstupními časovači (v případě požadavku na pulsní výstup). Výhodnější je použít některé z široké nabídky karet pro víceosé řízení, které – podle typu – obsahují i hardwarovou interpolační jednotku včetně potřebných vstupně/výstupních obvodů. Jako příklad víceosé karty je dále uvedena karta PISO-PS-400 výrobce icpdas - [5]

PISO-PS400 je PCI karta pro ovládání řídicích jednotek elektrických pohonů s pulsními vstupy. Jedná se tedy o univerzální kartu, kterou je možné ovládat – přes příslušné řídicí jednotky (serva, servojednotky) – prakticky libovolný typ motoru, včetně krokových motorů ve čtyřech osách s maximální rychlostí 4milionů pps (pulsů za sekundu). Je vhodná pro obecné použití v řídicích aplikacích.

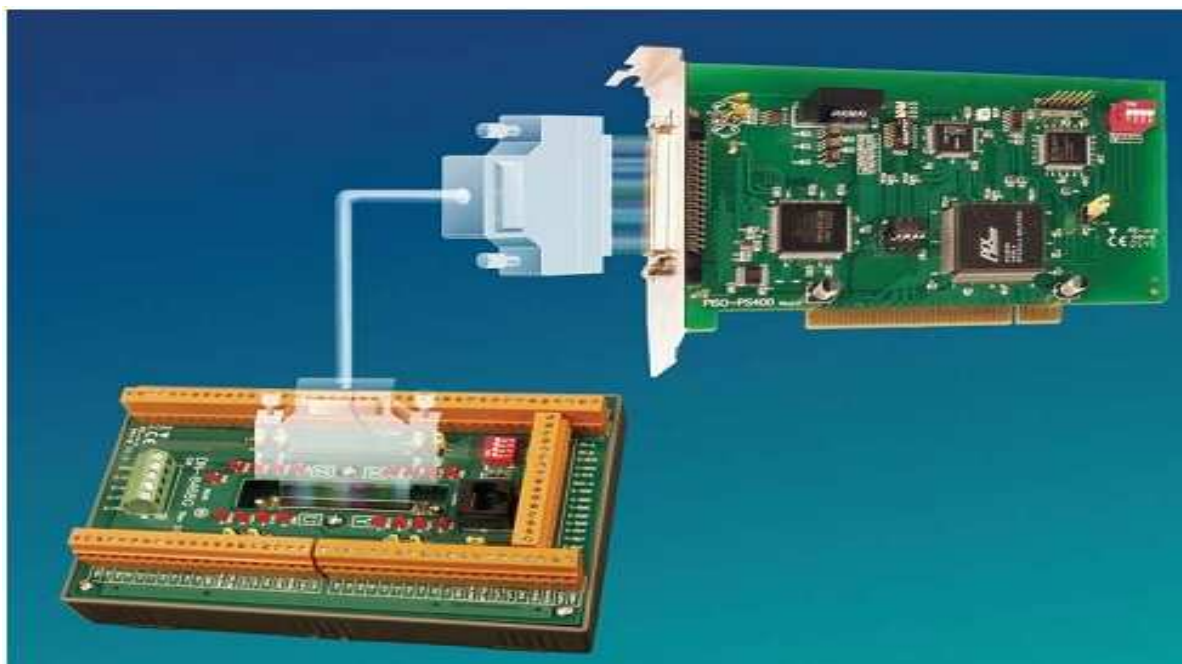


Obr. 5.9 Piktogramy funkcí nabízených kartou PISO-PS400.

Karta je založena na výkonném ASIC kontroléru, pro řízení vykonávání pohybu. Kromě velkého rozsahu rychlostí má tato řídicí karta řadu funkcí pro řízení pohybu 2-3 osou lineární interpolaci (tedy 2D a 3D), 2 osou kruhovou interpolaci. T, S křivky zrychlení, zpomalení, různé synchronní akce, vyhledávání (stavy koncových a „home“ spínačů) a mnoho dalších funkcí. Samotný manuál popisující kartu má cca 104 stran [28] a manuál popisující knihovnu funkcí pro ovládání karty [29] má 124 stran.

Karta obsahuje jeden FRnet port (jedná se o firemní dvou vodičovou sběrnici), který umožňuje jednoduché rozšíření této karty o další rychlé vzdálené vstupy, výstupy. Navíc, většina funkcí je prováděna s malou zátěží procesoru (myšleno průmyslového počítače), monitorování pohybu, stavů vstupů, výstupů je aktivní i při pohybu motorů.

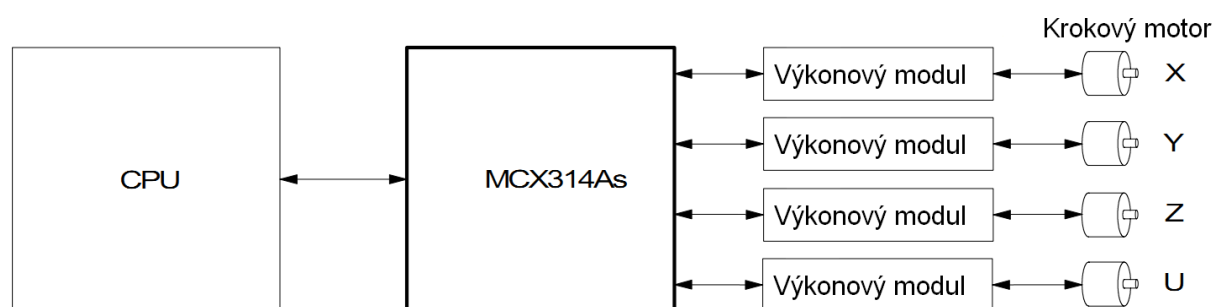
V důsledku nízkého zatížení CPU, může být použito více řídicích karet na jednom PC (až 16 karet). Lze tak relativně snadno vytvořit víceosý řídicí algoritmus v jediném IPC/PC.



Obr. 5.10 Karta PISO PS400 s dceřinou deskou DN – 8468GB.

Řídicí karta je dodávána s dceřinou deskou DN-8468GB¹⁵, která zajišťuje optické oddělení a obsahuje svorkovnice pro připojení potřebné kabeláže. Propojení je provedeno standardním SCSI-II 68 pin kabelem - Obr. 5.10.

„Srdce“ karty PISO-PS400 tvoří specializovaný kontrolér MCX314As/AL, který realizuje příslušné řídicí sekvence jednotlivých os (zde čtyř) s ohledem na zvolenou interpolaci. Výstupem jsou pulsní signály pro jednotlivé osy. Každá ze čtyř os může použít všechny funkce, je řízena stejným rychlostním průběhem, konstantními otáčkami, lichoběžníkovým průběhem, nebo průběhem S-křivky. Nejjednodušší napojení mezi kartou a pohony je v případě krokových motorů, které bývá nejčastěji realizováno bez senzorů polohy – enkodérů. Blokové schéma je znázorněno na následujícím obrázku. V další kapitole bude také prezentován podrobnější popis realizované aplikace s touto kartou a krokovými motory.

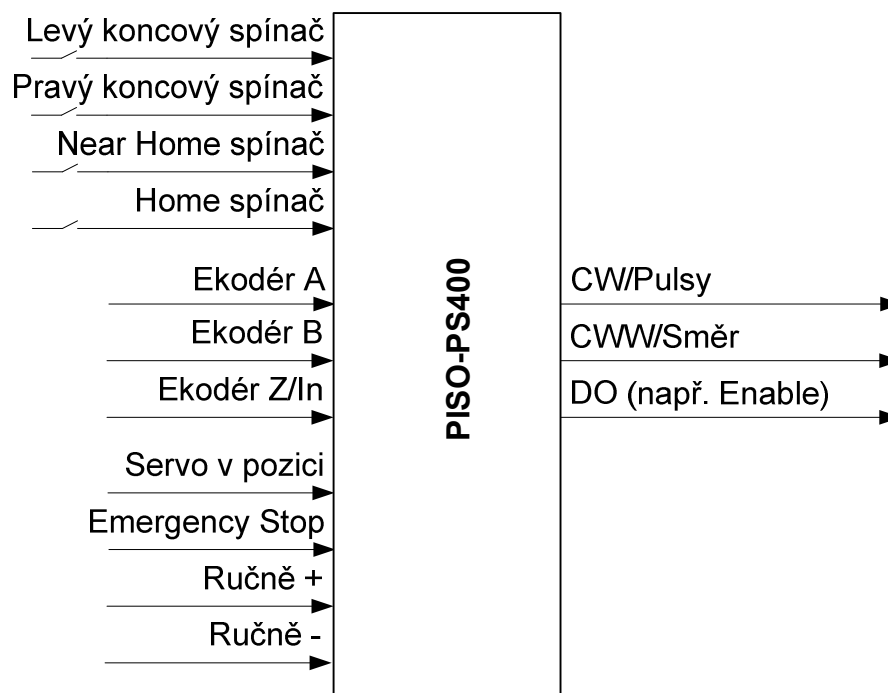


Obr. 5.11 Blokové schéma zapojení karty PISO-PS400 v zapojení s krokovými motory (bez zpětné vazby).

Jak již bylo uvedeno, karta obsahuje čtyři identické jednotky řídicí danou osu (pohon). Výstupní signály jsou pulsní, buď pulsy „ve směru hodinových ručiček“ CW a „proti směru

¹⁵ Pro tuto kartu jsou nabízeny i další typy dceřiných desek.

h.r.“ CCW, nebo pulsy a směr. Dalším výstupním signálem je DO, který se typicky používá k povolení/zakázání ovládaného pohonu (signál Enable/Disable). Je ho možné samozřejmě použít i jinak.



Obr. 5.12 Vstupně/výstupní signály jedné osy karty PISO-PS400.

Jako vstupní signály jsou k dispozici:

Čtyři vstupy pro připojení koncových spínačů- levý, pravý, dále spínače Near Home a Home.

Enkodér se připojuje standardně dvěma signály A a B. V případě, že je vybaven i nulovým pulsem, je ho možné připojit na signál Z. Pokud není, je tato linka k dispozici pro univerzální použití.

Protože na pohonu může být také instalováno tlačítko „Central stop“, je ho možno – zvlášť pro každou osu samostatně – připojit na vstupní linku „Emergency stop“. Poznamenejme, že karta je ještě vybavena dalším podobným vstupem (není zde zakresleno), kterým jsou ovládány všechny čtyři osy.

Karta má také vstup, - „Servo v pozici“, kterým může být informována, že se osa nachází v požadované pozici.

Pomocí signálů Ručně+ (EXP+) a Ručně- (EXP-), je možné pulsním průběhem osu také ovládat „ručně“.

Pro další hlubší informace o vstupech a výstupech karty, je potřeba nahlédnout do dokumentace [28].

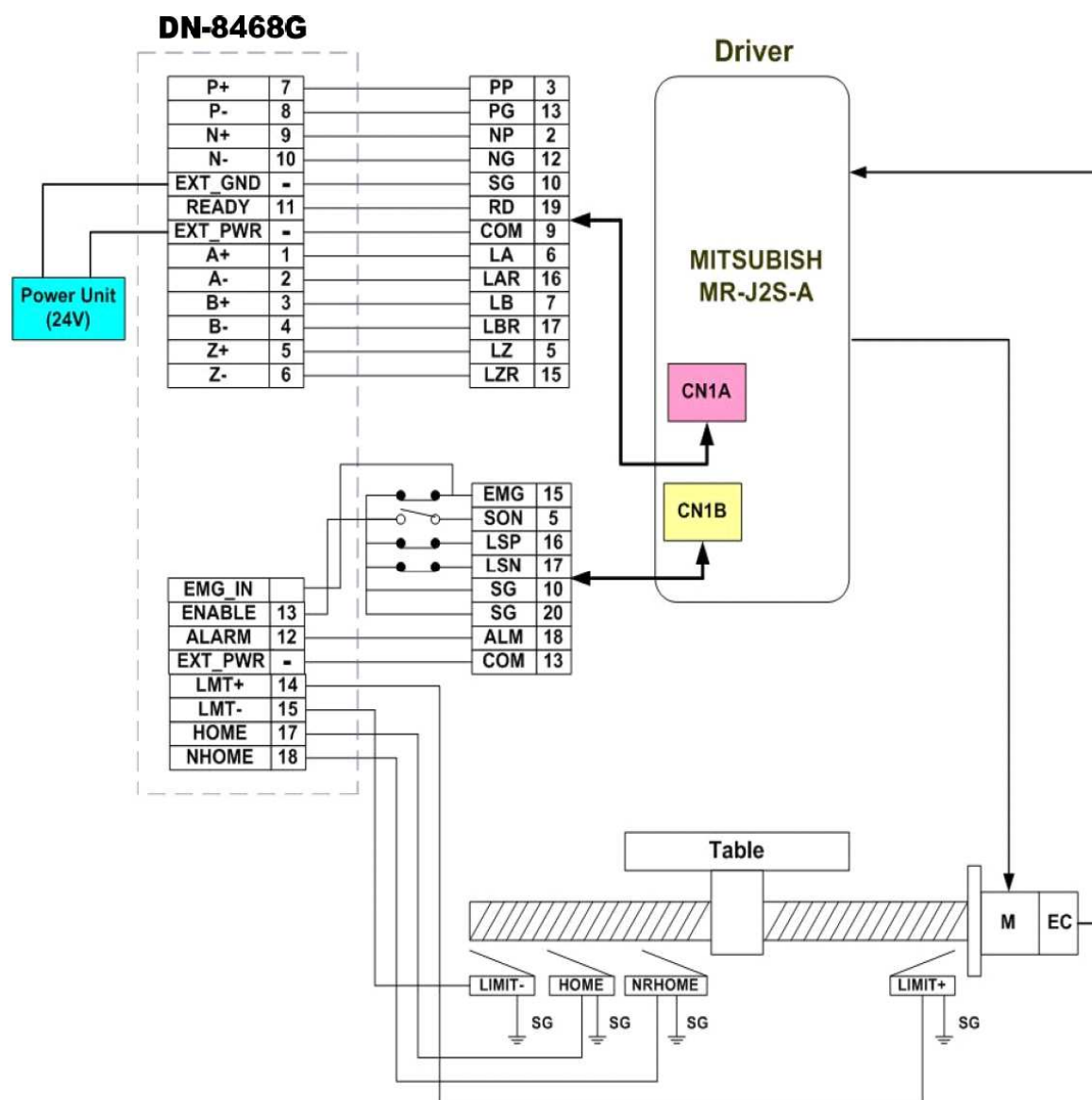


Důležitá poznámka

Výše v textu bylo uvedeno, že každá osa je vybavena čtyřmi binárními vstupy pro koncové spínače (levý a pravý) a dva home spínače. Jak ale řešit problém, kdy je daná osa osazena pouze jedním koncovým spínačem polohy (home), případně žádným? V takové situaci je možné použít tzv. softwarových koncových spínačů. Toto bude využito i u aplikace této karty v další kapitole!

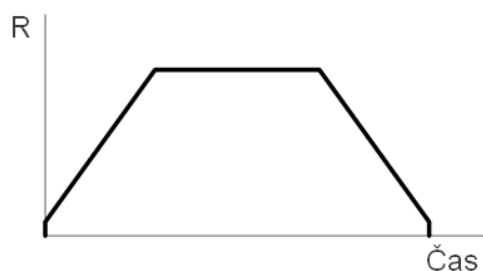
(Konec poznámky)

Příklad znázorňující ovládání serva Mitsubishi MR-J2S-A touto kartou a řídicí lineární pohon osazený všemi výše uvedenými koncovými spínači, je uveden na Obr. 5.13.

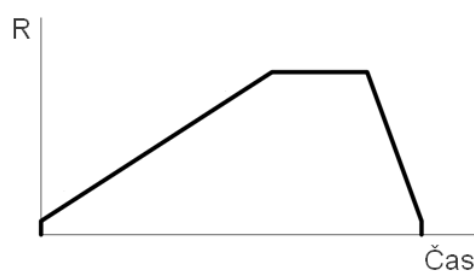


Obr. 5.13 Příklad řízení servozesilovače Mitsubishi pomocí karty PISO-PS400 (a její dceřiné desky DN-8468G).

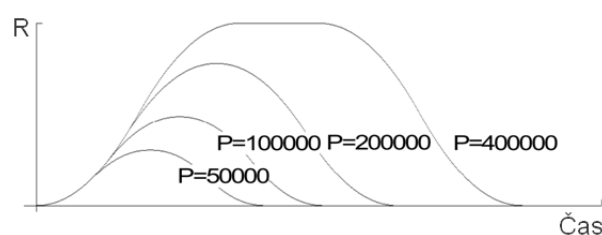
Kontrolér karty může ovládat každou osu konstantní rychlostí pohybu, lichoběžníkovým zrychlením / zpomalením (symetrickým / nesymetrickým) a S-křivkovým zrychlením / zpomalením. Pro lichoběžníkový profil pohybu funguje automatické zrychlování a zpomalování pro symetrický i nesymetrický profil. U profilu S-křivky je automatické zpomalení k dispozici pouze pro symetrický profil, pro nesymetrický je potřeba zadat počátek zpomalování.



