INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ

PRŮMYSLOVÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2013

ISBN 978-80-248-3032-2

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

OBSAH

1 SPOLEHLIVOST ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

OBSAH KAPITOLY:

MOTIVACE:

Cílem této přednášky je orientačně seznámit posluchače s problematikou řešení spolehlivosti řídicího systému na bázi IPC.

Budete umět:

- chápat význam základních spolehlivostních ukazatelů,
- zohlednit požadavky kladené na spolehlivost při návrhu řídicího systému/výběru jeho komponent,
- navrhnout jednoduchou koncepci spolehlivosti řídicího systému.

Rovněž si doplníte odbornou terminologii z této oblasti.

1.1 ÚVOD

Spolehlivost spolu s pohotovostí[1] 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.

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 období[2], obvykle za jeden milion provozních hodin.

Pro vyjádření spolehlivosti se častěji používá její vyjádření pomocí parametru MTBF – střední doba mezi poruchami (převrácená hodnota intenzity poruch). Její hodnota bývá např. pro procesorovou kartu zhruba 40 – 60 tisíc hodin – podle typu.

Audio 1.1 Úvod

Spolehlivost spolu s pohotovostí 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.
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,
- **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 (zahrnuji 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.

---

[1] 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.

[2] v oblasti technického života ve vanové křivce

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. 1.1 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 časné poruchy, projevující se v počátečním období provozu,
  - software (operační systém a vlastní aplikační – řídicí program, absence zálohování,…).

Časový průběh změn parametrů

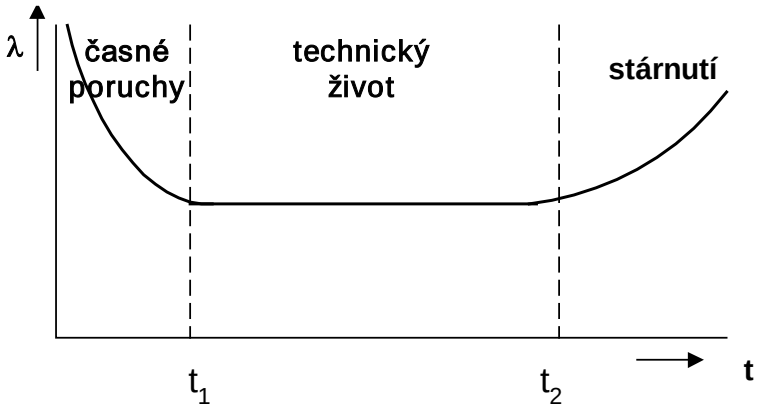
- poruchy náhlé, projevující se prudkou změnou jednoho, nebo i více parametrů zařízení (napájecí obvody…),
- poruchy postupné – např. v důsledku stárnutí nebo opotřebení (pevný disk…). Zatímco poruchy náhlé se předvídat nedají, je předvídání postupných poruch častou úlohou teorie spolehlivosti,
- poruchy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

1.1.1 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 období3, obvykle za jeden milion provozních hodin.



Obr. 2 Průběh intenzity poruch – vanová křivka, její tvar platí zejména pro elektronické komponenty.

Pro období technického života v intervalu <t1, t2> s exponenciálním zákonem rozdělení platí: λ(t) = λ = konst. , a lze používat následující vztahy:

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

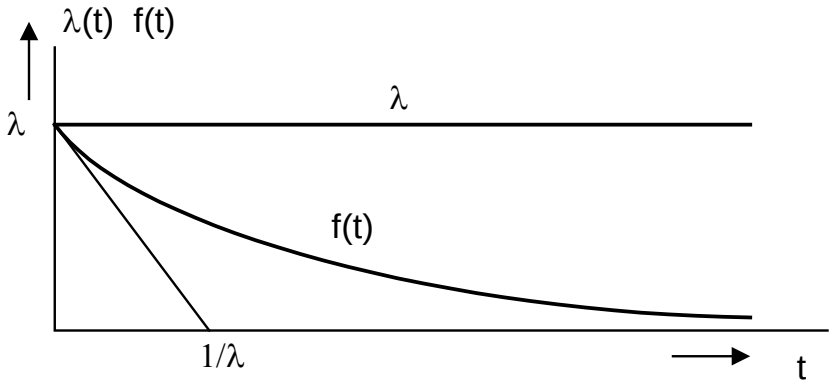
Pravděpodobnost bezporuchového provozu:

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

Hustota pravděpodobnosti poruch:

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

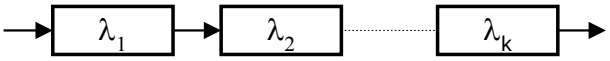
[3] v oblasti technického života ve vanové křivce



Obr. 3 Průběhy ukazatelů λ(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.

