

ČÍSLICOVÉ ŘÍZENÍ PROCESŮ

Učební text VOŠ a SPŠ Kutná Hora



Ing. Luděk Kohout
VOŠ a SPŠ 2000

Číslicové řízení

ZÁKLADNÍ POJMY

Řízení je obecně definováno jako působení řídicího objektu na objekt řízený se snahou docílit požadovaného cílového chování. Podle tvaru signálů, kterými se přenáší informace lze řízení rozdělit do několika skupin:

- logické řízení - binární signály (TRUE, FALSE)
- analogové řízení - spojitě signály v daném intervalu
- diskrétní řízení - signály jsou definované pouze v určitých časových okamžicích daných tzv. periodou vzorkování. Základem řídicího členu je mikropočítačová výpočetní jednotka.

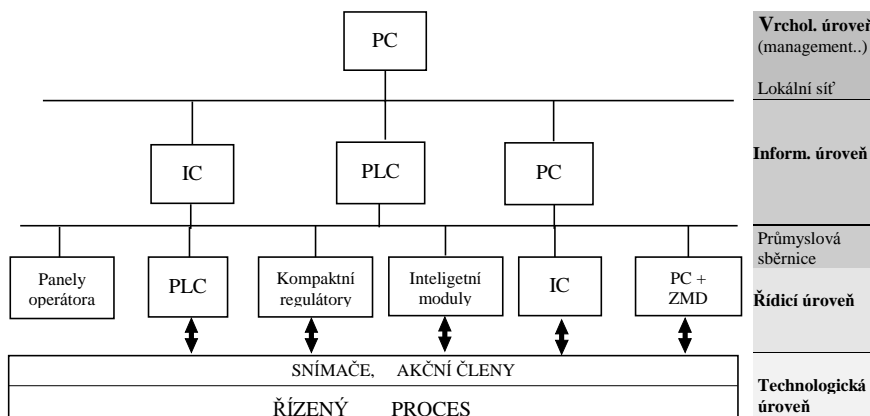
Výhody číslicového řízení (vzhledem ke spojitému)

Většina technických prostředků současné automatizační techniky pracuje na principech diskrétního řízení a je tedy logické, že proti klasickému (spojitému) řízení bude mít řadu výhod ovlivňujících jeho široké uplatnění v technické praxi.

K hlavním výhodám patří:

- **Centralizace a decentralizace řídicích prostředků.**

Řídicí obvod je možné rozdělit na několik vzájemně spolupracujících celků propojených průmyslovými komunikačními linkami. Vzniká tzv. *distribuovaný řídicí systém* charakteristický víceúrovňovou hierarchickou strukturou. Schéma typického distribuovaného řízení vidíme na obr. 1.



Technologickou vrstvou se rozumí vlastní řízený objekt doplněný snímači a akčními členy. Řídicí vrstva obsahuje systémy, které jsou svými vstupy a výstupy spojené se senzorkou a akčními členy řízených objektů. Jsou to především programovatelné automaty, kompaktní regulátory, inteligentní řídicí moduly, ale také vyšší systémy, jako jsou řídicí počítače (IC - Industrial Computer) nebo PC doplněné vstupně - výstupními obvody pro styk s prostředím (ZMD - zásuvné měřicí desky).

obr. 1 Distribuované řízení

- **Velká spolehlivost.**

Spolehlivost se vyjadřuje tzv. střední dobou mezi poruchami, příp. střední dobou mezi opravami. U současných řídicích systémů nabývá tento parametr hodnot řádově 10^4 až 10^5 .

- **Snadná změna struktury „regulátorů“.**

Algoritmus řízení není narozdíl od klasických automatizačních prostředků určen pevným zapojením elektronických součástek či pneumatických, příp. hydraulických prvků, ale je tvořen programově. Řídicí počítače a programovatelné automaty umožňují požadovanou strukturu regulačního členu sestavit vhodnou kombinací počítačích bloků.

- **Programové nastavení parametrů regulátorů.**

Regulátory diskrétních systémů jsou často tvořeny jedinou výkonnou instrukcí (nejčastěji instrukce PID) a blokem dat obsahujícím všechny požadované parametry. Konstanty regulátoru (pp, Ti, Td) se nastavují jejich modifikací. Některé systémy mají zabudovanou funkci automatického nastavení, příp. adaptivní mechanismus.

- **Minimální drift nuly**

Základem klasických regulátorů jsou stejnosměrné zesilovače, které jsou charakteristické nestálostí výstupního napětí (drift nuly). Tento problém u mikropočítačových systémů z pochopitelných důvodů odpadá.

- **Snadný přenos informace na velké vzdálenosti**

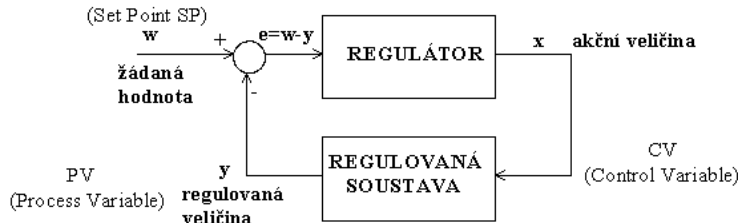
Veškeré signály jsou přenášeny ve tvaru binárně kódovaných dat, která jsou podstatně odolnější vůči elektromagnetickému rušení než data analogová.