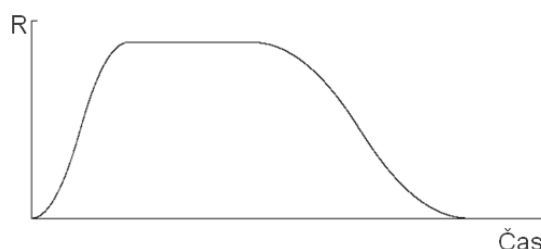
Obr. 5.14 Lichoběžníkové zrychlení/zpomalení (symetrické).



Obr. 5.15 Lichoběžníkové zrychlení/zpomalení (nesymetrické).



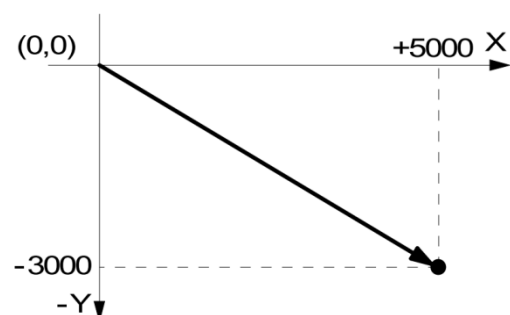
Obr. 5.16 Parabolická S-křivka akcelpace/decelpace (symetrická)



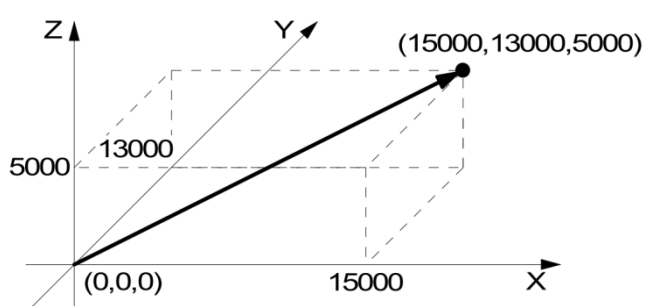
Obr. 5.17 Parabolická S-křivka akcelpace/decelpace (nesymetrická)

5.2.1 Lineární interpolace

Jakékoli dvě nebo tři osy (ze čtyř) lze zvolit k provedení lineární interpolace. Pozice musí být mezi $-2,147,483,646$ a $+2,147,483,646$ (omezeno 32-bitovým formátem čítače kvadrurního dekodéru). Rozsah rychlosti¹⁶ je od 1pps (pulsů za sekundu) do 4Mpps.



Obr. 5.18 2-osá lineární interpolace-příklad.

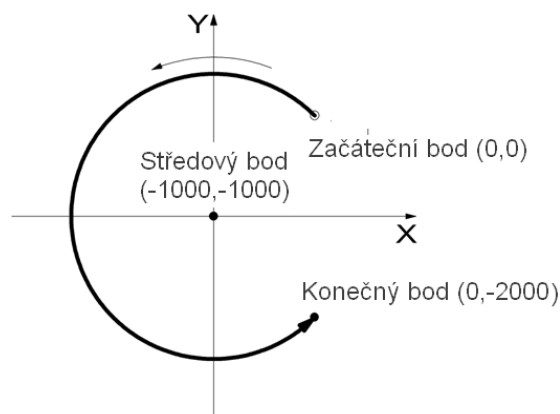


Obr. 5.19 3-osá lineární interpolace-příklad.

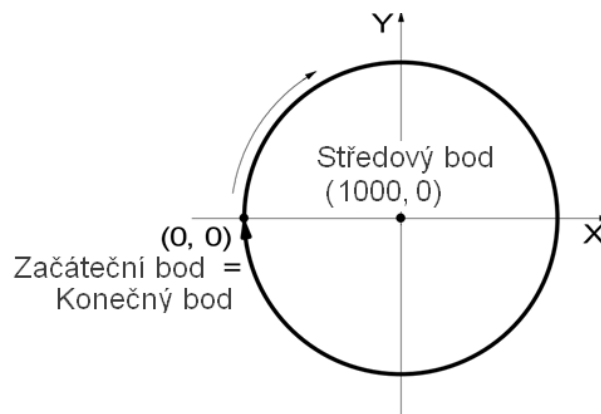
¹⁶ Nižší rychlosti je možno generovat softwarově, „puls po pulsu“.

5.2.2 Kruhová interpolace

Jakékoli dvě osy lze zvolit k provedení kruhové interpolace. Pozice musí být mezi $-2,147,483,646$ a $+2,147,483,646$ (opět omezeno 32-bitovým formátem), chyba pozice je v rozmezí ± 1.0 LSB. Rozsah rychlosti je od 1pps do 4Mpps.



Obr. 5.20 Kruhová interpolace CCW- příklad.



Obr. 5.21 Kruhová interpolace CW (celý kruh) - příklad.



Shrnutí pojmů 5.1.

- Podle zvolené koncepce může být řídicí část pohonu – polohové, momentové, rychlostní řízení realizováno samostatnou inteligentní řídicí jednotkou.
- Formát žádané hodnoty řídicí jednotky pohonu může být analogový (starší řešení), nebo číslicový formou zaslání příslušných dat.
- Řídicí jednotka krokového motoru by měla podporovat mikrokrokování.
- Výkonová část modulu pro buzení fází krokového motoru je zpravidla (pokud se jedná univerzální jednotku) zpravidla disponuje možností nastavení proudu protékajícího buzenou fází – nutno zohlednit při spárování krokový motor – jeho modul.
- Víceosé řízení s podporou interpolací požaduje tzv. závislé řízení zúčastněných (dotčených) os.
- Výstup vícesosé jednotky/karty může být ve formě pulsů (byl uveden příklad karty PISO – PS400).
- U řídicí jednotky pohonu – jednoosé i vícesosé, bývá standardně možnost připojit různé koncové spínače. To umožňuje - po zapnutí – automatické najetí do tzv. „Home“ pozice a tedy polohovou inicializaci dané osy. (týká se pohonů s inkrementálními senzory polohy).
- Řídicí jednotky, respektive jejich SW ovladače/knihovny, mají také zabudovány tzv. softwarové koncové spínače.

- Vstupní a výstupní binární signály karty, jednotky, modulu bývají zpravidla optoizolované.
- Některé jednotky jsou také vybaveny uživatelskými analogovými vstupy a výstupy.
- Některé moduly pro jednoosé řízení – např. moduly řady CDxx výrobce Microcon, jsou po nahrání programu (uložen v EEPROM) schopny pracovat zcela autonomně bez IPC (PC). Vzhledem k tomu, že jsou vybaveny binárními vstupy a výstupy, je v mnoha případech navrhnout řízený pohon bez potřeby ovládacího IPC (PC).



Otázky 5.1.

1. Jaký druh senzoru se nejčastěji používá u pohonů, které řídíme polohově? Jaké jsou jeho výstupní signály?
2. Jaké vstupní signály se připojují na řídicí jednotku el. motoru (pohonu)?
3. Jaké bývají typy signálu zadávání žádané hodnoty?
4. Co je to pps?
5. Proč bývá (zpravidla) součástí pohonu koncový spínač/spínače?
6. Jaký má význam mikrokrokování u pohonů krokovým motorem? (Nebylo v textu vysvětleno – viz „Důležitá poznámka“).
7. Co znamenají zkratky CW a CCW?
8. Zde popisovaná víceosá karta má výstupy pulsní výstupy. Co to znamená? Kam se připojují?
9. Jaká jednotka/jednotky se připojuje k víceosé kartě?



Obr. 5.22 Laboratorní pracoviště víceosých systémů s kartou PISO-PS400.

6 PROJEKT ŘÍZENÍ PORTÁLOVÉHO ROBOTU



Čas ke studiu: 2 hodiny



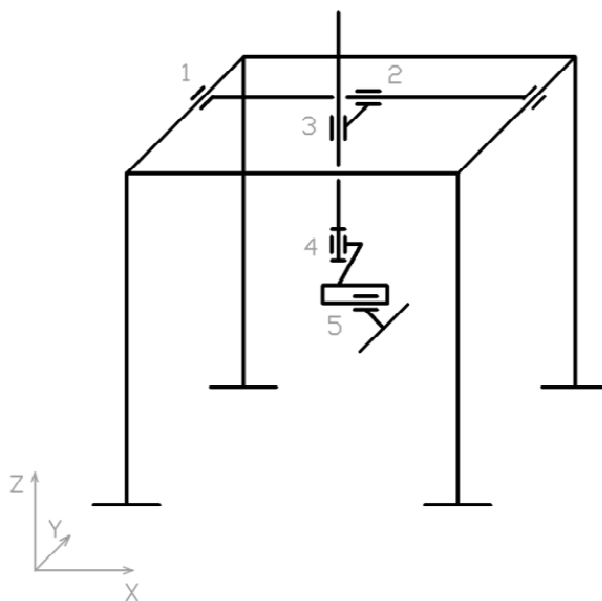
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce získáte představu o:

- ✚ praktickém použití karty PISO-PS400 pro řízení pohonů s krokovými motory,
- ✚ jak se dá řešit řízení dalších os (mimo technické možnosti karty),
- ✚ stanovení požadavků na výběr vhodných budičů krokových motorů,
- ✚ vazbě karty na řídicí jednotky krokových motorů.



Výklad

Mechanická konstrukce portálového robotu AZP-7RL-2 (Obr. 6.2), je opatřena pěti hybridními krokovými motory. Tři krokové motory zabezpečují pohyb v kartézském souřadném systému os X, Y, Z (Obr. 6.1). Čtvrtý motor U (na obrázku označen číslem 4) zabezpečuje rotaci efektoru kolem osy Z. Poslední motor R (na obrázku označen číslem 5) je přídatný pro vyosení efektoru. Všechny osy jsou osazeny mechanickými koncovými spínači, pro určení počáteční polohy.



Obr. 6.1 Kinematické schéma robotu.



Obr. 6.2 Portálový robot AZP-7RL-2.

6.1 Použité krokové motory

Pohony jednotlivých os robotu jsou osazeny hybridními krokovými motory firmy ZSE MEZ Náchod. Jedná se o hybridní dvoufázové krokové motory s vyvedenými středy vinutí (proto mají 6 a ne pouze 4 vývody, jak bychom vzhledem k uvedenému počtu fází očekávali¹⁷).

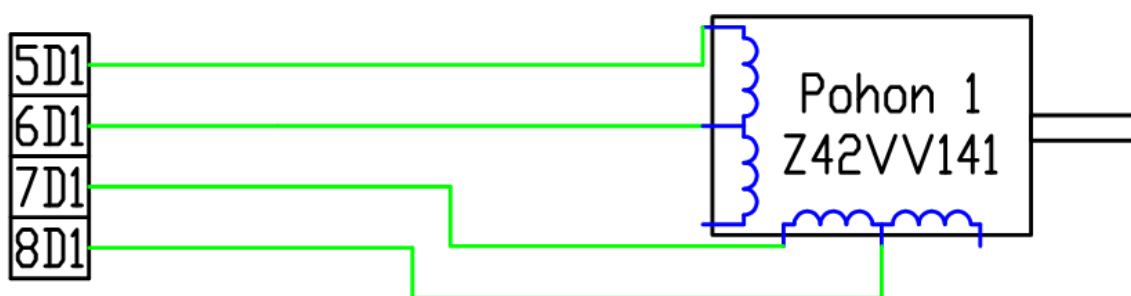
Motory v osách X, Y, Z osu typu Z42VV141 s jmenovitým proudem 7,1A. Motor U (rotace) je typu Z42RS145 s jmenovitým proudem 7A. Motor R (vyosení efektoru) je typu Z42QN147 s jmenovitým proudem 5,5A.

¹⁷ Důvodem k vyvedení středů vinutí byla především snaha o zjednodušení (zlevnění) budičích obvodů fáze. Bylo možné použít levné unipolární budičí obvody. Dnes se tohoto způsobu již nepoužívá. Podrobněji viz odborná literatura týkající se krokových motorů, např. [11]. Jiným důvodem může být volba mezi sériovým a paralelním zapojení – v případě vyvedení obou polovin vinutí samostatně.



Obr. 6.3 Motor Z42VV141.

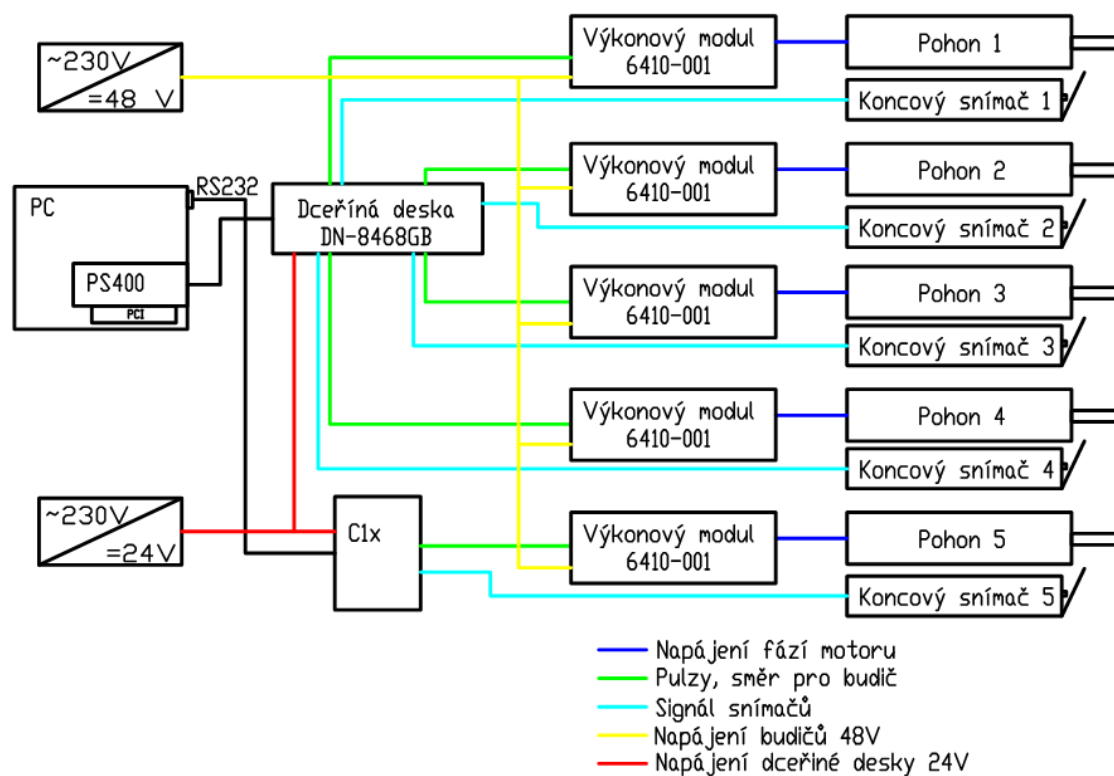
Vedení na robotu od motoru do svorkovnice je u motoru v osách X, Y, Z tvořeno pouze čtyřmi vodiči je tedy nutné k napájení použít bipolární buzení. Další dva motory U, R mají vyvedené všech šest vodičů, ale výkonové moduly budou použity stejné. Výkonový modu dále musí dodávat do motoru hodnotu proudu 7A, aby bylo dosaženo požadovaných rychlostí.



Obr. 6.4 Zapojení motoru na svorkovnici.

Karta PISO-PS400 bude řídit krokové motory zajišťující pohyb v osách X, Y, Z a rotaci efektoru kolem osy Z. Pátá osa bude řešena přídatným „inteligentním“ modulem C1x, který bude ovládán přes sériovou linku RS232. Protože tento modul nemá výkonový koncový stupeň pro buzení fází krokového motoru, je dále doplněn výkonovým modulem 6410-001, tedy stejným, jako předešlé čtyři osy – viz pátý pohon na Obr. 6.5.

Koncové snímače zajišťují funkci zjištění nulové polohy po startu systému a z pohledu terminologie řídicí karty PISO-PS400 se jedná o spínače „Home“.



Obr. 6.5 Schéma zapojení systému.



Obr. 6.6 Výkonový modul 6410-001, na pravém obrázku bez krytu a chladiče.

6.2 Výkonový modul 6410-001

Tento výkonový stupeň slouží pro bipolární napájení krokových motor s pulsní regulací proudu s možností mikrokrokování. Obsahují rozdělovač impulsů (sequencer) SQ1486. Sequencer přijímá signály Pulsy a Směr a převádí je na takty sepnutí jednotlivých

fází. Těmito takty – jedná se v podstatě o logické úrovně – jsou spínány výkonové stupně tvořené dvěma H-můstky.

Výkonový stupeň má pouze jedno napájecí napětí (díky použití H-můstků). Vzhledem k pulsní regulaci proudu není potřeba k napájení stabilizovaný zdroj, stačí jen transformátor a diodový můstek.

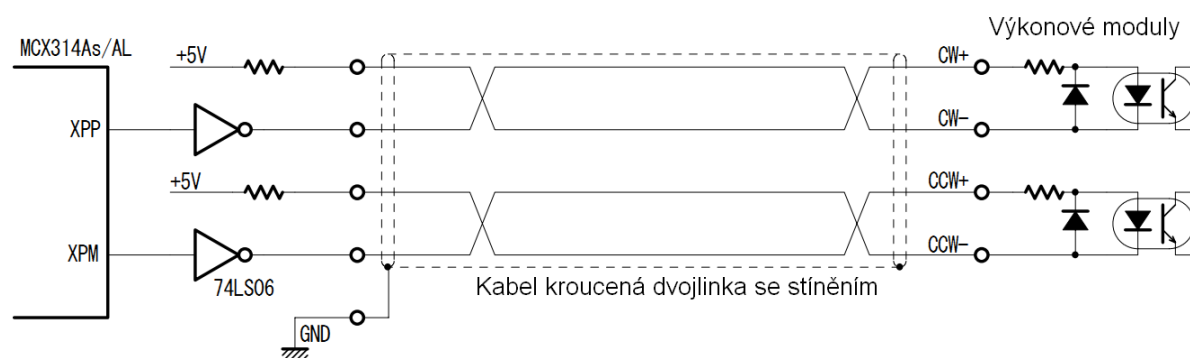
Vstupní signály jsou galvanicky odděleny optočleny.