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



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 [4]) se vypočítá jako převrácená hodnota intenzity poruch,

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

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

Nebezpečná MTBF (dangerous), značená MTBFd, 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.

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

kde TO je celková doba potřebná na opravy,
NP je celkový počet poruch.

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

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

kde TBP je celková doba bezporuchového plnění funkce,
TP je celkový uplynulý čas.

Lze ji vypočítat také z MTBF a MTTR:

[4] též se používá značení T_S

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

Předpokladem správného výpočtu intenzity poruchy jsou správné výchozí hodnoty intenzit poruch λi jednotlivých komponent, respektive jejich hodnoty MTBF. V současné době tyto hodnoty „lepší“ výrobci komponent průmyslových PC zveřejňují u vybraného sortimentu.
Problematika tzv. ***inherentní spolehlivosti*** *v období časných poruch a technického života <0,t2> je komplikovanější.*

1.2 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)

Tab. 1 Některé faktory ovlivňující spolehlivost řídicího systému

Faktor	Popis	
Dělba 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[5], … .
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	Redundance, tj. zajištění záložních prostředků, které převezmou funkci v	

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

zálohování	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.

1.2.1 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.

1.3 VYBRANÉ ZPŮSOBY ZABEZPEČENÍ SPOLEHLIVOSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU S IPC

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

1.3.1 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 oC; případně –40 až 85 oC,
- relativní vlhkost 10 až 90 % (bez kondenzace),
- elektrické krytí až IP 65/68 pro mokré a prašné prostředí,
- periferie přizpůsobené průmyslovým podmínkám.

1.3.2 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.

Tab. 2 Příklady hodnot MTBF u některých komponent.

Komponenta	MTBF [hodiny]	Poznámka
AC100-240V 200W W/PFC ATX	84000	Napájecí zdroj
PCI-1710	65000	PCI měřicí karta
SBC-iAM	100000/50 °C	mini-ATX deska s procesorem Intel Atom

		Z550 CPU @2.0GHz
PCA-6147	81000/25 oC 20900/60oC	CPU karta
AWS-850	50000	Průmyslová pracovní stanice (bez CPU)
MiPC-70, PPC-100T	50000 (10000)	Panelové PC s LCD displejem (bez CPU) (zdroj podsvětlení LCD)
Intel X25-E Extreme	2000000/50°C	-

Hodnoty MTBF uváděné u průmyslových pracovních stanic a panelových PC jsou typicky udávány v hodnotě 50000 hodin, takže s touto hodnotou lze počítat i u IPC, kde MTBF není uvedena (například komponenty a sestavy IPC firmy AXIOM). Někteří výrobci namísto konkrétní hodnoty uvádějí „prodloužená" hodnota MTBF.

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).