- **Snadnější nastavení, oživení a montáž řídicích systémů, diagnostické nástroje**

Diskrétní řídicí systémy obsahují řadu ladících a diagnostických nástrojů, které usnadňují uvedení do chodu a odstranění případných poruch.

ZÁKLADNÍ PRINCIPY ČÍSLICOVÉHO ŘÍZENÍ

Regulační obvod je tvořen řídicím a řízeným objektem (regulátorem a regulovanou soustavou). Podle průběhu signálů regulátoru hovoříme o spojitém či nespojitém regulačním obvodu. Blokové schéma jednoduchého regulačního obvodu je na obr. 2.



obr. 2 Regulační obvod

Regulátor a regulovaná soustava jsou zapojeny do záporné zpětné vazby - regulovaná soustava vysílá do regulátoru pomocí vhodných snímačů a převodníků signál úměrný okamžité hodnotě regulované veličiny. V porovnávacím členu se vypočítá regulační odchylka $e = w - y$, v regulátoru je dále zesílena a upravena podle vhodného algoritmu - vzniká akční veličina.

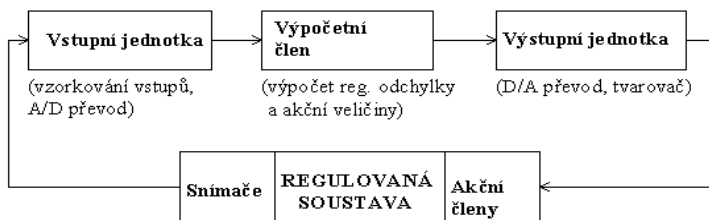
Akční veličina působí na regulovanou soustavu s cílem minimalizovat regulační odchylku.

Blokové schéma číslicového regulačního obvodu

Princip číslicového regulačního obvodu je stejný, liší se však tvarem a způsobem zpracování signálů. Na obr 3 vidíme jeho přibližné blokové schéma.

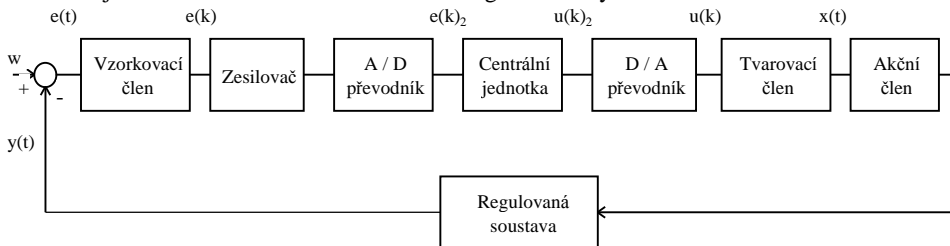
Řídicí obvod je realizován výpočetním systémem sestávajícím ze:

- vstupní jednotky sloužící k načtení všech vstupních signálů (vzorkování) a převodu do číslicové podoby srozumitelné centrální jednotce výpočetního členu
- výpočetního členu, který zpracovává vstupní signály a počítá např. regulační odchylku e , akční veličinu PID regulátoru z diferenciální rovnice $x = k_R \cdot (e + \frac{1}{T_i} \cdot \int e \cdot dt + T_d \cdot \frac{de}{dt})$,
- výstupní jednotky, jejímž úkolem je převést číslicový signál na signál srozumitelný akčnímu členu (D/A převod, tvarování alarmová hlášení atd.)



obr. 3 Přibližné blokové schéma číslicového regulačního obvodu

Podrobněji si strukturu obecného číslicového regulačního systému znázorníme na obr. 4



obr. 4 Struktura číslicového regulačního obvodu

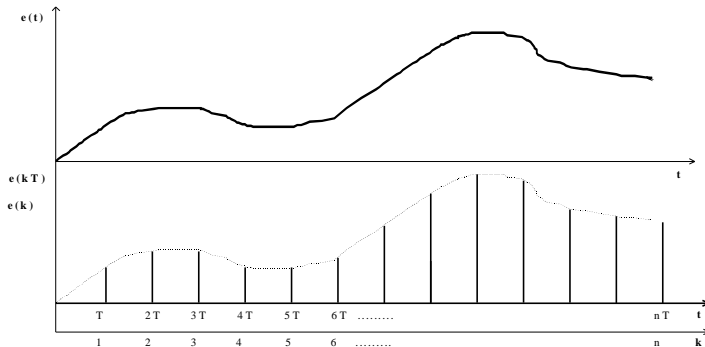
Funkce vstupních obvodů.

Vyděme ze zjednodušujícího předpokladu, že regulátor bude zpracovávat pouze jedinou stavovou veličinu $y(t)$ a do vstupních obvodů se přivádí regulační odchylka $e(t)$ generovaná analogovým porovnávacím členem.

Vstupní obvody pak musí provést následující činnosti:

- **Vzorkování vstupního signálu**

Úkolem vzorkovacích obvodů je periodické testování vstupního signálu - vzorkování. Číslicový regulátor v pravidelných intervalech odebrá vzorky vstupního signálu (regulované veličiny) a "zmrazí" je až do dalšího odběru vzorku. Čas mezi dvěma sousedními odběry se nazývá **perioda vzorkování T** . Princip vzorkování je patrný z obr. 5.



obr. 5 Princip vzorkování

Vzorkovač vytváří ze spojitého signálu obdélníkové pulzy se zanedbatelnou šířkou a s amplitudou rovnou okamžité hodnotě vstupního signálu.