Napájecí napětí	24 - 65 VDC
Amplituda proudu	0,9 - 7 A
Nastavení proudu	v osmi stupních
Max. počet mikrokroků na krok	binárně až 256 dekadicky až 250
Automatické snížení proudu po zastavení motoru	ANO
Možnost vypnutí koncového stupně	ANO
Statické momenty vhodných krokových motorů	2,7 - 25 Nm
Rozměry	127 x 110 x 65 mm
Doporučený napájecí zdroj	PS 70

Tab. 13 Specifikace modulu.

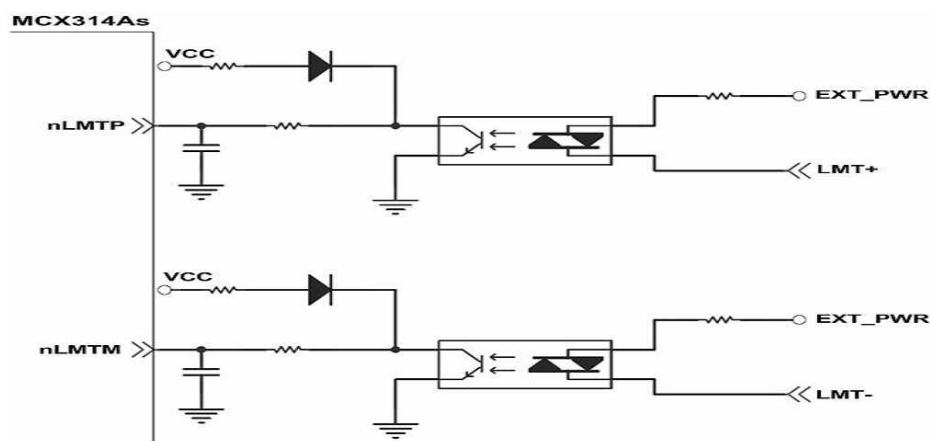
6.3 Propojení konektorů

Na dceřině desce DN-8468G nastavíme jumpery 8~15 (viz manuál [28]) do pozice otevřený kolektor s TTL úrovněmi (Obr. 6.7) tím dostaneme výstup shodný se vstupem budičů - ten je nastaven pro TTL vstup (Obr. 6.9). Takto máme nastaven i vstup Enable na vstupu budiče, můžeme ho připojit na výstup SERVO_ON. Tudiž můžeme tyto vstupy a výstupy drátově propojit podle Obr. 6.10.



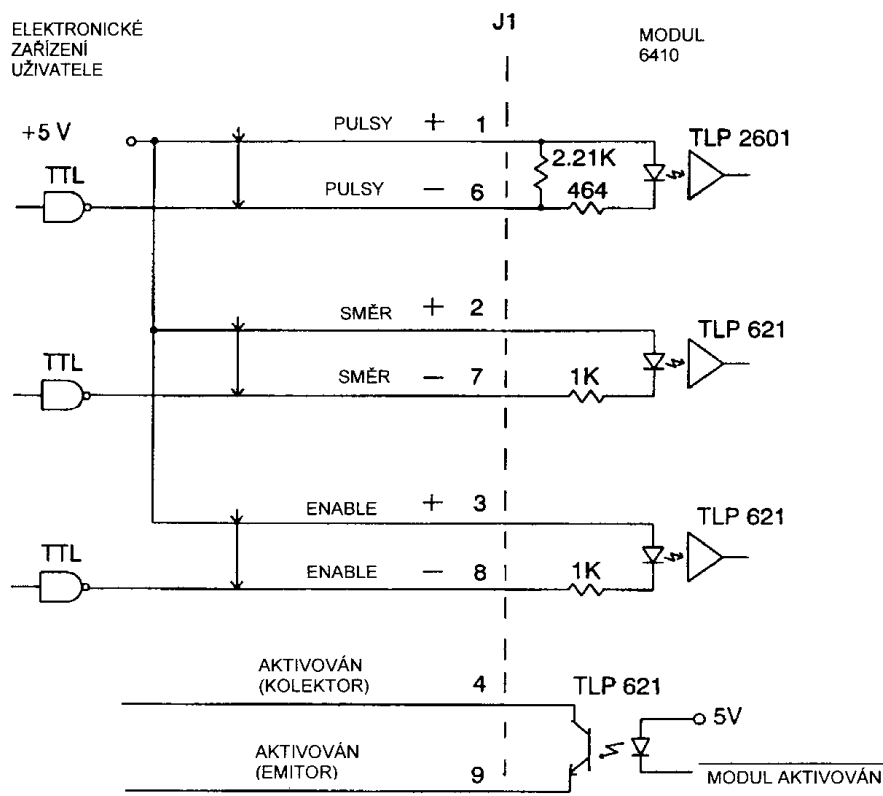
Obr. 6.7 Zapojení otevřený kolektor v úrovních TTL.

Optočlen dceřině desky DN-8468G je připojen přes odpor na napájecí napětí EXT_PWR – viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, tudíž se limitní spínač připojí přes ON2~ CON5 (viz manuál [28]) přímo na zem - Obr. 6.10.

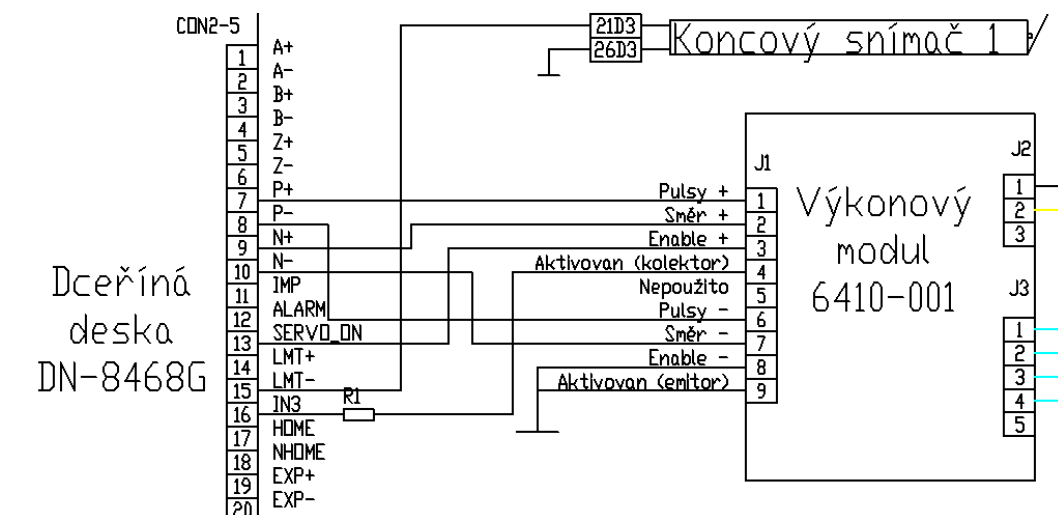


Obr. 6.8 Napojení koncových/ limitních snímačů.

Pro zpětnou vazbu o aktivaci modulu jsou vyvedeny kolektor a emitor tranzistoru optočlenu (Obr. 6.9). Ty je potřeba připojit k vstupu IN3 přes rezistor R_1 - Obr. 6.10 (viz manuál [28]).

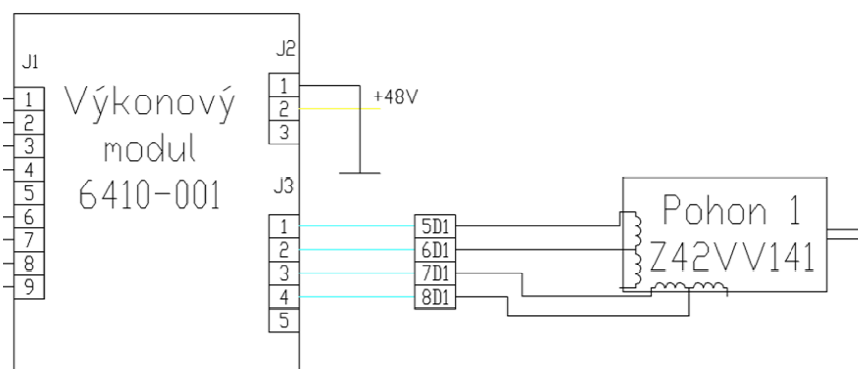


Obr. 6.9 Schéma vstupů modulu 6410.



Obr. 6.10 Propojení dceřiné desky DN-8468Ga modulu 6410-001.

Moduly jsou napájeny ze zdroje usměrněného nestabilizovaného napětí 48V a proudu 8A. Velikost proudu byla zjištěna jako dostatečná pro zajištění pohybu 3 hlavních os současně.

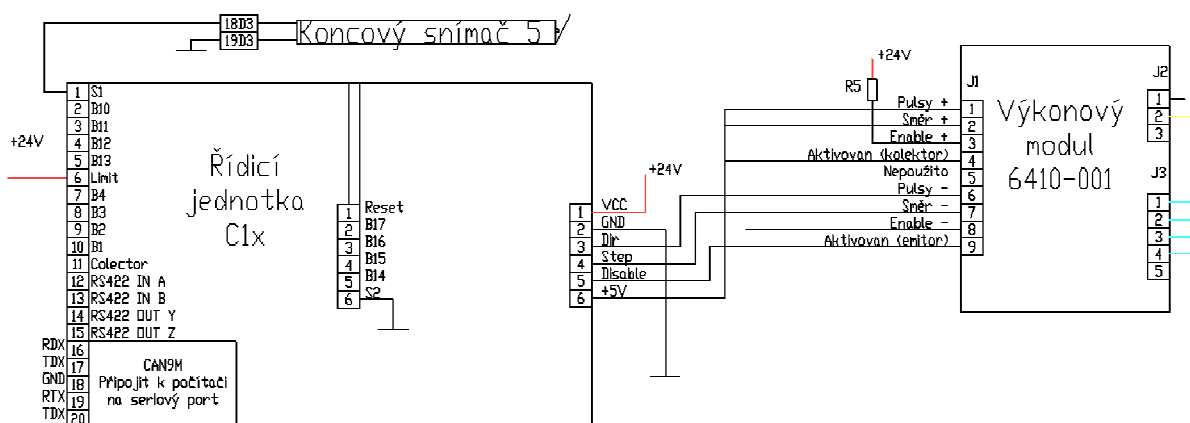


Obr. 6.11 Zapojení napájení pohonu.

6.4 Zapojení jednotky C1x

Jednotka C1x je připojena k počítači pomocí sběrnice RS-232 a její napájení je zajištěno pomocí zdroje napětí 24V.

Výstupy Dir, Step, Disable jsou tvořeny kolektory tranzistorů optočlenu, emitory jsou připojeny na zem, můžeme tedy výstupy připojit na katody diod vstupních optočlenů. Na anody optočlenů připojíme výstup +5V (přes příslušné předřadné odpory). Na katodu optočlenu přes svorku S1 přivedeme výstup z koncového snímače, na anodu na svorkovnici označenou limit přivedeme napětí zdroje 24V. Koncový snímač spojíme se zemí zdroje 24V.



Obr. 6.12 Zapojení jednotky C1x s výkonovým modulem 6410-001.

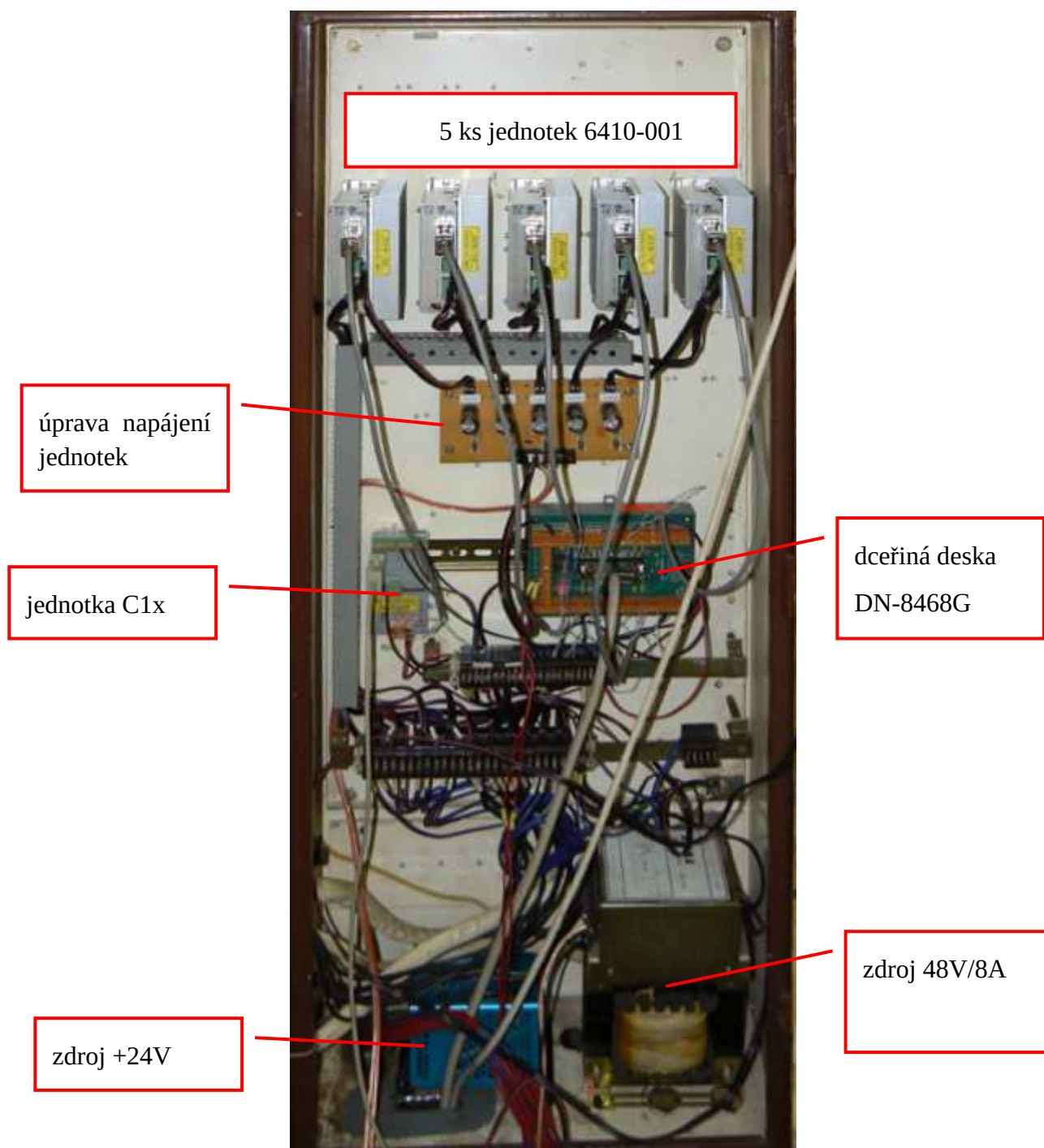


Důležitá poznámka

Správné dimenzování systému s krokovým motorem vyžaduje hlubší znalosti následujících podstatných parametrů:

- mechanické vlastnosti aplikace jako jsou moment setrvačnosti, převodové poměry, kinematika pohybu, rychlost, změna rychlosti (zrychlení, zpomalení), čas potřebný pro vykonání dráhy, četnost opakování, atd.,
- výkonnost jednotky ovladače, především z pohledu momentové charakteristiky. Krouticí moment není závislý jenom na motoru, ale je i značně ovlivněn ovladačem, který se k němu zvolí. Samotný motor může být používán s různými typy ovladačů za účelem dosáhnout požadovaných vlastností pro danou aplikaci,
- mít k dispozici statickou momentovou charakteristiku, ale zejména (dynamickou) momentovou charakteristiku daného krokového motoru,
- způsoby buzení fází krokového motoru řídicí jednotkou, dále, zda podporuje mikrokrokování.

(Konec poznámky)



Obr. 6.13 Instalace rozvaděče řízení pohonů robotu AZP-7RL – realizace Ing. Tomek [27].



Shrnutí pojmů 6.1.

- Nejčastěji používaným typem krokového motoru je hybridní, s dvěma fázemi a velikostí kroku $1,8^\circ$, respektive s 200 kroky na otáčku.
- U dvoufázového hybridního KM jsou v některých případech vyvedeny poloviny vinutí. Proto může být u 2fázového KM počet vývodů: 4, 5, 6 a 8.
- Pohon s krokovým motorem bývá zpravidla bez zpětné vazby.
- Poháněná osa bývá osazena koncovými spínači – ideálně v konfiguraci: levý a pravý koncový, mezi nimi tzv. home spínač a případně další – jako v této popisované aplikaci, kde je ještě tzv. „near home“.
- Vstupní obvody řídicí jednotky pro víceosé řízení – zde PISO-PS400 mají optooddělení – zvyšuje odolnost systému.
- V popisované aplikaci se jedná o systém s pěti osami, ale jednotka PISO-PS400 je pouze čtyřosá. Pátá osa je zde řízena samostatně pomocí programovatelného modulu C1x. Není ji tedy možné řídit jako závislou a zahrnout mezi osy s podporou interpolace.
- Aplikace používá výkonových modulů s podporou mikrokrokování – výhodné pro snížení vibrací celého pohonu!