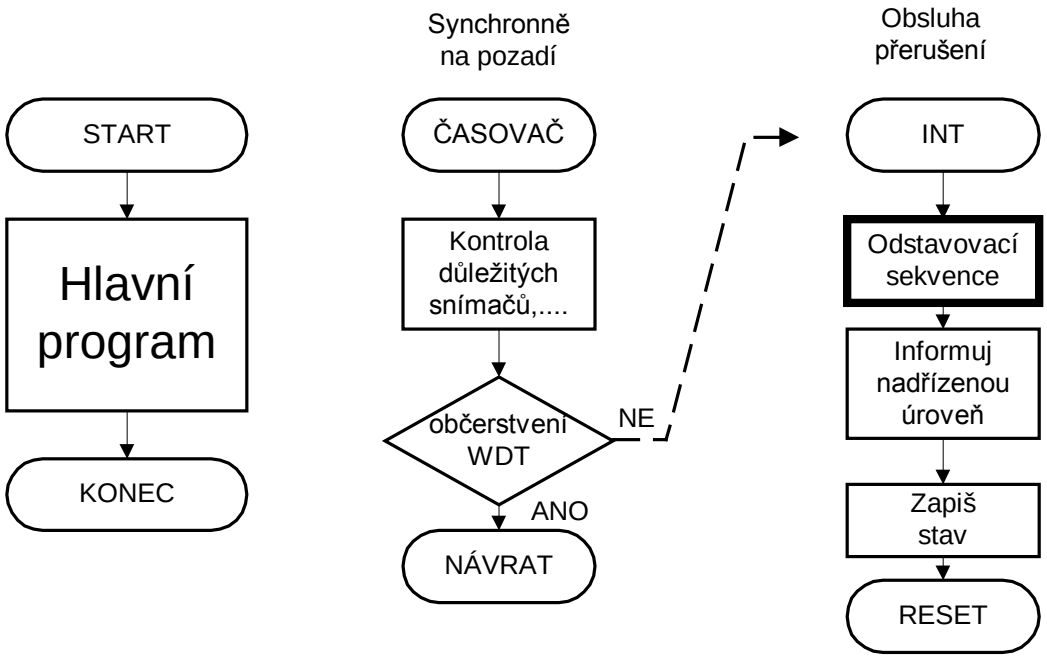
1.3.3 Zahoření

Z pohledu na tvar vanové křivky (Obr. 2) vyplývá, že v jejím počátku do doby t1 je průběh intenzity poruch nepříznivý. 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 PC osazeného všemi potřebnými kartami podle ověřených postupů, včetně vystavení protokolu o provedených testech a dále do etapy zkušebního provozu daného projektu.

1.3.4 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 standardní součástí CPU karet do průmyslového PC. 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, popřípadě signál RESET.



Obr. 4 K vysvětlení obvodu „WDT“ – jeden z možných případů.

1.3.5 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:

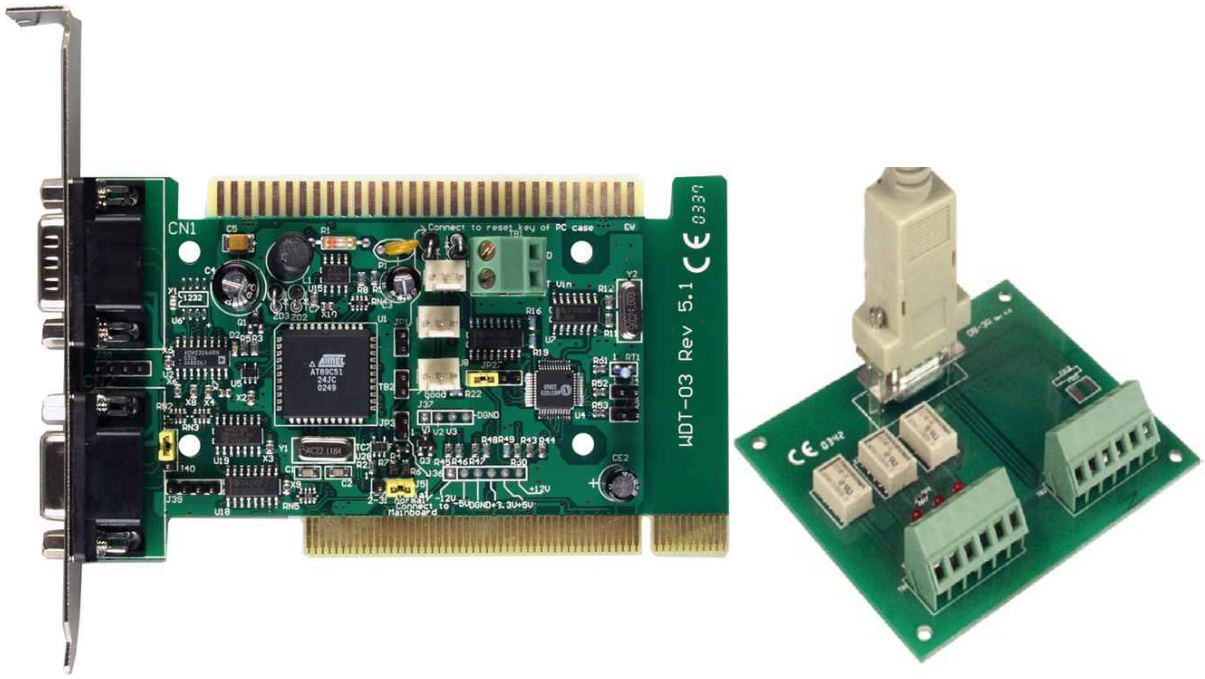
- automaticky – v režii karty reagovat,
- upozorňovat nadřízenou úroveň řízení.