Perioda vzorkování musí být konstantní a dostatečně dlouhá - regulátor musí v intervalu T provést:

- načtení všech vstupů (řádově až tisíce)
- výpočty v reálném čase (výpočet $e(t)$, výpočet $x(t)$, alarmy, další výpočty)
- tvarování výstupních signálů atd.

Na druhou stranu, se zvětšováním periody vzorkování se zhoršuje kvalita a přesnost výstupního signálu.

- **Zesílení vstupního signálu.**

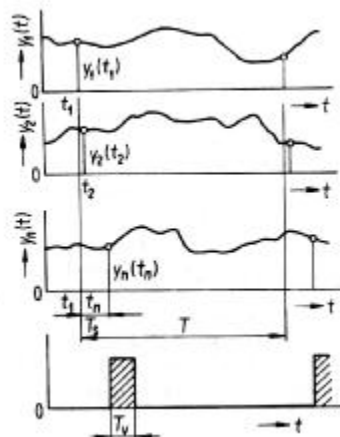
Signál ze vzorkovače je veden do zesilovače, který svým zesílením a posunem nuly určuje rozsah pro daný vstup. Zesílení je často nastaveno softwarově.

- **Analogově - digitální převod.**

Po zesílení je diskretní signál pomocí A/D převodníku upraven do digitální podoby. Šířka datového slova určuje rozlišující schopnost převodníku a ovlivňuje přesnost celé regulační smyčky. Současné řídicí systémy pracují s datovým slovem s šířkou 8 až 16 bitů.

- **Multiplexování vstupů.**

Vstupní obvody reálných řídicích systémů zpracovávají řádově desítky až tisíce signálů a jejich zpracování samostatnými vzorkovacími obvody by bylo neúměrně drahé. Proto se zpravidla pro skupinu vstupů použije jeden analogový obvod, na který se pomocí analogového multiplexeru postupně vstupní signály připojují. Princip multiplexního sběru dat je patrný z obr. 6.



obr. 6 Cyklický sběr dat

Zpracování signálu v centrální jednotce.

Centrální jednotka tvoří základ řídicího systému. Vyhodnocuje vstupní datové signály nesoucí informaci o stavu řízeného objektu, provádí výpočet akčních veličin, alarmových hlášení a pomocí výstupních obvodů zasahuje zpětně do procesu. Popíšme si některé z činností centrální jednotky.

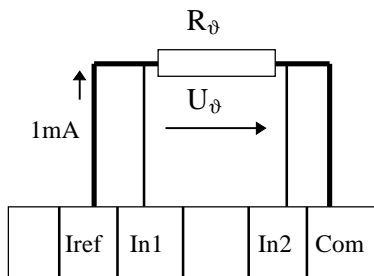
- **Přepočet snímaných signálů do odpovídajících fyzikálních jednotek**

Cílem výpočtu je převést digitalizovaný signál ze snímačů teploty, tlaku, polohy, příp. objemového toku na °C, kPa, m, příp. m³/s.

Příklad:

Měření teploty odporovým snímačem (Pt 100, Ni 1000)

Připojení snímacího odporu ke svorkovnici vstupní jednotky je znázorněno na obr. 7



Svorkovnice vstupní jednotky

obr. 7 Čtyřvodičové připojení odporového snímače

Měřicí odpor (např. PT 100) je pomocí čtyř vodičů připojen ke svorkovnici analogové vstupní jednotky. Tučně vyznačené vodiče tvoří proudový okruh napájený konstantním proudem dostatečně malým aby nedocházelo k ohřevu odporu vlastní výkonovou ztrátou (obvykle 1mA). Dalšími dvěma vodiči se na vstupy In1 a In2 přivádí napětí, jejichž rozdíl je úměrná teplotě.

Můžeme odvodit:

$$In = In1 - In2 \quad In \quad \dots \quad \text{vstupní data}$$

$$u_J = In \cdot LSB$$

$$LSB = \frac{\text{vstupní rozsah}}{2^{n-1}} \quad LSB \quad \dots \quad \text{inkrement napětí}$$

$$u_J = I_{ref} \cdot R_J$$

$$R_J = R_0(1 + a \cdot J)$$

$$J = \frac{u_J - I_{ref} \cdot R_0}{I_{ref} \cdot a \cdot R_0}$$

Podle výše uvedeného vztahu vypočítá CPU teplotu ve ϑ ve °C.

- **Kontrola mezních hodnot.**

Programově se kontrolují mezní hodnoty sledovaných stavových veličin. Při jejich překročení se generují tzv. *alarmy*, které informují obsluhu formou optické, případně akustické signalizace. K zobrazení alarmů se často používají textové nebo grafické terminály, příp. dispečerské a vizualizační software (SCADA / HMI). Alarmy mají tvar logických signálů a v některých případech se využívají i k zásahům do řízeného procesu (nespojité regulace).

- **Řízení DSC.**

V režimu DSC (Digital Setpoint Control) řídicí počítač generuje signál sloužící pro nastavení řídicí veličiny podřízeného regulačního systému. Podřízeným systémem může být i klasický analogový regulátor vybavený krokovým motorkem pro mechanické ovládání potenciometru žádané hodnoty. Při výpadku řídicího počítače pracuje podřízený regulátor autonomně s poslední žádanou hodnotou.

- **Přímé číslicové řízení DDC.**

V režimu DDC (Direct Digital Control) jsou naměřené stavové veličiny použity k výpočtu akčních veličin.