Otázky 6.1.

1. Jak je možno interpretovat význam výstupních pulsních signálů pulsy a směr, případně pulsy+ a pulsy-? (Konkrétně u pohonu s krokovým motorem to je snadné...)
2. Jaký význam má vstup Enable u jednotky krokového motoru (ale i obecně). Dokázali byste si představit jeho propojení s WDT kartou? Co by toto propojení mohlo zajišťovat?
3. Jaký přínos má v této aplikaci možnost řídit pohon s krokovým motorem za použití mikrokrokování? Pokud se to projeví, tak jak?
4. Jaké má omezení navržená aplikace z pohledu počtu současně buzených (pohybujících) os? Jak by šlo toto omezení odstranit?

7 PROJEKT ŘÍZENÍ PÓDIOVÝCH STOLŮ



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce získáte informace

- o realizované aplikaci postavené na IPC, kde doposud dominovaly PLC systémy,
- analyzující tuto aplikaci též v etapě jejího návrhu (definování potřebných vstupů a výstupů),
- o způsobu zajištění ovládání technologie při poruše části řídicího systému,
- co znamená „mrtvý muž“ :-).



Výklad

Řídicí systém pódiových stolů Smetanovy síně Obecního domu v Praze

Při poslední generální rekonstrukci Obecního domu v Praze byla mimo jiné v Smetanově síni realizována instalace nového pódia - Obr. 7.1. Toto pódium je nyní tvořeno celkem 18 nůžkovými stoly - Obr. 7.2, poháněnými elektrohydraulickými pohony. Poloha těchto stolů, včetně celkového ovládání příslušné hydraulické stanice, je řízena a vizualizována pomocí dvou IPC. Autorem návrhu řídicího systému je prof. Ing. Petr Noskovič, CSc. [15].



Obr. 7.1 Smetanova síň (v době rekonstrukce)



Obr. 7.2 Pohled na 18 pódiových stolů ve Smetanově síni (v době rekonstrukce)

Hydraulické zařízení scénické technologie zajišťuje manipulaci celkem s 18 stoly scénického pódia, jejichž maximální pracovní zdvih je 1200 mm a požadovaná přesnost najetí na polohu je 0,5 mm.

Celé zařízení lze rozdělit na hydraulickou stanici, která je umístěna v prostoru na úrovni druhého suterénu, a 18 hydraulických pohonů stolů scénického pódia, které jsou umístěny v prostoru pódia Smetanovy síně.

Hydraulickou stanici tvoří dva regulační hydrogenerátory s regulací na konstantní tlak spolu s odlehčovacími rozvaděči instalované na 400 l nádrži. Agregát je vybaven snímači hladiny, teploty a tlaku oleje a koncovými spínači kulových ventilů.

Ze zadání plynuly tyto hlavní požadavky:

- polohování stolů z prostoru pódia včetně zapnutí hydraulické stanice (nejčastější činnost),
- spouštění hydraulické stanice z prostoru hydraulické stanice bez možnosti polohování stolů (např. za účelem jejího servisu),
- spouštění hydraulické stanice z prostoru hydraulické stanice a polohování jednotlivých stolů za přítomnosti osoby v prostoru pódia.

Polohování stolů lze provádět:

- v automatickém režimu všech 18 stolů s možností ukládání scén,
- v ručním řízení,
- v automatickém režimu pro jednotlivé stoly,
- v nouzovém režimu při poruše IPC v prostoru pódia.

7.1 Řídicí systém

Navržená koncepce řídicího systému podle [15], je založena na bázi počítačů architektury IPC, které jsou dostatečně výkonné pro realizaci řídicích a vizualizačních úloh. Je vybaven vstupně/výstupními kartami a moduly pro připojení akčních členů a snímačů polohy pódiových stolů a periferiemi umožňujícími pohodlnou volbu funkcí a názornou vizualizaci.

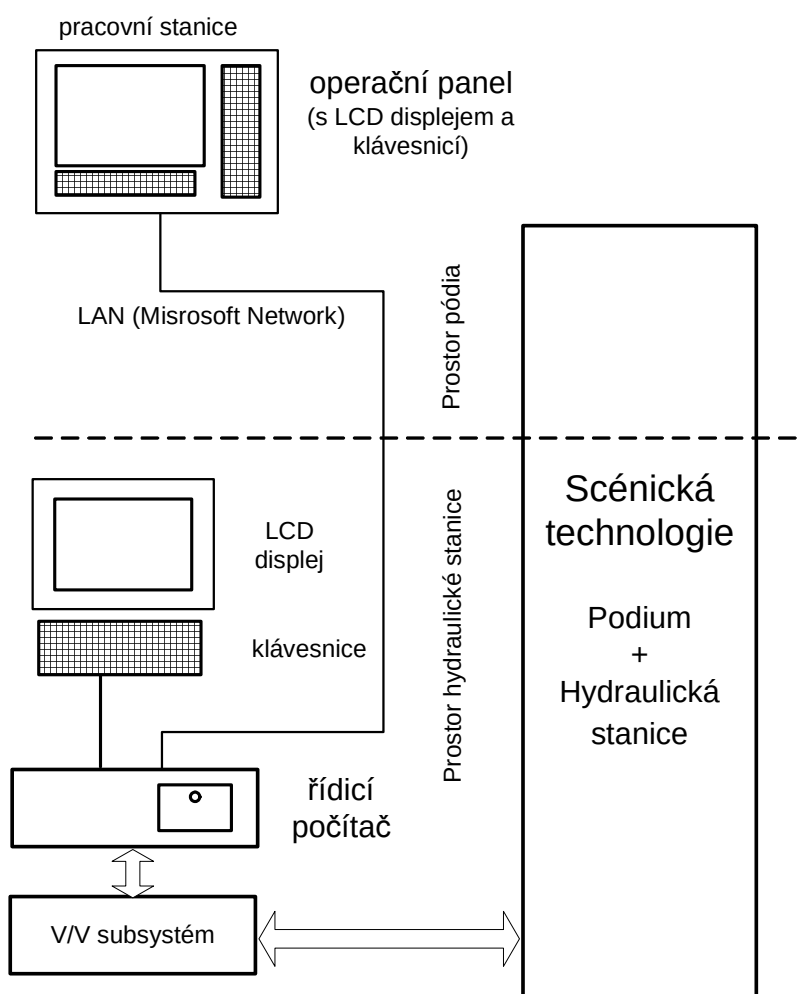
Vizualizační počítač („panel obsluhy“) v prostoru pódia je tvořen plnohodnotnou pracovní stanicí na bázi IPC.

Řídicí počítač (skříň a komponenty Advantech) je umístěn v rozváděčové skříni v prostoru hydraulické stanice. Je řešen formou panelové skříně s pasivní sběrnici s 16 ISA sloty a 4 PCI sloty. Ve slotech pasivní sběrnice jsou zasunuty kromě CPU karty i ostatní karty potřebné pro ovládání technologie. Rovněž je zde instalována procesorová karta.

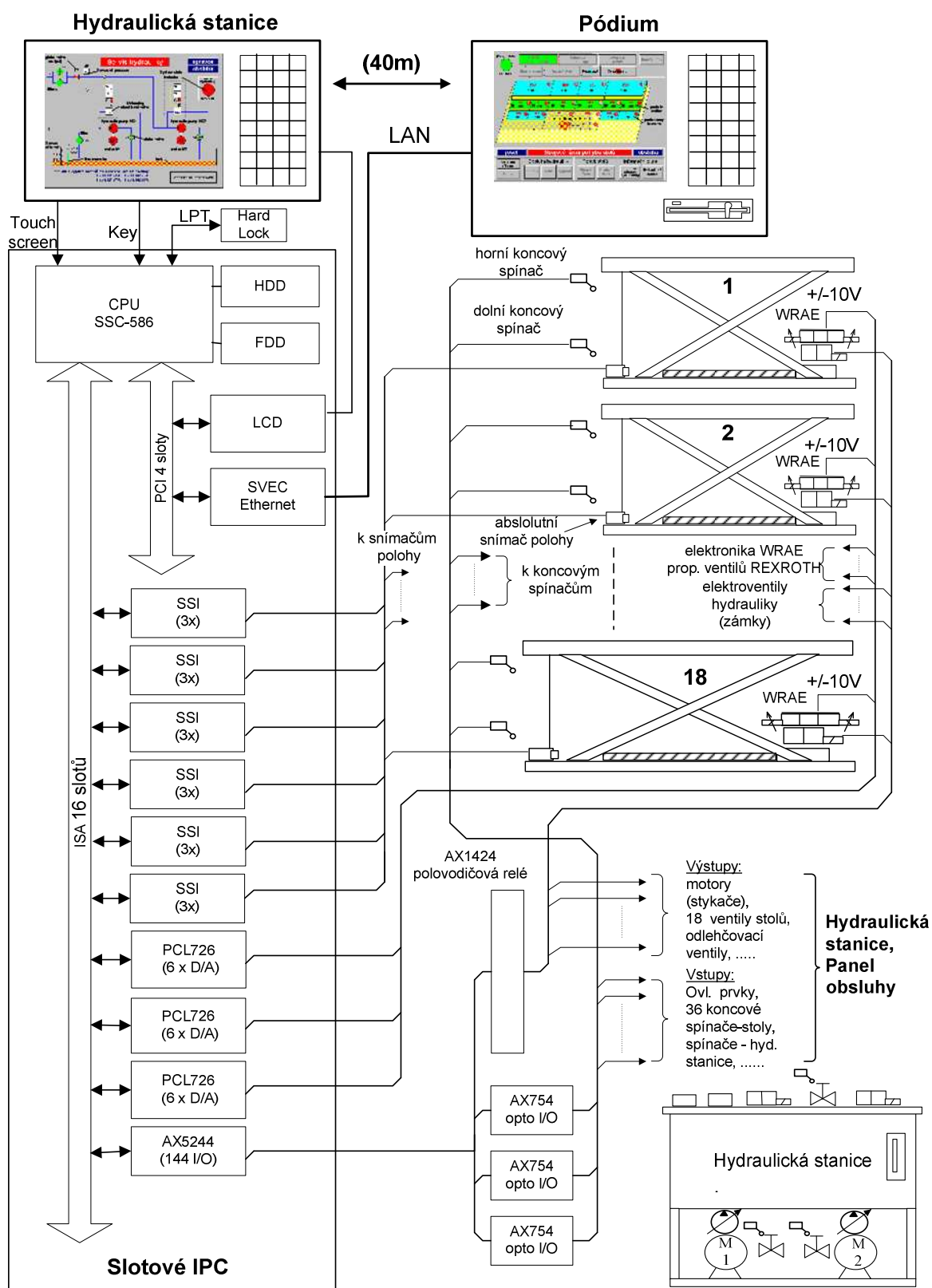
Oba dva počítače jsou propojeny pro přenos dat počítačovou sítí Ethernet s protokolem Microsoft Network. Situace je znázorněna na Obr. 7.3.

Komunikace s obsluhou je jak v prostoru hydraulické stanice, tak i v prostoru pódia řešena pomocí dotekového TFT LCD displeje (touch screen), klávesnicí a mechanickými tlačítky připojenými na I/O podsystém řídicího počítače.

Navržená koncepce umožňuje na obou stanovištích stejný způsob obsluhy zařízení a rozsah vizualizace.



Obr. 7.3 Řídicí počítač a operační panel.



Obr. 7.4 Blokové schéma řídicího systému polohování pódiových stolů ve Smetanově síni Obecního domu v Praze.

Blokové schéma uspořádání řídicího systému je zobrazeno na Obr. 7.4.

Obr. 7.4 Jeho I/O rozhraní je možné rozdělit do několika částí:

- Komunikace s 18 absolutními inkrementálními snímači polohy vybavenými SSI rozhraním (zde ve významu „Synchronous Serial Interface” – POZOR - tato zkratka se velice často používá i pro další významy). Ta je zajištěna šesti speciálními kartami s SSI rozhraními (jedna karta má tři rozhraní).
- Čtení stavu 36 koncových havarijních snímačů polohy.
- Čtení stavu dalších dvouhodnotových spínačů (stav kulových ventilů, teplota oleje, hladinoměry, zanesení olejových filtrů, stav stykačů, atd.
- Nastavení 18 analogových výstupů v rozsahu +/- 10V jako řídicích signálů elektroniky proporcionálních ventilů WRAE (REXROTH) ovládající rotační hydromotory (= tři karty po 6 D/A převodnících v blokovém schématu).
- Ovládání výkonových výstupů pomocí polovodičových relé. (např. 18 elektrohydraulických ventilů pódiových stolů, buzení stykačů, atd.)

7.2 Vstupy a výstupy

Z pohledu řídicího systému je zapotřebí pracovat s následujícími signály:

Pódiový stůl (celkem 18 krát)

Vstupy –

- dolní koncový havarijní spínač,
- horní koncový havarijní spínač (klidová poloha SEPNU TO),
- SSI rozhraní čte údaj o absolutní poloze stolu s přesností 0,04mm (dáno typem snímače).

Výstupy –

- analogový signál +/-10V pro ovládání elektroniky proporcionálních ventilů WRAE,
- zapínání/vypínání elektrohydraulických ventilů.

Hydraulická stanice

Vstupy –

- hladinoměry, snímače teploty, tlakové spínače signalizující zanesení filtrů, koncové spínače kulových ventilů, ovládací prvky obsluhy (tlačítka).

Výstupy –

- zapínání/vypínání stykačů rozběhu motorů M1 a M2 (každý 30 kW),
- zapínání/vypínání stykačů odlehčení během rozběhu motorů M1 a M2.

Rozvaděč a panely obsluhy v hydraulické stanici a v prostoru pódia

Vstupy –

- zámky (odemknutí klíčem),
- ovládací tlačítka, stavy napájecích okruhů elektroniky.

Výstupy –

- stykače napájecích napětí pro výstupní obvody

Všechny výše uvedené binární vstupy a výstupy jsou realizovány kartou AX5244, obsahující celkem 144 TTL vstupů a výstupů uspořádaných v 6 skupinách po 24 kanálech typu „8255“. Jednotlivé kanály je možné softwarově nastavit jako výstupní. Po zapnutí/resetu jsou všechny nakonfigurovány jako vstupní.

Linky kanálů nakonfigurované jako výstupní jsou přivedeny na dceřinou desku AX1424 obsahující moduly polovodičových relé (SSR) typu ODC5 – viz červené moduly pod bílou skříní IPC - *Obr. 7.5*.

Vstupní binární signály jsou připojeny na svorkovnice tří dceřiných desek s optooddělovacími obvody – viz tři tmavé obdélníky na *Obr. 7.5*.

Napojení celkem 18 lankových absolutních senzorů polohy nůžkových stolů, je provedeno pomocí šesti karet, každá s třemi SSI rozhraními – viz *Obr. 7.4*.

Obr. 7.4 Řídící signálem proporcionálních ventilů – každý stůl jeden, takže celkem 18ks, je napětí. To je generováno pomocí trojice karet PCL726, každá s šesti bipolárními napěťovými výstupy.



Obr. 7.5 V horní polovině kovového rozvaděče – umístěného v prostoru hydraulické stanice v Obecním domě – je skříň IPC. V jeho dolní části jsou zakončovací panely (řada červených modulů polovodičových relé a tři tmavé panely optooddělených binárních vstupů). V pravé části rozvaděče jsou umístěny stykače, výkonová relé, spínané zdroje apod.

7.3 Řídicí program

Jako operační systém byl především z důvodů požadavku na vizualizaci a vzájemnou síťovou komunikaci dvou IPC použit Microsoft Windows. Struktura programu je řešena ve dvou vrstvách.

Horní, vizualizační vrstva, je určena pro styk s obsluhou a je vytvořena v SCADA/HMI vývojovém prostředí InTouch se 128 „tagy“ (objektová proměnná). Tato vrstva mimo vlastní zobrazování stavu celé technologie, také zodpovídá za správnou posloupnost „požadavků“ na pohyb stolu v režimu automatického pohybu stolů do předem navolených pozic. Tyto požadavky jsou zasílány spodní vrstvě řízení. Veškeré informace nutné pro vizualizaci technologie jsou poskytovány touto vrstvou. Jedná se například o polohy jednotlivých stolů, stavy spínačů, tlačítek, snímačů a podobně.



Důležitá poznámka

Vizualizační vrstva je instalována na obou dvou počítačích. Na obou dvou počítačích jsou tyto dvě vrstvy prakticky identické. To je výhodné v případě poruchy horního IPC, instalovaného v prostoru podia, který primárně slouží k obsluze celého zařízení. V případě jeho poruchy je možné celou technologii ovládat i řídicího systému instalovaného v prostoru hydraulické stanice. Pro zajímavost – ta se nachází v druhém sklepním podlaží budovy Obecního domu.