Mezi sledované hodnoty patří:

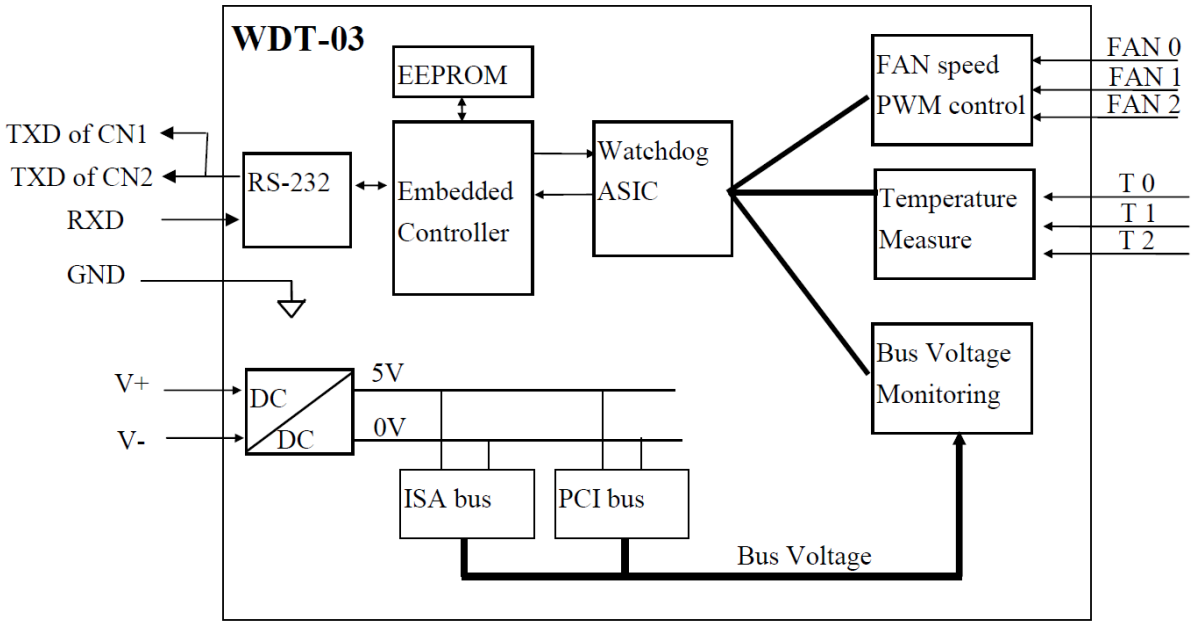
- tolerance napájecích napětí 3.3V, 5V, 12V, -5V, -12Vna ISA/PCI sběrnici,
- měření otáček tří ventilátorů,
- řízení otáček tří ventilátorů (prostřednictvím PWM výstupů),
- hodnoty tří teplotních senzorů,
- WDT obvod pro monitorování stavu host počítače (řídicího systému) s nastavitelnou periodou od 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.

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.
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 (na externím modulu této karty – viz obrázek).



Obr.5 Karta WDT-03 spolu s dceřinou deskou DB-3R (vpravo).



Obr.6 Blokové schéma karty WDT-03 (bez zakreslených 3xDI a 3xDO).