- **Monitorování technologického procesu**

K monitorování procesu se používají panely operátora ve formě textových a grafických terminálů, sloužících ke kontaktu mezi obsluhou a řízeným procesem. Panel operátora sleduje paměťovou oblast řídicího systému a pomocí vloženého programu předkládá obsluze informace ve srozumitelné podobě.

Vyšší úrovní monitorování procesu jsou tzv. SCADA / HMI software provozované obvykle na PC.

- **Optimalizační výpočty.**

Naměřené hodnoty jsou použity pro statickou a dynamickou optimalizaci procesu.

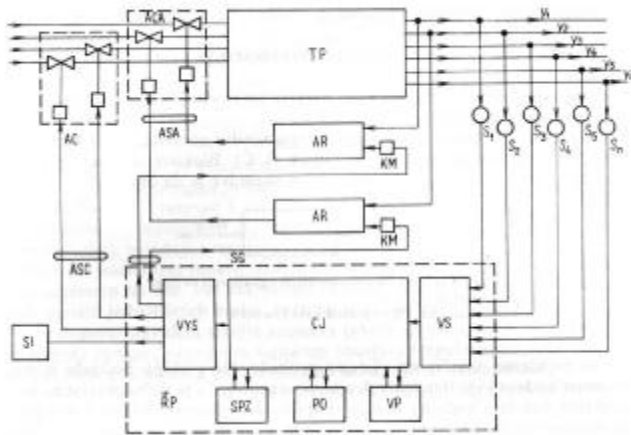
- **Materiálové a energetické výpočty.**

Naměřené hodnoty jsou použity k bilančním výpočtům spotřeby materiálu a energií. S rostoucími cenami energií nabývají na důležitosti především výpočty týkající se spotřeby elektrické energie. V praxi se často používá tzv. *řízení spotřeby*, které má za úkol sledovat spotřebu nasmlouvanou s rozvodnými závody a podle určitého algoritmu odpojovat a připojovat spotřebiče tak, aby nebyla překročena a podnik neplatil penále.

- **Archivace dat.**

V paměti počítače se uchovávají informace charakterizující řízený proces (průběhy stavových veličin, zásahy obsluhy...), které mohou být později využity např. při detekci závady.

Na obr. 8 vidíme příklad zapojení kombinovaného regulačního obvodu s číslicovým řídicím systémem a analogovými regulátory.



obr. 8 Principiální schéma ASŘ TP

CJ - centrální jednotka,

VS - vstupní strana jednotky styku s prostředím

VYS - výstupní strana jednotky styku s prostředím

S₁ až S_n - snímače

y₁ až y_n - stavové (regulované veličiny)

SI - signalizace

SPZ - standardní periferní zařízení

SG - signály pro nastavení žádaných hodnot

KM - krokový motorek

AR - analogový regulátor

ASC - akční signály číslicových regulátorů

AC - akční členy číslicových regulátorů

ASA - akční signály analogových regulátorů

ACA - akční členy analogových regulátorů

PO - panel operátora

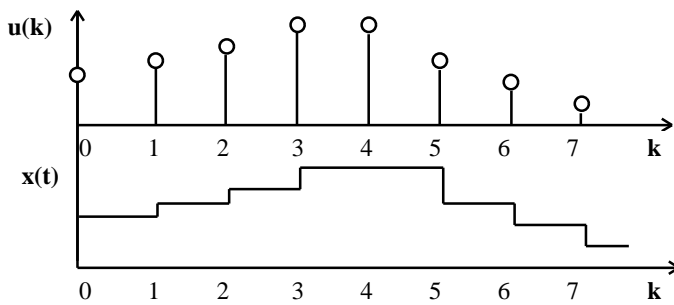
VP - vnější paměť

ŘP - řídicí počítač

Funkce výstupních obvodů.

Úkolem výstupních obvodů je převést informace vypočtené centrální jednotkou na signály použitelné pro buzení akčních členů. Základní složkou výstupní analogové jednotky je D/A převodník transformující datové výstupní slovo CPU na diskretní signál, který je tvarovačem upraven do využitelné podoby. Podle použitého tvarovače získáme stupňovitý, šířkově modulovaný, příp. frekvenčně modulovaný výstupní signál.

Princip vzniku stupňovitého signálu v tvarovači *nultého řádu* je znázorněn na obr. 9.



obr. 9 Vznik stupňovité funkce

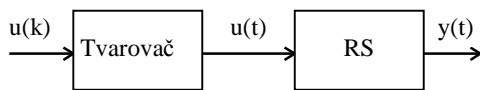
TEORIE ČÍSLICOVÝCH REGULAČNÍCH OBVDŮ

Cílem následující kapitoly je získání alespoň rámcového přehledu o matematických prostředcích popisu diskrétních obvodů, které umožní numerické řešení regulačních algoritmů programovým vybavením řídicího počítače. V teorii řízení jsme spojitý regulační obvod popisovali diferenciálními rovnicemi. V oblasti diskrétního řízení jsou diferenciální rovnice nepoužitelné, protože signály nejsou definovány spojitě. Pro náš účel budou vhodné rovnice, jejichž proměnné jsou definovány jen v určitých časových okamžicích daných násobky periody vzorkování. Rovnice potom nejsou funkcí času t , nýbrž proměnné $k \cdot T$ nebo častěji jen k , nenazývají se diferenciální, nýbrž *diferenční*. Diferenční a diferenciální rovnice daného objektu mají úzkou souvislost, z rovnice diferenciální lze pomocí Laplaceovy transformace s nenulovými počátečními podmínkami odvodit rovnici diferenční.