(Konec poznámky)

Dolní, řídicí (výkonná) vrstva je řešena formou DDE serveru, která je spuštěna pouze na řídicím počítači v prostorách hydraulické stanice.

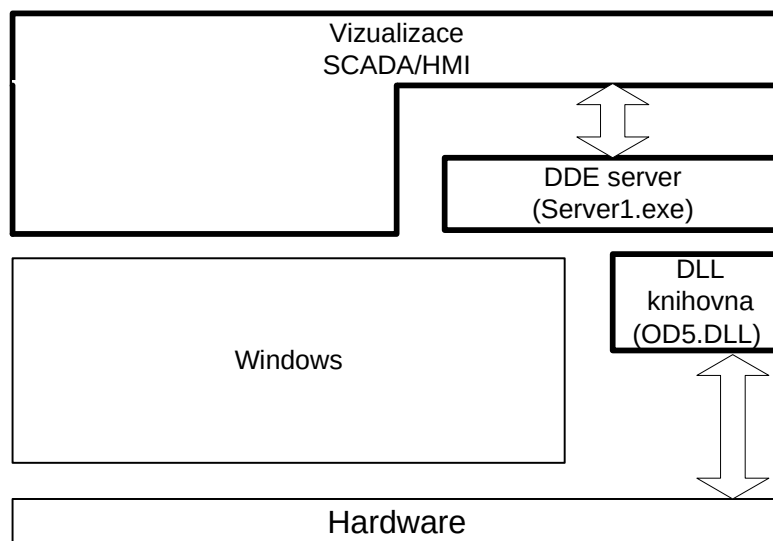
Tento DDE server zajišťuje vlastní ovládání celé technologie prostřednictvím I/O rozhraní stručně popsaného v předchozí kapitole. Tato vrstva je zodpovědná za provádění požadavků přicházejících z vizualizační úrovně. Tyto požadavky jsou například zapínání/vypínání motorů, ruční a automatické řízení stolů a podobně. Tato vrstva rovněž poskytuje vizualizační úrovni veškeré informace pro vlastní vizualizaci, jako jsou polohy stolů, stavy koncových snímačů, teplota, hladina atd. Tato vrstva je instalována pouze na řídicím počítači v hydraulické stanici.

Vzájemná komunikace mezi uvedenými vrstvou vizualizace a DDE serverem probíhá pomocí DDE a NetDDE.

Další důležitou funkcí serveru je provedení počáteční inicializace a pak zajištění periodického občerstvování obvodu WDT, aktivovaného na CPU kartě v řídicím IPC.

Struktura řídicího programu je zachycena na Obr. 7.6. Z obrázku plyne, že veškerá komunikace s hardwarem (D/A převodník, SSI rozhraní, binární vstupy/výstupy) probíhá pomocí funkcí zabudovaných v DLL knihovně „OD5.dll“. Funkce této knihovny využívá

DDE server a prostřednictvím DDE kanálu (lokálního a síťového) poskytuje požadované informace o stavu technologie horní vizualizační vrstvě řízení.



Obr. 7.6 Struktura řídicího programu v operačním systému (tučně jsou zvýrazněny jeho jednotlivé části).

7.4 DDE server

DDE server je napsán v jazyku Visual Basic a po odladění přeložen do EXE tvaru. Protože tento server má zajišťovat některé časově kritické služby, jsou tyto části napsány v jazyku C++ formou DLL funkcí. V této DLL knihovně jsou rovněž některé jednoduché funkce, které nejsou z jazyka Visual Basic dostupné.

Návrh této vrstvy řízení musel zajistit zejména tyto požadavky plynoucí ze zadání (uvedeny nejdůležitější):

- nastavení polohy stolu v rozmezí 0 do 1200mm,
- přesnost polohování stolu +/- 0,5 mm,
- rychlost pohybu (při ručním řízení) 0,1 m/s (přibližně),
- současné polohování více stolů až 6 stolů současně,
- během polohování nedovolit větší rozdíl výšek sousedních stolů než 0,5m, atd.,
- ovládat hydraulickou stanici a monitorovat veškeré senzory, včetně patřičné reakce (njetí na koncový havarijní spínač, nedostatečný tlak oleje, atd.,
- implementovat zabezpečení technologie při zhroucení programu nebo operačního systému,
- komunikaci s vrstvou vizualizace.

Pro komunikaci mezi vrstvami vizualizace a serveru byl použit systém služeb a odpovědí. Požadovaná služba (ve formě dohodnutého číselného kódu) je vizualizační úroveň přes vyhrazenou DDE¹⁸ linku zaslána serveru, ten ji analyzuje, provede a odpoví zpět prostřednictvím další vyhrazené DDE linky.

Příkladem služby může být požadavek automatické jízdy jednoho nebo více stolů do nové polohy. Server kromě kódu této služby obdrží ve vyhrazených DDE linkách číslo stolu a cílovou polohu („žádanou hodnotu“).

Nejprve server prověří, zda neexistují některé důvody zabráňující provádění tohoto požadavku. Například to může být aktivovaný havarijní koncový spínač.

Poté následuje volání příslušné funkce DLL pro automatické řízení stolu do žádané polohy. Během pohybu (zajišťovaného DLL funkcí) jsou serverem přes další vyhrazené DDE linky poskytovány hodnoty aktuálních poloh všech 18 stolů, takže vrstva vizualizace může zobrazovat aktuální stav. Po dojetí do cílové (cílových) poloh server informuje vrstvu vizualizace, že požadovaná služba byla dokončena. Server samozřejmě neustále monitoruje i různé „zakázané“ stavy, jako je například aktivace některých spínačů (vysoká teplota oleje, nízká hladina oleje, zavřený kulový ventil apod.).

7.5 Vizualizace

Pro zajištění vizualizace celé technologie a zprostředkování styku s obsluhou byly v této aplikaci použity dva programové systémy InTouch americké firmy Wonderware.

Jedná se o tzv. programy SCADA/MMI (*Supervisory Control and Data Acquisition/Man-Machine Interface*) nebo též v současné době označované jako SCADA/HMI (.../Human-Machine Interface).

InTouch podporuje rozsáhlou třídu automatizačních, monitorovacích a řídicích úloh od středních, po velké a velmi rozsáhlé úlohy až s desítkami tisíc diskretními, reálnými, celočíselnými a řetězcovými proměnnými („tagnames“).

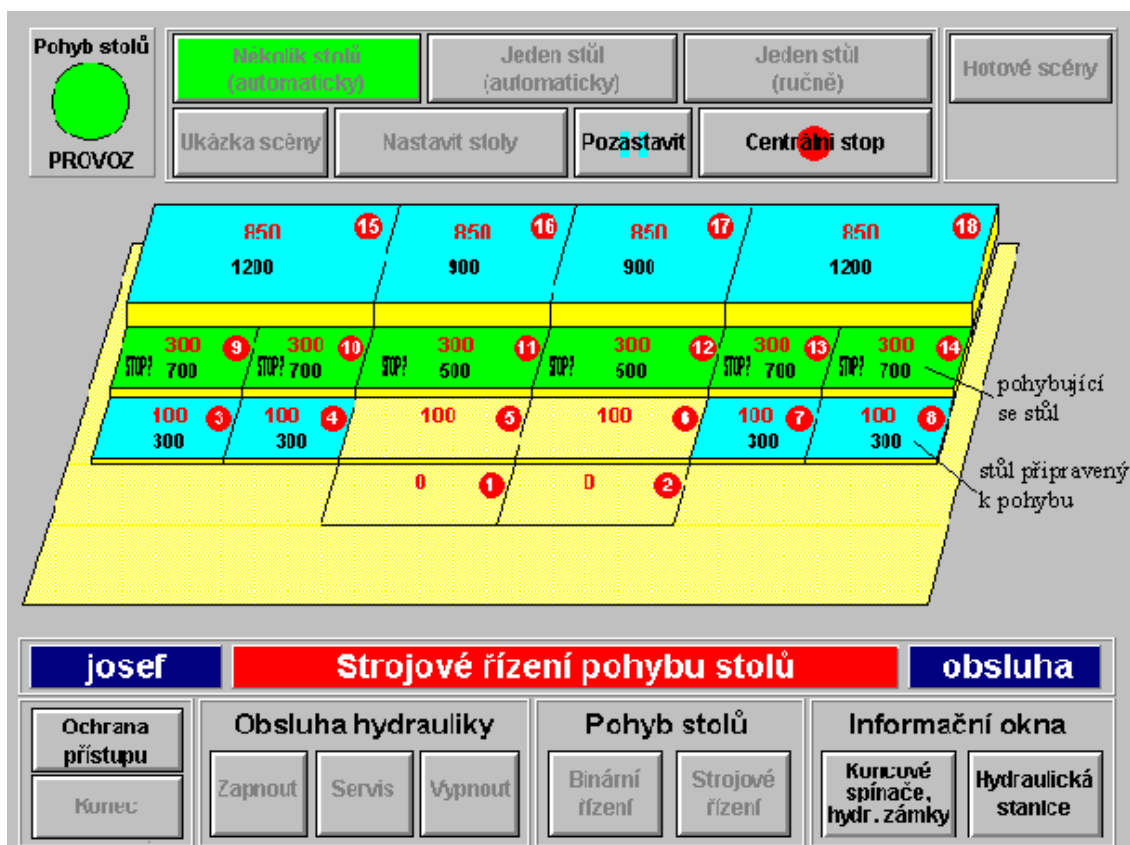
Prostřednictvím tzv. DDE I/O ¹⁹serverů je programové prostředí InTouch spojeno s technologií.

V popisované aplikaci byly použity verze InTouch 5.6 se 128 proměnnými. Z celkového počtu těchto proměnných bylo v popisované aplikaci použito 125. Celý systém vizualizovaných dat je rozdělen do několika obrazovek, pomocí kterých může obsluha ovládat pohyb pódiových stolů v ručních a automatických režimech. Obr. 7.7. ukazuje základní obrazovku, na které jsou barevně odlišeny jednotlivé stoly podle toho, v jakém stavu řízení se

¹⁸ Poznamenejme, že veškeré DDE komunikace zde probíhají přes tzv. „automatic“ DDE linky, tj. takové, které jsou trvale aktivovány. Jiné druhy těchto linek, „Manual“ (manuální) a „Notify“ (oznamovací) nejsou z důvodů vyšší časové režie vhodné.

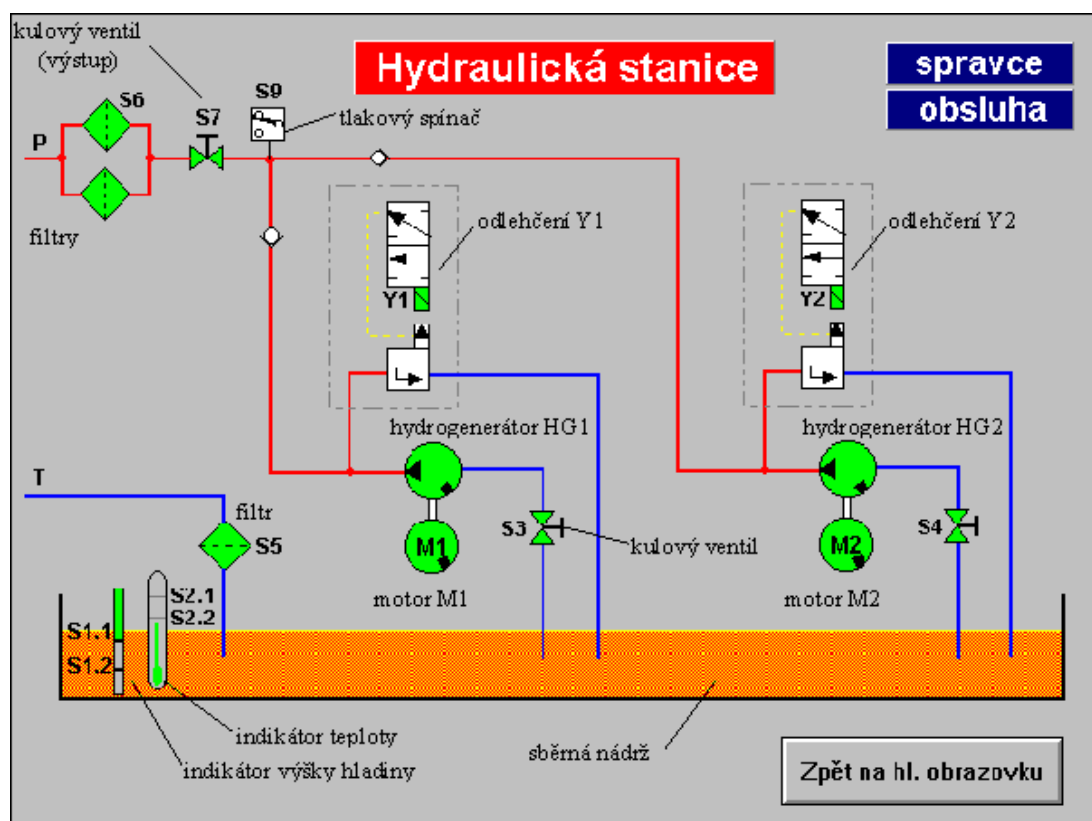
¹⁹ Tohoto značení používá Wonderware pro DDE server

nacházejí. Další obrazovkou je pohled na stav hydraulické stanice, který je zachycen na Obr. 7.8. Pomocí této obrazovky může obsluha zjistit aktuální stav hydraulického agregátu (např. porucha – je zanesen olejový filtr apod.). Dalším oknem je diagnostické okno přehledně zobrazující stavy a hodnoty všech senzorů a hydraulických zámků instalovaných na pódiových stolech.



Obr. 7.7 Vzhled obrazovky při pohybu více stolů v automatickém režimu.

Režim „Několik stolů (automaticky)“ je možno zvolit pouze při ovládání z prostoru pódia. Při ovládání z hydraulické stanice je tlačítko volby tohoto režimu nepřístupné.



Obr. 7.8 Informační okno hydraulické stanice

7.6 Bezpečnost systému

Zabezpečení systému technologie a řídicího počítače je řešeno na několika úrovních.

Zabezpečení řízené technologie při zhroucení programu nebo operačního systému je zajištěno WDT obvodem, o jehož periodické občerstvování se stará samostatný časovač s periodou 1000ms. Pokud v této době nenastane občerstvení obvodu WDT, je generován signál reset.

Tímto hardwarovým signálem jsou pak inicializovány použité I/O karty v řídicím IPC (v prostoru hydraulické stanice). Díky tomu dojde k odpojení napájení ovládacích obvodů hydromotorů pódiových stolů, výstupy D/A převodníků, které představují akční veličinu řídicí elektroniky hydromotorů, jsou nastaveny na nulu, dále dojde k vypnutí stykačů motorů čerpadel hydraulické stanice a k uzamknutí elektromagnetického zámku u každého stolu.

Dalším jištěním je použití koncových havarijních spínačů, softwarových koncových spínačů, které zamezují najetí stolu mimo pracovní prostor.

Ochrana proti používání řídicího programu celé jevištní technologie neoprávněnou osobou je zajištěna systémem přístupových práv, který je součástí programu InTouch. Přístupová práva jsou rozdělena celkem do čtyř úrovní, lišící se povolenými funkcemi

programu. Uživateli s nejvyšší prioritou je umožněno ovládat polohování stolu, je-li aktivován koncový havarijný spínač, což nemůže provádět běžná obsluha.



Důležitá poznámka

V textu výše bylo uvedeno, že pomocí řídicího IPC v prostoru hydraulické stanice lze v případě poruchy horního IPC (v prostoru podia) celou technologii také ovládat (řídit). Protože se jedná o nestandardní postup, při kterém není přímá vizuální kontrola ovládané technologie v prostorech podia obsluhou, je součástí celé řídicí topologie také tlačítko „mrtvého muže“ – Dead men (jedná se o běžně používaný termín). Toto tlačítko je umístěno v prostoru ovládané technologie (u této aplikace bezprostředně vedle „horního“ IPC) a je hardwarově zapojeno tak, že v případě ovládní technologie z řídicího IPC v hydraulické stanici musí být bezpodmínečně stisknuté (jedná se o tlačítko, ne spínač!) další osobou, která vizuálně dohlíží na ovládanou technologii – zde pohybující se pódiové stoly. V případě požadavku na zastavení pohybu stačí toto tlačítko uvolnit a pohyb se zastaví bez ohledu na příkazy spodního IPC.

(Konec poznámky)

Systém přístupových práv dále hlídá delší nečinnost s programem než je nastavená doba 10 minut a po krátkém upozornění provede odhlášení aktuálního uživatele.

Program pro svou potřebu rozeznává tři stavy ovládané technologie. Jsou to – **provozní** stav, kdy signály všech senzorů jsou v optimálních hodnotách. Dalším stavem je **varování**, kdy stavy některých senzorů jsou mimo povolený stav, ale technologie se dá ještě ovládat. Může to například být vyšší teplota oleje. Posledním stavem, je **porucha**. V tomto stavu není možné technologii ovládat. Tento stav nastane například při aktivaci senzoru vysoká teplota oleje nebo uzavřený kulový ventil apod. Systém zároveň obsluhu stále o aktuálním stavu informuje, včetně lokalizace poruchy a návodu pro její odstranění.