1.3.6 Teplota

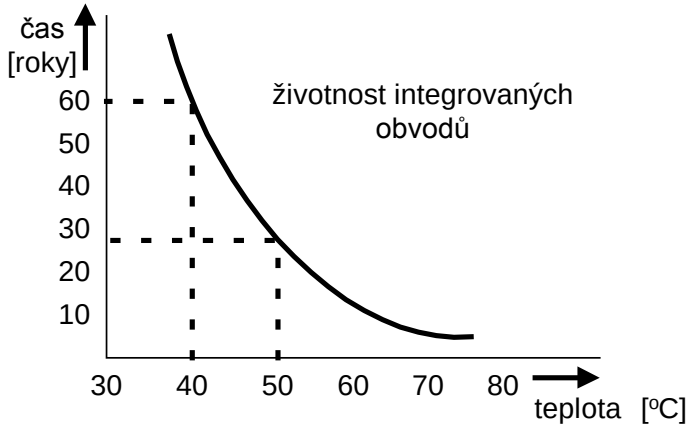
Okolní pracovní teplota průmyslového počítače bývá zpravidla výrobci zaručována v rozmezí od 0 do 50-60°C. Při požadavku na nasazení v širších teplotních rozsazích je výběr vhodných komponent omezen. Existují systémy – například výrobky řady PC4 a PC5compact společnosti or Industrial Computers, pracující 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 vyjímečnosti.
Pokud má tedy počítač pracovat i v teplotním prostředí mimo povolené teplotní rozsahy, případně při teplotách zaručující příznivější hodnotu MTBF (Tab. 3 a Obr. 7), musíme věnovat pozornost tepelnému režimu skříně, v které je zabudován.

Tab. 3 Příklady hodnot MTBF u CPU karty PCA-6147 pro různé pracovní teploty

Komponenta	**MTBF** [hodiny]	**Teplota** [^{o}C]
PCA-6147	81000	25 oC
	20900	60oC

1.3.7 Tepelný režim ve vnitřku skříně –

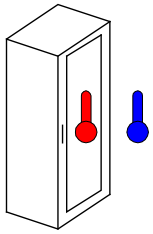
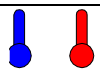
Při umístění IPC do rozváděčové skříně v provozu – což je nejčastější způsob, si musíme uvědomit, že uvnitř skříně dochází k výkonovým ztrátám ve formě produkování tepla samotným počítačem, dále monitorem a dalších elektrických komponent (stabilizované zdroje, transformátory atd.). Podle velikosti těchto 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. 7 Závislost životnosti IO na pracovní teplotě

Tab. 4 Způsoby řešení tepelných pracovních podmínek IPC umístěného ve skříni (uvedené výkony vztaženy k 19´´skříni o výšce 1,8m.)

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

1.4 CVIČENÍ

Samostatná práce:

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

Návod: Využijte některou z nabízených WDT karet, prostudujte její parametry – zda vyhovují zadání, na stránkách výrobce si pak stáhněte příslušný datasheet karty a navrhněte hrubé propojovací schéma s požadovaným ovládáním napájení řízené technologie.

Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám.

Konstrukce průmyslového PC, její vliv na spolehlivost. Ukazatele spolehlivosti. MTBF, MTTR, vanová křivka. Význam zahořování. Bezpečnost a diagnostika řídicího systému (místní, a dálková).

Kontrolní otázky:

1. Jaký je vtah mezi intenzitou poruch a MTBF?
2. Co je MTBF a jaký je má rozměr?
3. Co je koncepce bezpečnosti fail-safe a life-safe?
4. Nakreslete a popište typickou vanovou křivku. Čeho se týká?
5. Co je WDT? Jaký je princip činnosti?
6. Co WDT zpravidla monitoruje?
7. Jak reaguje WDT obvod na své „neobčerstvení“.
8. Jak je u WDT karty zajištěno, že může monitorovat IPC (řídicí systém) i v případě jejho totální poruchy – včetně napájení.
9. Co je účelem zahořování? Proč je pro zákazníka/uživatele výhodné?

2 LITERATURA

[1] Advantech *ADAM 4000 Series User's Manual*. (Uživatelský manuál Advantech), Taiwan: Advantech, 1997.