Diferenční rovnice

Diferenční rovnice umožní postupný výpočet okamžitých hodnot regulované veličiny v časech $t = k \cdot T$; $k = 0, 1, 2, 3, \dots$; T je perioda vzorkování.

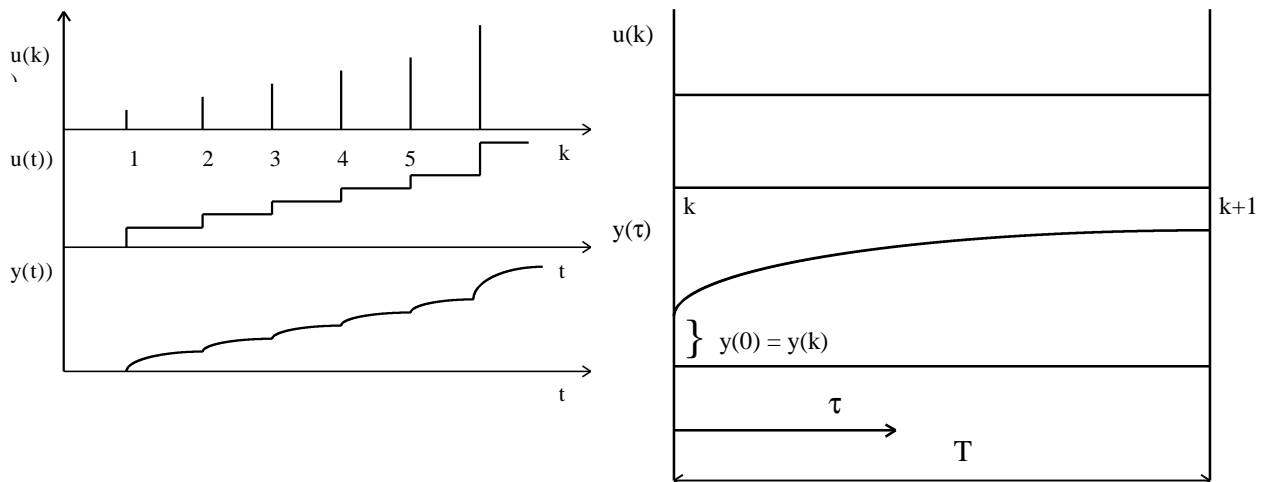
Jednokapacitní regulované soustava



diferenciální rovnice soustavy je dána vztahem: $T_1 \cdot y'(t) + y(t) = K_S \cdot u(t)$

obrazový přenos vyjádříme ve tvaru: $F(p) = \frac{K_S}{1 + p \cdot T_1}$

Závislosti mezi $y(t)$ a $u(k)$ a průběh $u(k)$ a $y(t)$ v k -tém intervalu je patrná z Obr. 10 *Odvození diferenční rovnice*



Obr. 10 Odvození diferenční rovnice

Laplaceova transformace pro nenulové počáteční podmínky $y(0) \neq 0$:

$$L\{f^{(n)}(t)\} = p^n F(p) - p^{n-1} f(0) - p^{n-2} f'(0) - \dots - pf^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0)$$

v našem případě:

$$T_1 p Y(p) - T_1 y(0) + Y(p) = K_S U(p)$$

$$Y(p) = \frac{K_S U(p) + T_1 y(0)}{1 + p T_1}$$

z knihovny obrazů víme:

$$\left[L\{\text{konst}\} = \frac{\text{konst}}{p} \right]$$

počáteční podmínka: $y(0) = y(k)$

po dosazení:

$$Y(p) = \frac{K_S u(k)}{p(1 + p T_1)} + \frac{T_1 y(k)}{1 + p T_1}$$

$y(t)_k = L^{-1}\{Y(p)\}$ vypočítáme s pomocí slovníku Laplaceových obrazů

$$y(t)_k = K_S u(k) \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) + y(k) e^{-\frac{t}{T_1}}$$

chceme znát $y(\tau)$ v okamžiku $(k+1)$, tj. pro $\tau = T$

označíme: $e^{-\frac{T}{T_1}} = D$ a po dosazení získáme diferenční rovnici:

$$y(k+1) = K_S \cdot u(k-1) \cdot (1-D) + D \cdot y(k)$$

$$y(k+1) + a \cdot y(k) = b \cdot u(k)$$

kde

$$a = -D \quad ; \quad b = K_S (1-D)$$

$$D = e^{-\frac{T}{T_1}}$$

nebo

$$\mathbf{y(k) + a \cdot y(k-1) = b \cdot u(k-1)}$$

Rovnice zahrnuje i přenos tvarovače nultého řádu!

Diferenční rovnice popisuje, jaké budou hodnoty výstupního signálu $y(k)$ v okamžicích $k=0,1,2,3,4,\dots$ atd. Koeficienty a_i a b_i vyjadřují nejen vlastnosti soustavy, ale závisí také na volbě periody vzorkování. Číselné hodnoty koeficientů a_i a b_i platí pouze pro určitou vzorkovací frekvenci.

Ze vztahu [1] vyplývá, že novou hodnotu $y(k)$ vypočteme z hodnoty vstupu $[u(k-1)]$, ale i výstupu $[y(k-1)]$, v minulém vzorkování. Ze vztahu je dále patrné, že pro danou RS můžeme sestavit nekonečně mnoho diferenčních rovnic lišících se periodou vzorkování T .