Pro potřeby diagnostiky jsou také veškeré nastalé mimoprovozní stavy spolu s časovým údajem a jménem obsluhy ukládány do speciálního souboru na disku. Vyhodnocením tohoto souboru lze pak zpětně vysledovat chování celé technologie.

Zvolená koncepce tohoto řídicího systému, včetně zohlednění požadavků na spolehlivost potvrdili bezporuchový provoz celé aplikace po dobu delší než deset let.



Shrnutí pojmů 7.1.

- Výše popsaná aplikace je zajímavá také tím, že doposud se takovéto typy úloh řídily vesměs pomocí řídicích systémů postavených na PLC.
- Při výběru komponent řídicího systému musel být zohledněn požadavek na poměrně extrémně požadovanou dobu záruky šesti let. Proto byli zvoleni výrobci, kteří mimo jiné garantovali dostupnost dodaných komponent (karet, dceřiných desek atp.) nejméně po dobu deseti let.
- Vlastní řídicí počítač – týká se zejména jeho části obsahující veškeré karty – byl celý zkompletován u dodavatele a pak zahořován.
- Řídicí systém má zabudován modul WDT.
- Při návrhu systému bylo důsledně dodrženo pravidlo optooddělených binárních vstupů.



Otázky 7.1.

1. Jak by se muselo řešit – v případě poruchy – tzv. „Řízené odstavení“?
2. Proč má systém u každého řízeného stolu pouze horní a dolní koncové spínače – viz Obr. 7.4 a ne ještě spínač home?
3. Jakým způsobem je zajištěno bezpečnost ovládání pódiových stolů v nouzovém režimu z IPC instalovaného v prostoru hydraulické stanice?
4. Jak se prvek tohoto zabezpečení nazývá?
5. U použitých karet D/A převodníků je ve specifikaci uvedeno „double-buffered D/A converter“. Co to znamená?
6. Použitá DIO karta AX5244 má 144 binárních vstupů a výstupů. Ty jsou po zapnutí/resetu všechny vždy nastaveny jako vstupní. Ty linky (brány), které chceme, aby byly výstupní, musíme nastavit programově. Co je potřeba na základě této skutečnosti v době návrhu řešit?

8 PROJEKT ŘÍZENÍ NAVAŘOVACÍHO ZAŘÍZENÍ



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce získáte informace

-  o reálné mobilní aplikaci založené na panelovém PC,
-  o využití modulů distribuovaných vstupů a výstupů,
-  o použití více WDT obvodů v jedné aplikaci současně.



Výklad

Řídicí systém pro navařování a broušení

V současné době je problematika renovace kolejnic navařováním ve světě řešena v zásadě dvěma způsoby odlišujícími se použitou technologií.

V prvním, – starším způsobu, se vlastní navařování děje po předchozím předehřevu. Nevýhodou tohoto řešení je zejména v exteriérech problematické technické zajištění předehřevu v požadovaném teplotním rozmezí a jeho časovém gradientu. Zařízení patřící do této skupiny nabízí například světový výrobce svářecí techniky ESAB.

Druhý, progresivní způsob používá nově vyvinutou technologii navařování kolejnic pod tavidlem, vyznačující se tím, že navařování se provádí bez předchozího předehřátí a dosažená tvrdost návaru odpovídá tvrdosti základního materiálu kolejnice a navíc lze dle provozních požadavků dosáhnout zvýšené tvrdosti [12].

Rekonstrukce kolejového svršku, jejichž potřeba vzniká z důvodu opotřebení kolejnic v exponovaných místech tratí, jako jsou výhybky, oblouky, přechody apod., patří k náročným operacím jak z finančního, tak i časového hlediska. Rekonstrukce těchto míst jsou prováděny buď výměnou opotřebovaných kolejnic za nové anebo opravou stávajících kolejnic technologiemi navařování do původního tvaru hlavy kolejnice.

Pro potřeby automatického řízení pohybu navařovací hubice při renovaci exponovaných míst kolejnic navařováním bylo v roce 1996 až 1997 navrženo a vyrobeno navařovací zařízení PS 02, s řídicím systémem na bázi IPC. Technologicky vychází z jednoduchého vozíku PS 01, který však umožňoval provádět návar pouze v jednom směru.

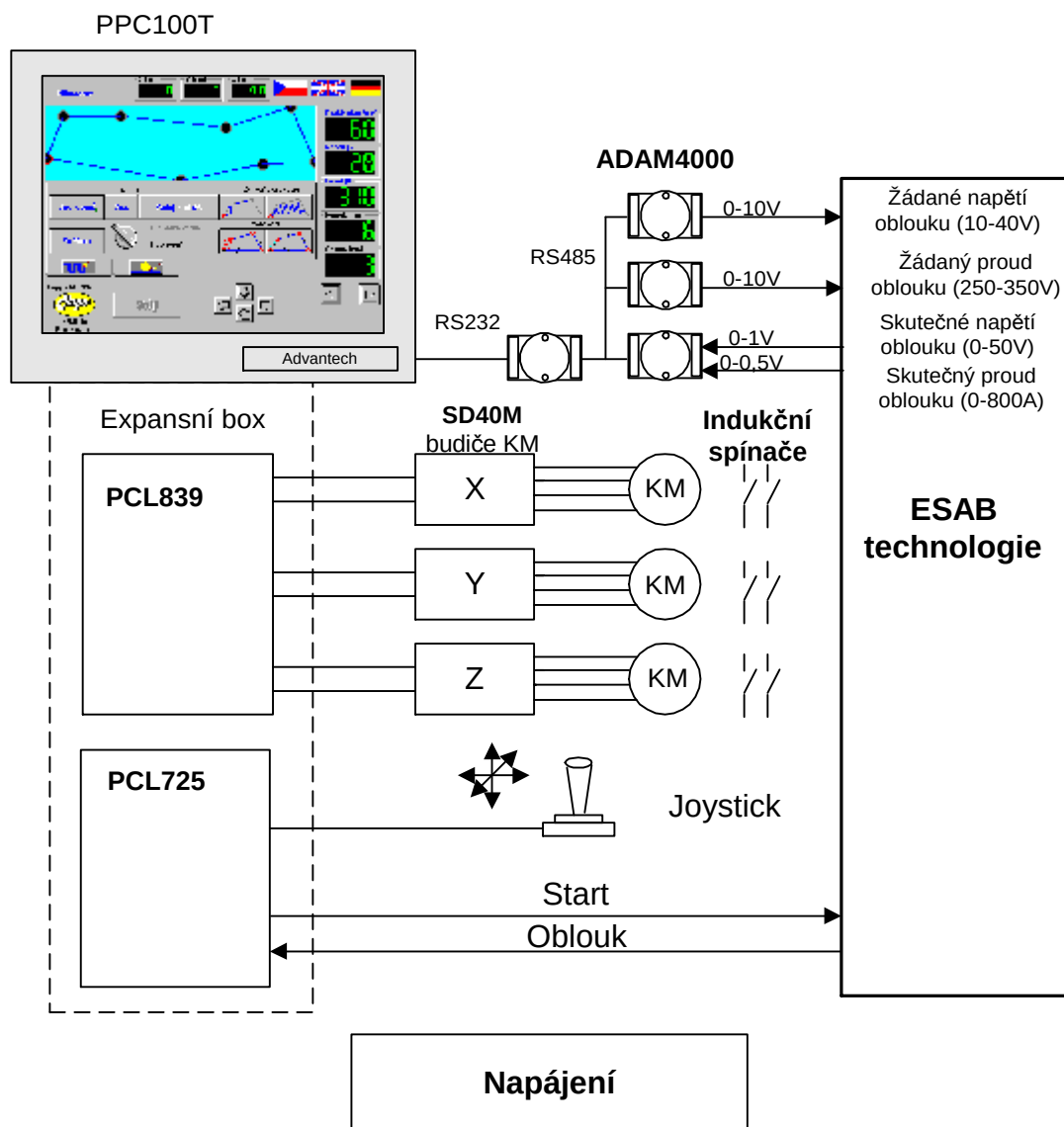
Při vlastním návrhu bylo vycházeno z následujících požadavků (uvedeny nejdůležitější):

- pohony s krokovými motory řízené v otevřené polohové smyčce,
- zadání požadované trajektorie pomocí učení,
- rychlost posuvu navařovací hubice v 2D x-y do 80 cm/min (0,013m/s),
- rychlost posuvu broušícího zařízení v 3D x-y-z do 120 cm/min (0,02m/s),
- komunikace řídicího systému s obsluhou prostřednictvím dotykového barevného LCD displeje a joysticku v prostředí Microsoft Windows,
- automatické vyvaření zadané trajektorie výplňovým vzorem (obdélníkovým nebo trojúhelníkovým),
- během navařování umožnit změnu parametrů - rychlost svařování, napětí a proud obloku.

8.1 Popis řešení

Jako pohonné jednotky všech tří os byly vybrány hybridní dvoufázové krokové motory tuzemského dodavatele Microcon. Servopohon s krokovým motorem je možné navrhnout jako otevřený polohový, respektive rychlostní. Při vhodné volbě typu krokového motoru s ohledem na typ zátěže, vhodném způsobu řízení a buzení je servopohon spolehlivý, bez nebezpečí ztráty kroku. Výkonové stupně pro napájení krokových motorů jsou tvořeny řídicími deskami řady SD (Microcon). Tyto desky jsou řízeny vnějšími signály - PULSY (JOG) a SMĚR (DIR). Tyto desky kromě výkonové části obsahují sequencer (rozdělovač impulsů), obvody pro mikrokrokování a logiku pro režim snížené spotřeby při zastavení osy.

Všechny tři výkonové stupně jsou řízeny kartou PCL839 (Advantech [13]), která umožňuje nezávislé řízení až tří os současně.



Obr. 8.1 Hrubé blokové schéma řídicího systému.

Logické vstupy/výstupy řídicího systému jsou zajištěny kartou PCL725 (Advantech), vybavenou osmi reléovými výstupy a osmi optoizolovanými vstupy.

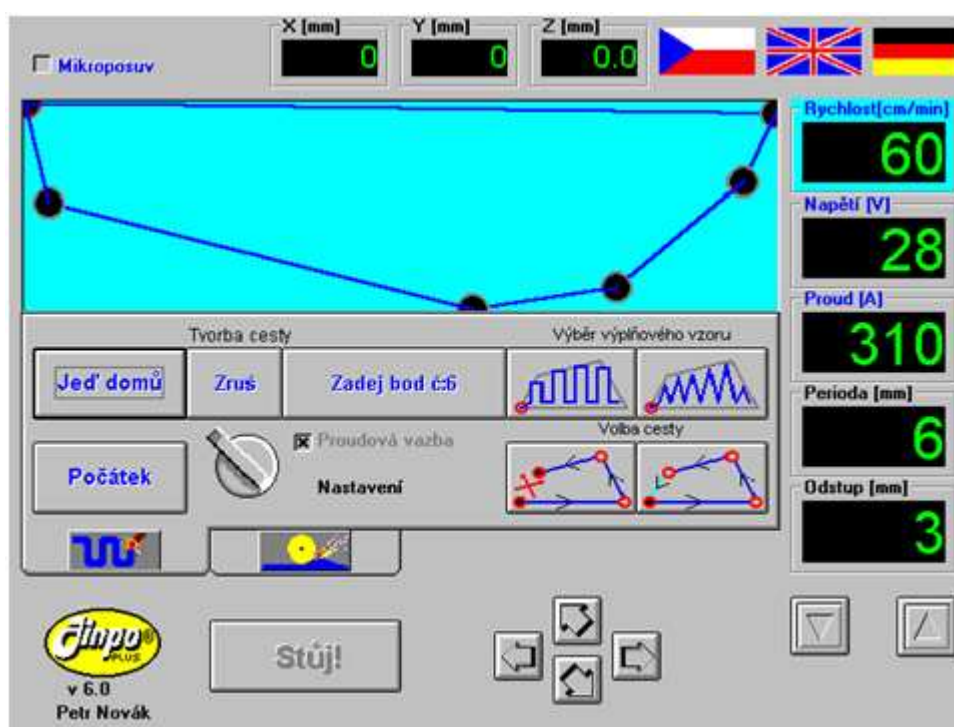
Jako řídicí počítač je použit panelové PC (Advantech) s barevným aktivním LCD displejem a dotykovou obrazovkou. Protože v standardní konfiguraci nemá počítač volné sloty, byl doplněn o expační box s dvěma volnými ISA sloty poloviční délky.

Z důvodu 100% integrace ovládání na dotykovou obrazovku včetně ovládání analogových parametrů svařovacího agregátu musí být řídicí počítač vybaven analogovými vstupy a výstupy. Protože však není pro kartu A/D a D/A převodníků již žádný volný slot, jsou tyto analogové kanály řešeny ve formě inteligentních distribuovaných modulů

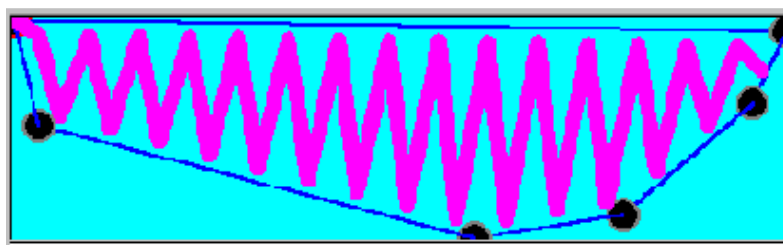
stavebnice ADAM řady 4000 (Advantech). Komunikace s těmito moduly probíhá přes průmyslové sériové rozhraní RS485. Toto řešení se ukázalo jako elegantní i z důvodů dalšího možného rozšiřování o další moduly. Hrubé blokové schéma řídicího systému je znázorněno na Obr. 8.1.

Celé technologické zařízení včetně diesel agregátu je mobilní a je umístěno v nákladovém kontejneru. Vlastní řídicí systém včetně budičů krokových motorů je nyní umístěn na vozíku navařovacího zařízení. (V původní verzi byl řídicí systém umístěn v nákladovém kontejneru.)

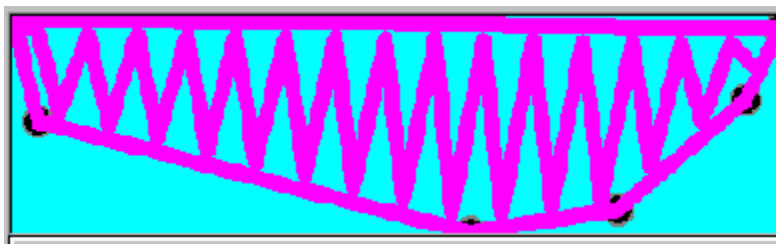
Jako programovací jazyk celé aplikace byl použit Microsoft Visual Basic. Některé časově kritické části programového kódu jsou napsány v jazyce C++ a přeloženy jako DLL knihovna. Funkce a procedury z této knihovny jsou pak volány z Visual Basicu. Příklady vizualizačních obrazovek jsou zachyceny na obrázcích níže.



Obr. 8.2 Celkový vzhled uživatelského rozhraní po naučení uzavřené trajektorie pro navařování.



Obr. 8.3 Vzhled trajektorie po navařování výplňovým vzorem „trojúhelník“ bez navaření ohraničující linie (výřez).



Obr. 8.4 Vzhled trajektorie po navařování výplňovým vzorem „trojúhelník“ včetně navaření ohraničující linie (výřez).

8.2 Bezpečnost řídicího systému

V tomto systému je řešení bezpečnosti řešeno ve dvou nezávislých WDT okruzích.

Použitá procesorová karta PCM-4865 je vybavena obvodem WDT, s pevně nastavenou občerstvovací periodou 1,6 s. Pokud není WDT v tomto intervalu periodicky občerstvován - operací čtení z I/O adresy 443H, je generováno (podle nastavení) buď přerušení IRQ15 nebo signál Reset²⁰. V této aplikaci je použito signálu Reset pro jeho maximální spolehlivost v porovnání s jinými typy přerušení.

V případě, že tedy nastane signál Reset v režii WDT, dojde ke stejné inicializaci použitých PC karet jako po zapnutí systému:

- Karta PCL839 je inicializována a všechny pohony se zastaví.
- Karta PCL725, která svými reléovými výstupy ovládá logiku zapálení/zhasnutí svařovací oblouku, reaguje na signál Reset přepnutím reléových výstupů (kontaktů) do klidové polohy. Tím je zaručeno, že dojde k přerušení oblouku.

Další zabezpečení systému je provedeno i na straně použitých modulů distribuovaného řízení řady ADAM4000. Moduly jsou také vybaveny obvodem WDT. Pokud není WDT periodicky občerstvován, dojde k nastavení výstupů D/A převodníků na nulovou hodnotu. Těmito analogovými výstupy jsou řízeny parametry napětí a proudu oblouku. Při jejich nastavení na nulovou hodnotu dojde tedy k zhasnutí oblouku.

8.3 Shrnutí

Výše popsaný řídicí systém pro pohyb navařovací hubice a brousícího zařízení je koncipován na panelovém PC s podpůrnými kartami a moduly. Jeho hlavní funkcí je ovládání tříosého otevřeného systému s krokovými motory, zajišťující pohyb navařovací hubice požadovanou rychlostí na pracovní ploše 1500x400 mm, dále brousícího zařízení v prostoru 1500x400x100 mm a nastavování a sledování parametrů navařovací technologie (ESAB Švédsko).