[2] PC/104 consortium - http://www.pc104.org

[3] http://www.pc104.com

[4] http://www.rtd.com

[5] VOJÁČEK, A.: Základní typy jednodeskových počítačů - Embedded SBC (http://automatizace.hw.cz/plc-automaty/ART305-zakladni-typy-jednodeskovych-pocitacu--embedded-sbc.html)

[6] http://www.acrosser.com

[7] http://www.icpamerica.com

[8] http://www.ieiworld.com/

[9] http://www.adlinktech.com/

[10] http://www.icpdas.com

[11] http://www.kotlin.cz/

[12] http://www.opto22.com

[13] http://www.uzimex.cz/soubory/20090529_ads50-10_cz.pdf

[14] Screw Terminal Boards for PC based I/O Boards (Daughter Boards) (http://www.icpdas.com/products/DAQ/pc_based/pc_based_io.htm#4)

[15] Pololu1186: (http://www.pololu.com/catalog/product/1186%20target=)

[16] SG-3011: (http://www.icpdas.com/products/DAQ/signal/sg-3011.htm)

[17] National Instruments: *Measuring Strain with Strain Gages – tutorial*. (http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3642)

[18] Advantech *PCL-812PG, Enhanced Multi-Lab Card*. (manuál k multifunkční kartě PCL-812-PG), Taiwan: Advantech, 1994, 173 p.

[19] Sigma-delta converters: (http://www.numerix-dsp.com/appsnotes/APR8-sigma-delta.pdf)

[20] katalog Sick/Stegmann – irc senzor DKS40 (http://www.compel.ru/pdf/SICK/DKS40.pdf)

[21] VRBA. K. a kol.: Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu. Skriptum VUT Brno, 131 s., 2006

[22] Advantech *PCL-818L User's Manual*. (Uživatelský manuál), Taiwan: Advantech, 1995.

[23] http://www.omegaoptics.com/Technology%20-%20Backplane.asp

[24] ICP *Icp – Design & Manufacture* (katalog). Taiwan: ICP, 2010.

[25] NOVÁK, P. a NOSKIEVIČ, P. a KLEN, P. Řídicí systém pódiových stolů ve Smetanově síni v Obecním domě v Praze. In *XX.Seminář ASŘ 97- Počítače v měření, diagnostice a řízení, mechatronika*" (sborník). Ostrava: VŠB-TUO, 1997, s. 36/1-7, ISBN 80-02-01153-8.

[26] NOVÁK, P. Řídicí systém automatického řízení pohybu navařovací hubice při renovaci exponovaných míst kolejnic navařováním. In *XX.Seminář ASŘ 97- Počítače v měření, diagnostice a řízení, mechatronika"* (sborník). Ostrava: VŠB-TUO, 1997, s. 24/1-3, ISBN 80-02-01153-8.

[27] ŽÁČEK, J. Elektromagnetická kompatibilita a projektování elektrotechnických systémů. In *Automatizace* (časopis), 1998, č. 1, s. 10-16.

[28] Mite: (http://www.mite.cz)

[29] FIREMNÍ ČLÁNEK. Měření teploty v silech. In *Automa* (časopis) 1999, č. 5-6, s.32.

[30] wikipedia: http://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk

[31] Vaughan, J.: *Application of B&K Equipment to Strain Measurements*. Bruel&Kjaer, Dánsko 1975

[32] KLABOCH, L.: *Experimentální metody*. Skriptum fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT Praha, 1982.

[33] HÁZE, J. a spol. *Teorie vzájemného převodu analogovéhoa číslicového signálu.* (skriptum). FEKT VUT V Brně, 139 s., 2010.

[34] ŠTEFAN, R. Měřicí karty – jak správně vybírat. Au *Automa* (časopis) 2004, č.7, s.32.

[35] ICP DAS PCI-1202/1602/1800/1802 Hardware User's Manual, 101 s., 2007

[36] Amit *Zásady používáni RS485* www.amit.cz

Internet

http://nudaq.com/
http://www.icpdas.com.tw/

http://www.advantech.com/
http://axiomtek.com/
http://czech.ni.com/
http://www.omega.com/

http://www.tedia.cz/