Diferenční rovnice vyšších řádů můžeme vyjádřit obdobným způsobem.

Diferenční rovnice regulované soustavy n -tého řádu:

$$y(k) + \sum_{i=1}^n a_i \cdot y(k-i) = \sum_{i=1}^n b_i \cdot u(k-i)$$

Řešení diferenční rovnice.

Pro řešení diferenční rovnice můžeme použít dvě metody:

a) Numerické řešení.

Numerickým řešením se rozumí postupný výpočet hodnot výstupního signálu $y(k)$ tak, jak by se objevovaly na výstupu soustavy v okamžicích $k=0,1,2,3, \dots$ atd. Nevýhodou je, pro výpočet vzorku s pořadovým číslem např. 2000 musíme vypočítat postupně hodnoty všech předchozích 1999 vzorků. Pro výpočet hodnoty v okamžiku k musí být známy hodnoty y v okamžicích $k-1, k-2, \dots, k-n$ (n = řád soustavy).

Metoda je vhodná pro řešení na počítačích, případně na mikropočítačových řídicích systémech, které však neřeší rovnici soustavy, nýbrž počítají rovnici regulátoru.

b) Řešení transformací Z.

Transformace Z je složitý matematický aparát, který je obdobou Laplaceovy transformace ze spojité oblasti. Výsledkem je obecný vztah, do kterého se dosadí pořadové číslo vzorku a hodnota $y(k)$ se vypočítá přímo, bez výpočtu předchozích hodnot $y(k-1), y(k-2)$ až $y(k-n)$.

V dalších výpočtech se přidržíme prvního postupu a budeme postupně počítat hodnoty $y(k=1), y(2), y(3)$, atd. Postup se může zdát zdoluhavý, ale musíme si uvědomit, že ve skutečnosti nebude výpočet provádět nedokonalý člověk, ale počítač pomocí velmi jednoduchého algoritmu.

Příklad 1

Vyšetřete přechodovou charakteristiku jednodukapitní RS s parametry:
 $Ks = 2, T_1 = 1s$, perioda vzorkování $T = 0,2s, y(0) = 0$



$$y(k) + a \cdot y(k-1) = b \cdot u(k-1)$$

$$D = e^{-\frac{T}{T_1}} = 0,82$$

$$a = -0,82 \quad b = 0,18$$

$$y(k) = 0,82y(k-1) + 0,18u(k-1)$$

$$y(1) = 0,82y(0) + 0,18u(0) = 0,18$$

$$y(2) = 0,82y(1) + 0,18u(1) = 0,82 \cdot 0,18 + 0,18 = 0,33$$

$$y(3) = 0,82y(2) + 0,18u(2) = 0,82 \cdot 0,33 + 0,18 = 0,45$$

$$y(4) = 0,82y(3) + 0,18u(3) = 0,82 \cdot 0,45 + 0,18 = 0,55$$

$$y(5) = 0,82y(4) + 0,18u(4) = 0,82 \cdot 0,55 + 0,18 = 0,63$$

$$y(6) = 0,82y(5) + 0,18u(5) = 0,82 \cdot 0,63 + 0,18 = 0,70$$

$$y(7) = 0,82y(6) + 0,18u(6) = 0,82 \cdot 0,70 + 0,18 = 0,75$$

$$y(8) = 0,82y(7) + 0,18u(7) = 0,82 \cdot 0,75 + 0,18 = 0,795$$

$$y(9) = 0,82y(8) + 0,18u(8) = 0,82 \cdot 0,795 + 0,18 = 0,83$$

$$y(10) = 0,82y(9) + 0,18u(9) = 0,82 \cdot 0,83 + 0,18 = 0,86$$

Výslednou charakteristiku vidíme na Obr. 11.



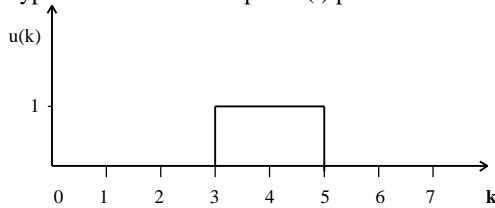
Obr. 11 Charakteristika soustavy z příkladu 1

Příklad 2

Regulovaná soustava je popsána diferenční rovnicí

$$y(k) - 0,55 \cdot y(k-1) = 0,35u(k-1)$$

Vypočítejte odezvu na impuls $u(t)$ podle obr xxx

**Příklad 3**

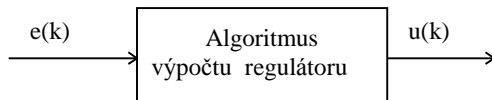
Vypočítejte odezvu dvoukapacitní regulované soustavy popsané diferenční rovnicí

$$y(k) - 1,425 \cdot y(k-1) + 0,496 \cdot y(k-2) = 0,4 \cdot u(k-1) + 0,31 \cdot u(k-2)$$

na jednotkový impuls $u(t)$.