²⁰ Jedná zde o tzv. „Neřízené odstavení technologie“.

Poslední realizovaná verze verze má zabudovány podporu pro český, německý, francouzský, ruský a anglický jazyk. Zařízení byla nasazena v několika evropských státech.



Shrnutí pojmů 8.1.

- Jedná se o systém s pohony s krokovými motory.
- Řídicí systém komunikuje s technologickou vrstvou (zde technologie ESAB) standardním způsobem - prostřednictvím digitálních a analogových vstupů a výstupů.
- Díky použití modulů ADAM řady 4000, komunikujících přes sériové rozhraní RS485, je možné jeho snadné doplnění/úprava/rozšíření.
- Systém má koncepci bezpečností založenu také na WDT obvodech – viz text.
- Ovládání je prostřednictvím dotykové obrazovky. To také přináší výhodu snadné úpravy pro další jazyky, případně úpravu/změnu vzhledu ovládacích prvků.



Otázky 8.1.

1. Jak je u této aplikace řešena koncepce bezpečnosti a spolehlivosti?
2. Jak by se muselo řešit – v případě poruchy – tzv. „Řízené odstavení“?
3. Popisovaná technologie navařování využívá vysoké proudy (stovky ampér). Jak se toto může nepříznivě projevit na funkčnost/spolehlivost aplikace, respektive jeho řídicího systému? Dokážete vyjmenovat požadavky na návrh takového řídicího systému, který by byl odolný vůči možným nepříznivým vlivům protékajícího proudu s vysokou hodnotou?

9 ZÁVĚR

V současné době jsou kladeny stále větší požadavky na strojní konstruktéry a projektanty, aby jimi navrhovaná zařízení byla spolehlivá, levná a konkurenceschopná. Tato zařízení mají stále více charakter typický pro mechatronický systém, kdy se v něm v různé míře prolínají prvky strojní, elektrotechniky/elektroniky a řízení. Návrh současných moderních zařízení si lze těžko představit bez vzájemné synergie výše uvedených prvků. Není možné samozřejmě očekávat, že strojní konstruktér zvládne mimo špičkového strojního návrhu i návrh řídicího a senzorického subsystému daného zařízení, ale bude pro něho určitě přínosné, když se v základní problematice návrhu řídicího systému spodní úrovně dokáže orientovat.

Předložený text navazuje na jeho předchozí první část, která poskytuje základní informace nutné pro návrh, respektive specifikaci komponent řídicího systému spodní úrovně, který je bezprostředně navázán na řízený objekt, zařízení. Z široké nabídky typů řídicích systémů používaných pro spodní úroveň řízení byly zde popisovány řídicí systémy na bázi průmyslových PC neboli IPC. Jejich použití je v současnosti stále více prosazované z důvodů jejich univerzálnosti, výkonnosti a v neposlední řadě také přívětivosti a dostupnosti softwarových vývojových nástrojů. V jednotlivých kapitolách byla popsána specifika a základní typy řídicích systémů postavených na bázi IPC, následoval popis řešení styku IPC s binárním a analogovým okolím prostřednictvím zásuvných karet a některých distribuovaných modulů. Výklad byl doplňován ukázkami řešení jednoduchých úloh, včetně několika zadání úkolů k samostatnému řešení.

Návaznost tohoto textu spočívá v rozšíření kapitoly analogových vstupů, následují dvě důležité nové kapitoly popisující problematiku spolehlivosti řídicího systému postaveného na IPC, včetně základní terminologie. Tato část je také doplněna o velice zajímavý popis zahořování IPC u dvou výrobců, včetně ukázek dokumentace.

Řada mechatronických systémů bývá osazena víceosými pohony – typickými představiteli jsou různé automaty, manipulátory a roboty. Proto byla zařazena kapitola – bez nároků na úplnost – uvádějící příklady možného hardwarového ovládání víceosých systémů. Následující kapitola uvádí jednoduchý realizovaný projekt řízení víceosého systému – zde průmyslového robotu.

Jako příklad realizovaných řídicích systémů na bázi IPC jsou uvedeny dva projekty – Řízení pódiových stolů ve Smetanově síni Obecního domu v Praze a Řízení navařovacího zařízení. Tyto projekty jsou prezentovány jejich blokovým schématem s doprovodným vysvětlujícím textem a jsou doplněny o řadu praktických poznámek.

10 DALŠÍ ZDROJE



Další zdroje

Seznam další literatury, www odkazů apod., pro zájemce o dobrovolné rozšíření znalostí popisované problematiky.

- [1] <http://www.acrosser.com>
- [2] <http://www.icpamerica.com>
- [3] <http://www.ieiworld.com/>
- [4] <http://www.adlinktech.com/>
- [5] <http://www.icpdas.com>
- [6] <http://www.kotlin.cz/>
- [7] <http://www.opto22.com>
- [8] http://www.uzimex.cz/soubory/20090529_ads50-10_cz.pdf
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] NOVÁK, P. *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. 1.vydání, Praha: BEN – technická literatura, 2005, 248 stran. ISBN80-7300-141-1.
- [12] NOVÁK, P. a FOLDYNA, V. a KUBEL, Z. a HLAVATÝ, I. „Unikátní technologie“ (Rekonstrukce kolejového svršku navařováním autorem pod tavídkem bez předehřevu). *T+T Technika a trh* (časopis), 1998, č.5.
- [13] NOVÁK, P. PCL839 – PC karta pro řízení krokových motorů. In *Automatizace* (časopis), 1998, č.10.
- [14]
- [15] NOSKIEVIČ, P. *Technická dokumentace 4-NOR-0023*, Ostrava: NORTECH spol.s r.o.. Ostrava, 12 s.
- [16] ŽÁČEK, J. Elektromagnetická kompatibilita a projektování elektrotechnických systémů. In *Automatizace* (časopis), 1998, č. 1, s. 10-16.
- [17] Mite: (<http://www.mite.cz>)
- [18] <http://www.tedia.cz/>
- [19] <http://www.intel.com/design/flash/nand/extreme/index.htm>
- [20] <http://www.transduction.com>
- [21] <http://www.compulab.co.il/>
- [22] BODIN, J. Spolehlivost rozsáhlých řídicích systémů v praxi. In *Automatizace* (časopis), 1996, č. 10, s. 488-493.
- [23] STAŇEK, B. a KONEČNÝ, I. Trojnásobně redundantní řídicí a zabezpečovací systémy. In *Automatizace* (časopis), 1997, č. 2, s. 59-62.
- [24] Krokové motory a jejich řízení – Enika s.r.o. (firemní dokument) 2007/2008
- [25] ICPDAS: WDT-03 User's Manual, Dec/2007, Rev. 2.0, PMH011-10

-
- [26] Advantech: PCA-6011 PICMG 1.0 Full-sized Card, User manual, Part No. 2002601100, duben 2011
 - [27] TOMEK, L.: *Řídicí systém portálového robotu*. Diplomová práce. 56 stran, Katedra robototechniky, VŠB-TU Ostrava, 2010.
 - [28] ICPDAS: *PISO-PS400 Getting Started Manual*, Rev.3.1, 104 s., 2009.
 - [29] ICPDAS: *Software Manual for PISO-PS400*, Rev. 3.0, 128 s., 2009.

11 PŘÍLOHY

11.1 Pracovní postup při zahořování počítače

 ELVAC IPC s.r.o.	Pracovní postup PP-003 Postup při testování PC	Strana 5 z 5 Platnost od 13.5.2011
---	---	---------------------------------------

10. Zahoření

- 10.1. Osadte teplotní čidla a zakryjte počítač
- 10.2. Vložte PC do pece, zapněte jej a připojte k síti. Pro systémy kategorie AFOLUX zohledněte poslední bod tohoto odstavce. Pomocí aplikace BurnInLoader spustíte automatické testování systému s vhodným přednastaveným profilem podle hw konfigurace systému
- 10.3. Za plného provozu, nejdříve však 1 hodinu po zapnutí a za podmínky vyšší zahořovací teplotě v peci alespoň 1 hodinu, změřte teplotu na procesoru, HDD a v prostoru case pomocí digitálního teploměru, který připojíte k čidlům nalepeným v počítači
- 10.4. Naměřené teploty zapište na výrobní příkaz
- 10.5. Porovnejte, zda naměřené teploty nepřekračují meze stanovené pro bezpečný provoz daných typů součástek
- 10.6. Po 48-mi hodinách zkontrolujte funkčnost stanice a test ukončete (pokud jej automatické testování již neukončilo samo)
- 10.7. Vytiskněte zahořovací křivku zahořovací komory pro dobu testování daného počítače a tento výtisk přidejte k testovacím protokolům
- 10.8. Odlepte všechna teplotní čidla a jejich upevňovací nálepky
- 10.9. Popsaný postup zahoření neplatí pro počítače vybavené integrovaným displejem typu Afolux, případně jiným, u kterého hrozí poškození při dlouhodobém vystavení vyšším teplotám. U takových počítačů je způsob zahoření upraven takto:
 - stanice je testována rovněž min. 48 hodin testovacím SW (typicky BurnIn)
 - z těchto 48-mi hodin probíhá testování pouze 3 hodiny při zvýšené teplotě 40°C, zbylý čas probíhá při pokojové teplotě v následujícím režimu:
 - nejdříve se stanice „nahřeje“ na stole, tedy alespoň dvě hodiny testů při pokojové teplotě
 - následuje test v peci – 3 hodiny při vysoké teplotě (40°C) (pozor na zahořovací křivku v peci)
 - po vytažení z pece musí stanice běžet alespoň 24 hodin non-stop při pokojové teplotě
 - stanice se zahořují ve svislé poloze, aby nemohlo dojít k poškození displeje teplem

11.2 Výstupní protokol zahořování IPC



BurnInTest Certificate

Customer	
Report Date	04/09/11
Technician	
Generated by	BurnInTest Version V5.3 Pro

System summary

System component	Description
Computer Name	IPC20110409805
Operating system	Windows XP Professional Service Pack 3 build 2600
CPU type	Genuine Intel(R) CPU N270 @ 1.60GHz (1600.1 MHz)
RAM	1015 MB
Video card	Mobile Intel(R) 945 Express Chipset Family (Resolution: 800x600x32)
Disk drive	Model INTEL SSDSA2M040G2GC (Size: 37.3GB)
Optical drive	QSI CDRW/DVD SBW-242

Result summary

Test Start time	Thu Apr 07 10:29:39 2011
Test Stop time	Sat Apr 09 10:29:44 2011
Test Duration	048h 00m 05s

Test	Result
CPU - Maths	PASS
CPU - SIMD	PASS
Memory (RAM)	PASS
2D Graphics	PASS
Network 1	PASS

TEST RUN PASSED

Notes

Certification

This document certifies that the Tests described above have been carried out by a suitably qualified technician on the System described above.

11.3 Výstupní protokol zahořování IPC se závadou



BurnInTest Certificate

Customer
Report Date 06/21/10
Technician
Generated by BurnInTest Version V5.3 Pro

System summary

System component	Description
Computer Name	IPC20100608696
Operating system	Windows XP Professional Service Pack 3 build 2600
CPU type	Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 2.40GHz (2399.1 MHz)
RAM	1007 MB
Video card	Intel(R) 82865G Graphics Controller (Resolution: 800x600x16)
Disk drive	Model WDC WD2502ABYS-02B7A0 (Size: 233.8GB)
Optical drive	QSI CDRW/DVD SBW-242

Result summary

Test Start time Fri Jun 18 15:06:32 2010
Test Stop time Mon Jun 21 09:06:37 2010
Test Duration 066h 00m 05s

Test	Result
CPU - Maths	PASS
CPU - SIMD	PASS
Memory (RAM)	FAIL
2D Graphics	PASS
Disk (C: ELVAC)	PASS
Network 1	PASS

TEST RUN FAILED

Notes

Certification

This document certifies that the Tests described above have been carried out by a suitably qualified technician on the System described above.

11.4 Protokol o zahoření

Protokol o zahoření průmyslového počítače

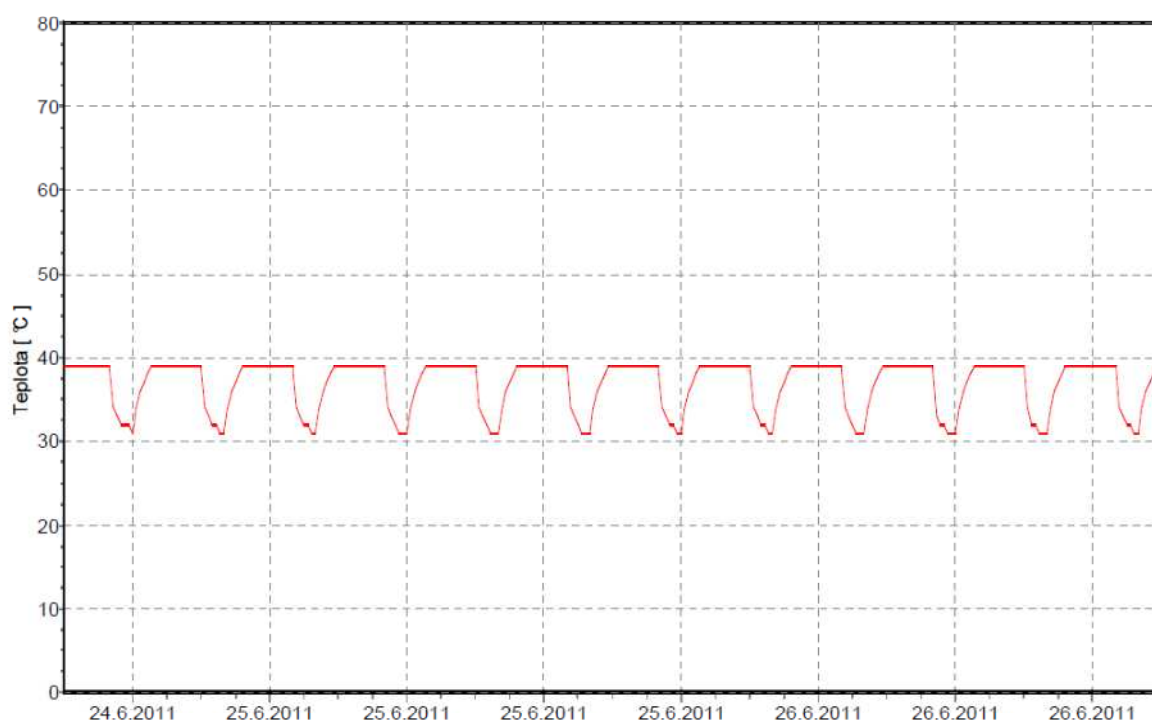
Výrobní číslo : IPC20110610121

Začátek zahořování : 24.6.2011 15:00:00

Zákazník : AŽD Praha s.r.o.

Konec zahořování : 26.6.2011 15:00:00

Záznam teploty během zahořování systému



Test reinicializace při ztížených tepelných podmínkách

☐

Test reinicializace po ochlazení na teplotu okolního prostředí

☐

Zahoření provedl:

ELVAC IPC s.r.o., Hasičská 53, Ostrava - Hrabůvka

11.5 Protokol o zahoření

Protokol o zahoření průmyslového počítače

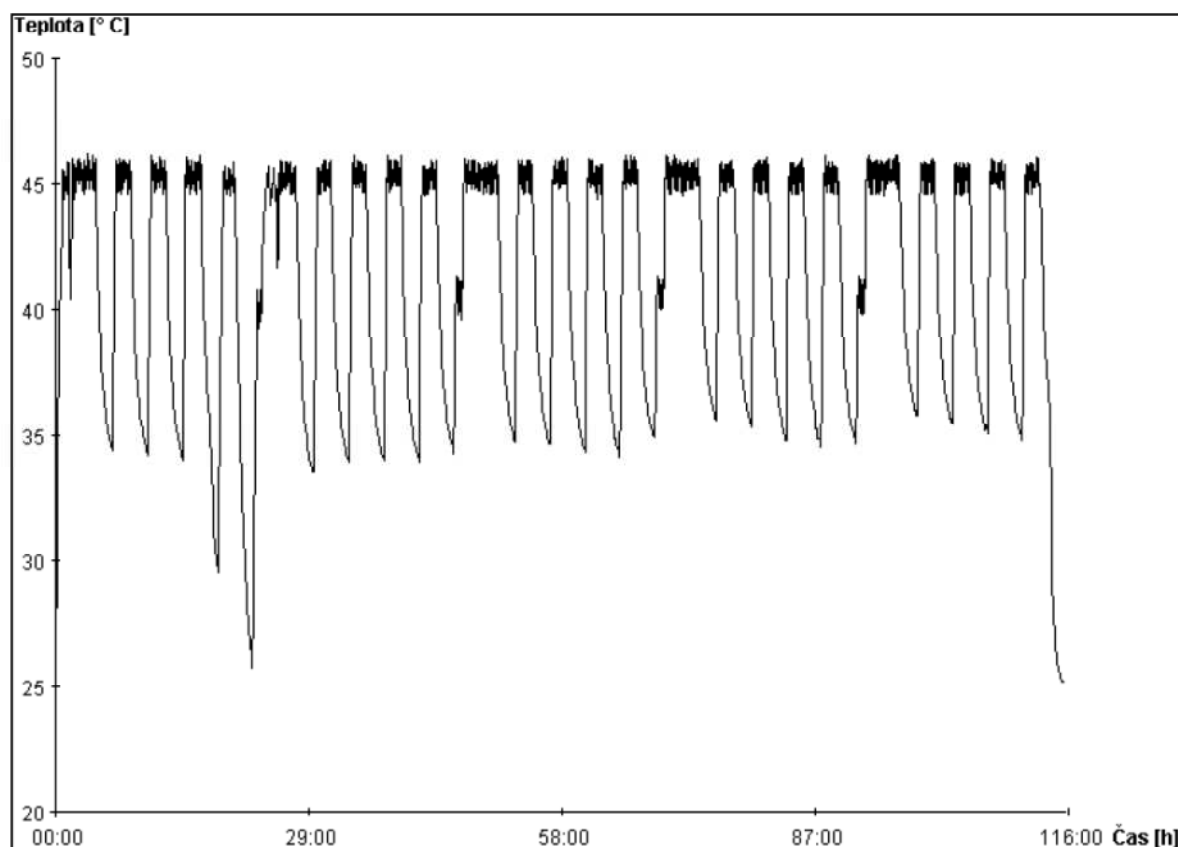
Výrobní číslo počítače: **110367**

Začátek zahořování: **08.06.2011 v 13:01**

Zákazník: **AutoCont CZ a.s. centrala**

Konec zahořování: **13.06.2011 v 08:06**

Záznam teploty během zahořování IPC systému:



Test reinicializace při ztížených podmínkách

☐

Test reinicializace po ochlazení na teplotu okolního prostředí

☐

Zahoření provedl:

Deska CD30M má pouze jedno neregulované napájení v rozsahu od 12V do 48V DC (kapacita 5000 μ F na desce) a obsahuje interní spínací zdroj pro napájení řídicích obvodů.