Diferenční rovnice regulátorů

Obdobně jako regulované soustavy, můžeme popsat diferenční rovnicí také regulátory. Vstupem regulátoru pak bude regulační odchylka $e(k)$ a výstupem akční veličina $u(k)$ jak vidíme na Obr. 12



Obr. 12 Výpočet regulátoru

Regulátor P

Ve spojité oblasti je proporcionální regulátor popsán rovnicí

$$u(t) = r_0 \cdot e(t) \quad r_0 = K_R$$

Diferenční rovnici odvodíme z rozdílu Výstupního signálu v k tím a $k-1$ tím vzorku:

$$u(k) = r_0 \cdot e(k)$$

$$u(k-1) = r_0 \cdot e(k-1)$$

$$u(k) - u(k-1) = r_0 \cdot [e(k) - e(k-1)]$$

$$\mathbf{u(k) = r_0 \cdot [e(k) - e(k-1)] + u(k-1)}$$

Regulátor I

Ve spojité oblasti je integrační regulátor popsán rovnicí

$$u(t) = r_{-1} \cdot \int e(t) \cdot dt \quad r_{-1} = \frac{K_R}{T_i}$$

Odvození diferenční rovnice I regulátoru

$$u(k) = r_{-1} \cdot T \cdot \sum_{j=0}^k e(j)$$

$$u(k-1) = r_{-1} \cdot T \cdot \sum_{j=0}^{k-1} e(j)$$

$$u(k) - u(k-1) = r_{-1} \cdot T \cdot e(k)$$

$$\mathbf{u(k) = r_{-1} \cdot T \cdot e(k) + u(k-1)}$$

Regulační člen D

Ve spojité oblasti je derivační regulátor popsán rovnicí

$$u(t) = r_1 \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad r_1 = K_R \cdot T_d$$

Odvození diferenční rovnice D regulátoru:

$$u(k) = \frac{r_1}{T} \cdot [e(k) - e(k-1)]$$

$$u(k-1) = \frac{r_1}{T} \cdot [e(k-1) - e(k-2)]$$

$$u(k) - u(k-1) = \frac{r_1}{T} \cdot e(k) - 2 \cdot \frac{r_1}{T} e(k-1) + \frac{r_1}{T} e(k-2)$$

$$\mathbf{u(k)} = \frac{\mathbf{r_1}}{\mathbf{T}} \cdot [\mathbf{e(k)} - 2 \cdot \mathbf{e(k-1)} + \mathbf{e(k-2)}] + \mathbf{u(k-1)}$$

Sdružené regulátory

Diferenční rovnice sdružených regulátorů vychází ze základních složek P, I, D.

PI regulátor

$$\mathbf{u(k)} = (\mathbf{r_0} + \mathbf{r_{-1}} \cdot \mathbf{T}) \cdot \mathbf{e(k)} - \mathbf{r_0} \cdot \mathbf{e(k-1)} + \mathbf{u(k-1)}$$

PD regulátor

$$\mathbf{u(k)} = (\mathbf{r_0} + \frac{\mathbf{r_1}}{\mathbf{T}}) \cdot \mathbf{e(k)} - (\mathbf{r_0} + 2 \frac{\mathbf{r_1}}{\mathbf{T}}) \cdot \mathbf{e(k-1)} + \frac{\mathbf{r_1}}{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{e(k-2)} + \mathbf{u(k-1)}$$

PID regulátor

$$\mathbf{u(k)} = (\mathbf{r_0} + \mathbf{r_{-1}} \cdot \mathbf{T} + \frac{\mathbf{r_1}}{\mathbf{T}}) \cdot \mathbf{e(k)} - (\mathbf{r_0} + 2 \frac{\mathbf{r_1}}{\mathbf{T}}) \cdot \mathbf{e(k-1)} + \frac{\mathbf{r_1}}{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{e(k-2)} + \mathbf{u(k-1)}$$

V následujícím příkladu provedeme rozbor číslicového regulačního obvodu, sestavíme diferenční rovnice a vypočteme odezvu regulované veličiny $y(k)$ uzavřené regulační smyčky na skokovou změnu řízení $w(k)$.

Příklad 4:

Určete diferenční rovnici regulátoru, regulované soustavy a diferenční rovnici určující závislost regulované veličiny $y(k)$ a řídicí veličiny $w(k)$.

Ve spojité oblasti jsou členy regulačního obvodu popsány přenosy:

Regulovaná soustava:

$$F_s(p) = \frac{5}{1 + 10 \cdot p}$$

Regulátor:

$$F_R(p) = \frac{0,04}{p}$$

Regulační obvod obsahuje vzorkovač s $T=5s$ a tvarovač nultého řádu.

Diferenční rovnice:

Regulovaná soustava:

$$y(k) + a \cdot y(k-1) = b \cdot u(k-1) \quad [1]$$

Regulátor:

$$u(k) = r_{-1} \cdot T \cdot e(k) + u(k-1) \quad [2]$$

Rozdílový člen:

$$e(k) = w(k) - y(k) \quad [3]$$

Algoritmus řízení řešíme soustavou diferenčních rovnic:

a) do rovnice RS [1] vložíme rovnici regulátoru [2] pro vzorek k-1.

$$y(k) + a \cdot y(k-1) = b \cdot [r_{-1} \cdot T \cdot e(k-1) + u(k-2)]$$

b) z rovnice rozdílového členu dosadíme za e(k-1)

$$y(k) + a \cdot y(k-1) = b \cdot [r_{-1} \cdot T \cdot [w(k-1) - y(k-1)] + u(k-2)]$$

c) roznásobíme a dosadíme z rovnice [1] za b.u(k-2)