Spínače DIP8

ON = LOW – logická nula

OFF = HIGH – logická jedna

Pokud je pin konektoru používán jako vstup uživatelem připojeného signálu nebo jako výstup, pak na desce k němu připojený DIP spínač musí být rozpojen – v poloze OFF. V poloze ON je na příslušný pin přímo připojena zem – GND.

Spínač číslo	Spínač DIP8A	Spínač DIP8B
1	ADDR0/B18	B1
2	ADDR1/B19	B2
3	ADDR2/B20	B3
4	ADDR3/B21	B4
5	Amplituda proudu motoru – LSB (nejnižší váha) viz tabulka „Nastavení proudu motorů“	B5/BR0
6	Amplituda proudu motoru	B6/BR1
7	Amplituda proudu motoru	B7
8	Amplituda proudu motoru	Limit

Nastavení proudu motoru

Spínač číslo 8	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
Spínač číslo 7	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
Spínač číslo 6	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
Spínač číslo 5	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
Amplituda proudu [A]	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5	1,8	2	1,8	1,6*	1,4	1,2	1	0,7	0,4

* Počáteční nastavení

Při poloze OFF spínače č. 8 dochází po zastavení motoru k automatickému snížení proudu motoru na hodnotu odpovídající poloze ON spínače č. 8 (viz parametry koncového stupně).

Při zasunutém jumperu J12 a při poloze OFF spínače č. 7 dochází po zastavení motoru také k automatickému snížení proudu motoru na hodnotu odpovídající poloze ON spínače č. 7.

Spínací tlačítko R

Připojuje úroveň logická jedna na vstup Reset kontroléru.

Desky typu CD jsou v základním provedení osazeny kontrolérem M1486E1.

Hardwarový reset se na desce CD30M osazené kontrolérem M1486E1 provádí stisknutím resetovacího tlačítka při všech adresových vstupech (ADDR0 až ADDR3) ve stavu log. nula. Adresové vstupy se na hodnotu log. 0 nastaví sepnutím spínačů DIP8A 1 až 4 do polohy ON.

Pokud je alespoň jeden adresový vstup ve stavu log. 1, pak se po stisku resetovacího tlačítka znovu provádí od začátku nahraný povelový soubor.

Cannon 9M – 1

Standardní RS232 konektor pro spojení s nadřazeným počítačem. Sériová linka je galvanicky oddělena.

Přenosová rychlost standardně nastavena na desce na 4800 Bd.

Cannon 9M – 2

Standardní RS232 konektor pro spojení s případnou další deskou nebo modulem vybaveným kontrolérem M1486 přes RS232. Sériová linka je galvanicky oddělena od desky, je na společném potenciálu s RS232 IN.

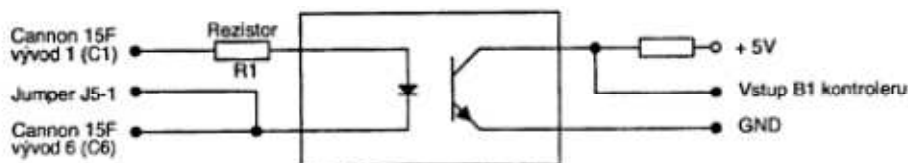
Cannon 15F

Funkce: uživatelský konektor pro pět vstupních a čtyři výstupní signály.

Na vývody uživatelského konektoru 1 až 10 (C1 až C10) se připojí uživatelské vstupy, na vývody 11 až 14 (C11 až C14) uživatelské výstupy desky CD30M.

Uživatelské vstupy

Vstupní signály jsou galvanicky odděleny optočleny a přivedeny na vstupy B1, B2, B3, B4 a Limit (B5).



Shodně se zapojením uživatelského konektoru Cannon 15F C1 a C6 se vstupem B1 přes rezistor a optočlen jsou zapojeny i ostatní uživatelské vstupy:

anoda optočlenu	C1	C2	C3	C4	C5
katoda optočlenu	C6	C7	C8	C9	C10
připojený uživatelský vstup	B1	B2	B3	B4	LIMIT (J8 v poloze 2-3) B5 (J8 v poloze 1-2)

Logické nule na vstupu kontroléru odpovídá stav ON vstupní diody optočlenu – log. 1 na anodě (C1) a log. 0 na katodě (C6). Na desce CD30M je možné vypnout koncový stupeň pomocí povelu **Clear 7** (C7) a znova ho zapnout povelu **Turn On 7** (T7).

V případě potřeby je možné vypínání koncového stupně invertovat zasunutím jumperu J13 do polohy 2-3. Při poloze 2-3 jumperu J13 je koncový stupeň po zapnutí napájení vypnut a povelu Clear 7 (C7) je možné ho zapnout.

Pro napěťovou úroveň vstupů 0; 24 V je vhodná hodnota rezistorů R1 až R5 3k3 (osazená na desce). Změnou hodnoty rezistorů z 3k3 na 560 Ω je možné změnit napěťovou úroveň vstupů na 0; 5 V.

Uživatelské výstupy

Výstupy B18 – B21 kontroléru M1486 jsou zesíleny výstupním budičem a pak přivedeny na výstupy uživatelského konektoru Cannon 15F podle následující tabulky:

uživatelský výstup kontroléru M1486	B18 (J10 v poloze 1-2) BOOST (J10 v poloze 2-3) – signalizace pohybu motoru	B19	B20	B21
připojený pin konektoru Cannon 15F	C11	C12	C13	C14

Nastavení výstupního napětí

Výstupního napětí je nastaveno jumperem J7. Počáteční nastavení je poloha 4-5 24VDC

poloha jumperu J7	1-2	4-5	3-4
Výstupní napětí	5 V	24 V	napětí ze zdroje

Při poloze 4-5 jumperu J7 je minimální napájecí napětí 27 V.

Výstupní napětí zvolené jumperem J7 je také připojeno přímo na pin 15 uživatelského konektoru Cannon 15F.

Povolený odběr z interního zdroje 5V nebo 24V je do 100 mA.

CD30M

Deska CD30M je standardně vybavena budičem s otevřeným kolektorem ULN2003, $V_{sat} < 1V$. Maximální dovolené zatížení výstupu je 50 VDC, 100 mA.

Pokud není jumper J7 zasunut, všechny výstupy jsou s otevřeným kolektorem. Při tomto nastavení je nutné také vyjmout síťové rezistory o hodnotě 4k7 u obvodu ULN2003.

Při zasunutém jumperu je na výstupy přivedeno napětí dle výše uvedené tabulky přes síťové rezistory o hodnotě 4k7.

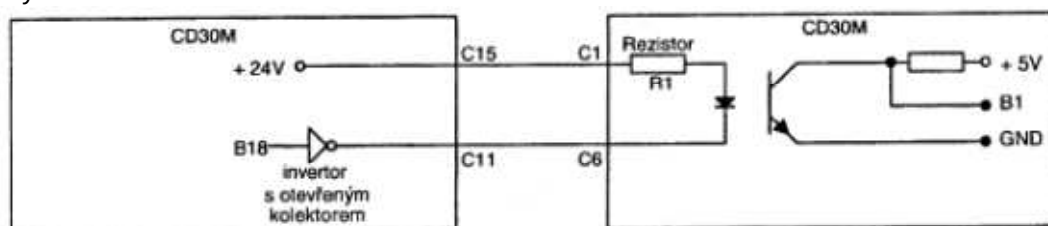
CD30M-A1

Provedení desky CD30M-A1 má výstupy aktivní v log. 1.

Napěťová úroveň výstupů 5 nebo 24 V je nastavena jumperem J7 dle výše uvedené tabulky.

Jumper J7 musí být zasunut a síťové rezistory o hodnotě 4k7 u konektoru Cannon 9M-1 musí být vyjmuty na desce CD30M-A1 – upraveno při výrobě. Maximální dovolené zatížení jednotlivých výstupů je 40 mA.

Doporučené propojení výstupů (v příkladu B18) se vstupy (v příkladu B1) mezi deskami CD30M či obdobnými.



Adresový vstup nastavený na log. 0 není možné bez dalšího přizpůsobení použít jako programovatelný výstup vzhledem ke sdílení programovatelných výstupů B18 – B21 s adresovými vstupy ADDR0 až ADDR3.

Počet adres	1	2	4	8	16
Nejmenší počet volných výstupů – deska s nejnižší hodnotou adresy	4	3	2	1	0
Největší počet volných výstupů – deska s nejvyšší hodnotou adresy	4	4	4	4	4

Např. při volbě ze dvou adres je zapotřebí jeden vstup v log. 0 – ADDR0, ostatní mohou být v log. 1.

Na desce s adresou 16 (F) jsou tedy k dispozici všechny výstupy B18 – B21, na desce s adresou 15 (E) jsou k dispozici 3 výstupy B19 – B21.

Jumpery J1 – J6

Piny č. 2 jumperů J1 až J6 jsou spojeny. Je tedy možné přivést pouze jednu galvanicky oddělenou zem (jedním z jumperů J1 až J5) a na další optočleny ji rozvést zasunutím odpovídajícího jumperu (J1-1 spojen s C10, J2-1 s C9, J3-1 s C8, J4-1 s C7, J5-1 s C6).

V případě využití vstupních optočlenů pouze pro změnu napěťové úrovně, nikoli pro galvanické oddělení, je možné na společné piny č. 2 jumperů J1 až J5 přivést zem desky CD30M zasunutím jumperu J6. Sníží se však odolnost proti rušení, doporučené nastavení jumperu J6 – nezasunut.

Parametry řídicího stupně

- viz uživatelský manuál kontroléru M1486
- dělení kroku na max. 4 mikrokroky
- na desce využito mikrokrokování – mód dva DAC, nejsou tedy k dispozici vstupy / výstupy kontroléru B8 – B17
-

Parametry koncového stupně

- max. napětí	48VDC
- max.amplituda proudu	3,3A
- min. indukčnost vinutí	2 mH
- skladovací teplota	-20°C až +105°C
- provozní teplota	0°C až +40°C

Nejvyšší dovolená teplota chladiče je 80°C. Teplotní odpor chladič-okolí činí 3°C/W. V závislosti na teplotě okolí a podmínkách napájení může být potřebný přídatný chladič či nucená ventilace. Vzhledem k tomu, že statický moment krokového motoru je vyšší než provozní moment krokového motoru a vzhledem k tomu, že při pohybu je nutno překonávat třecí síly, je pro snížení tepelné zátěže použito automatické snížení proudu motoru po zastavení (za předpokladu, spínač č. 8 na DIP8A je v poloze OFF).

Připojení motoru

Deska je určena pro bipolární krokový motor. Vývody motoru se připojují zasouvací svorkovnicí. Lze zasunout dvěma způsoby. Je třeba zasunout tak, aby šroubky svorkovnice byly rovnoběžné s nasouvacími kolíky a plastová lišta mezi kolíky zapadla do zářezu ve svorkovnici.

Při vypnutém napájení není možné otáčet připojeným krokovým motorem (např. manuálním posuvem), neboť může dojít ke generování napětí na napájecích přívodech mimo povolený rozsah napájecího napětí.

Před případným odpojením vývodů od desky je třeba vypnout napájení desky, aby proud vinutí (protéká i když motor stojí) klesl na nulu. Teprve pak je možné motor odpojit, neboť již nevznikne napěťová špička v důsledku přerušení proudu v obvodu s velkou indukčností (vinutí motoru).

Napájení

Stejnoseměrné napájecí napětí 12 až 48 V. Nejvyšší přípustné překročení max. napětí ve špičkách 4 %.

Maximální celkový odběr z interního zdroje 5V (podél uživatelské plochy) je 100 mA.

Napětí nemusí být stabilizované, na desce je osazena kapacita 5G.

Napájení se připojuje přes zasouvací svorkovnici, způsob zasunutí viz připojení motoru.

Pozn. I/O B1 – B7 a vstup limit kontroléru M1486 jsou ošetřeny připojením na +5V přes sběrníkový rezistor o hodnotě 1kΩ.

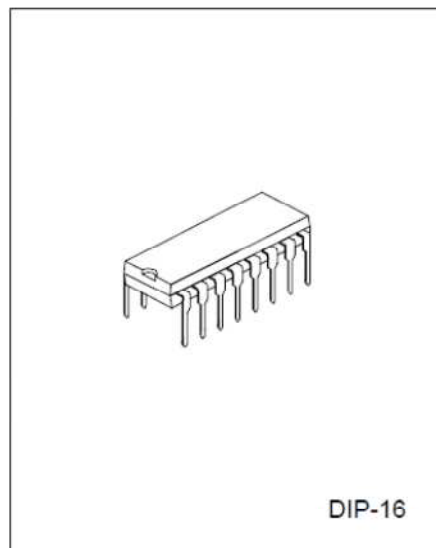
Při připojení vnějších prvků k desce CD30M je nutné zajistit, aby nemohlo dojít k překročení specifikací připojených obvodů na desce, zejména M1486, např. v důsledku rušení.

Zvláště je důležité dodržet obecné zásady návrhu elektrotechnických zařízení, zejména nevytváření zemních smyček, co nejkratší délka spojů, galvanické oddělení signálů optočleny a případné stínění.

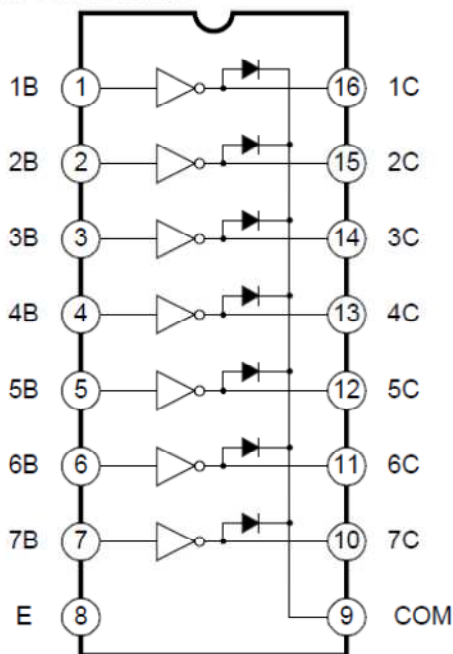
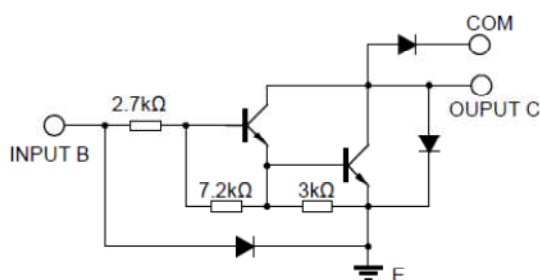
ULN2003**LINEAR INTEGRATED CIRCUIT****HIGH VOLTAGE AND HIGH CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY****DESCRIPTION**

The ULN2003 is a monolithic high voltage and high current Darlington transistor arrays. It consists of seven NPN darlington pairs that features high-voltage outputs with common-cathode clamp diode for switching inductive loads. The collector-current rating of a single darlington pair is 500mA. The darlington pairs may be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED gas discharge), line drivers, and logic buffers.

The ULN2003 has a 2.7k Ω series base resistor for each darlington pair for operation directly with TTL or 5V CMOS devices.

**FEATURES**

- * 500mA rated collector current (Single output)
- * High-voltage outputs: 50V
- * Inputs compatible with various types of logic.
- * Relay driver application

LOGIC DIAGRAM**SCHEMATIC (EACH DARLINGTON PAIR)**

11.7 Program BURNOS

Program slouží pro ovládání školního laboratorního tříosého manipulátoru s pohony s krokovými motory a ovládanými moduly CD30M.

Tento program je ve zdrojovém tvaru také k dispozici na řídicím počítači daného pracoviště!