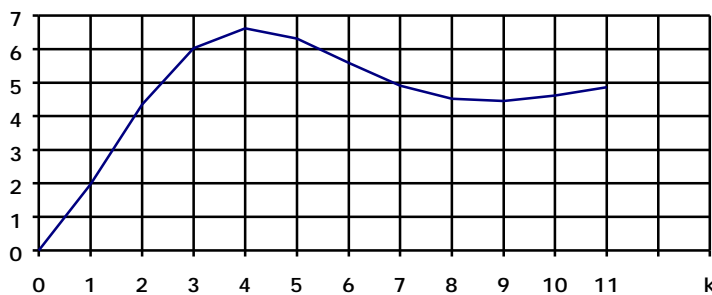
$$y(k) + a \cdot y(k-1) = b \cdot r_{-1} \cdot T \cdot w(k-1) - b \cdot r_{-1} \cdot T \cdot y(k-1) + y(k-1) + a \cdot y(k-2)$$

d) rovnici upravíme a dosadíme skutečné koeficienty

$$a = -0,606, b = 1,97$$

$$\mathbf{y(k) - 1,212 \cdot y(k-1) + 0,606 \cdot y(k-2) = 0,394 \cdot w(k-1)}$$

Odezvu výstupu y(k) na w(k) = 5 (pro k ≥ 0) vidíme na Obr. 13.



Obr. 13 Průběh regulačního pochodu při skokové změně řízení

TRANSFORMACE Z

Transformace Z se používá k řešení diferenčních rovnic analogicky s použitím Laplaceovy transformace ve spojité oblasti.

Základní vlastnosti transformace Z

Definice obrazu Z:

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f_n \cdot z^{n-1}$$

Věta o linearitě:

$$f(k) = a_1 \cdot f_1(k) + a_2 \cdot f_2(k) + a_3 \cdot f_3(k) + \dots + a_n \cdot f_n(k)$$

$$F(z) = a_1 \cdot F_1(z) + a_2 \cdot F_2(z) + a_3 \cdot F_3(z) + \dots + a_n \cdot F_n(z)$$

Věta o posunutí v originálu

$$Z\{f(k)\} = F(z)$$

$$Z\{f(k-1)\} = z^{-1} \cdot F(z)$$

$$Z\{f(k-n)\} = z^{-n} \cdot F(z)$$

Věty o počáteční a koncové hodnotě funkce

$$\lim_{k \rightarrow 0} f(k) = \lim_{z \rightarrow \infty} F(z)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} f(k) = \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot F(z)]$$

Obrazy vybraných funkcí

originál $f(t)$	obraz	$F(z)$
$1(k)$	$\frac{z}{z-1}$	
a^k	$\frac{z}{z-a}$	
a^{k-1}	$\frac{1}{z-a}$	
$(-1)^k \cdot a^k$	$\frac{z}{z+a}$	

Zpětná transformace Z

Příklad:

Pomocí transformace Z určete obraz zadané diferenční rovnice a vypočítejte odezvu RS na jednotkový skok.

$$y(k) - 0,9 \cdot y(k-1) = 0,1 \cdot u(k-1)$$

$$Y(z) - 0,9z^{-1} \cdot Y(z) = 0,1 \cdot z^{-1} \cdot U(z)$$

$$F(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0,1 \cdot z^{-1}}{1 - 0,9z^{-1}} = \frac{0,1}{z - 0,9}$$

Výpočet odezvy soustavy na jednotkový skok:

$$Y(z) = U(z) \cdot F(z) = \frac{z}{z-1} \cdot \frac{0,1}{z-0,9}$$

$$Y(z) = \frac{0,1 \cdot z}{(z-1) \cdot (z-0,9)} = \frac{P(z)}{Q(z)}$$

$Q(z) = 0$ charakteristická rovnice

Vztah pro výpočet hodnot $y(k)$ získáme zpětnou transformací Z.

Metody zpětné transformace Z

1) Dělení polynomů $P(z) : Q(z)$

$$Y(z) = \frac{0,1 \cdot z}{(z-1) \cdot (z-0,9)} = \frac{0,1 \cdot z}{z^2 - 1,9z + 0,9}$$

$$\begin{array}{r} 0,1z \quad : \quad z^2 - 1,9z + 0,9 = 0,1z^{-1} + 0,19z^{-2} + 0,271z^{-3} \dots\dots \\ \underline{0,1z \quad -0,19 \quad +0,09z^{-1}} \\ \quad \quad \quad +0,19 \quad -0,09z^{-1} \\ \quad \quad \quad \underline{+0,19 \quad -0,361z^{-1} \quad +0,171z^{-2}} \\ \quad \quad \quad \quad \quad +0,271z^{-1} \quad -0,171z^{-2} \end{array}$$

Hodnoty $y(k)$ jsou dány odpovídajícími koeficienty podílu polynomů $P(z)$ a $Q(z)$.

$$y(1) = 0,1$$

$$y(2) = 0,19$$

$$y(3) = 0,271$$

..... atd.

2) Zpětná transformace Z s použitím knihovny obrazů

Výraz rozložíme na parciální zlomky:

$$Y(z) = \frac{0,1 \cdot z}{(z-1) \cdot (z-0,9)} = \frac{A}{z-1} + \frac{B}{z-0,9}$$

$$0,1z = A \cdot (z-0,9) + B \cdot (z-1)$$

$$0 = -0,9A - B$$

$$0,1 = A + B$$

$$A = 1, \quad B = -0,9$$

Po dosazení získáme výraz:

$$Y(z) = \frac{1}{z-1} - \frac{0,9}{z-0,9}$$

S použitím vztahů pro zpětnou Z transformaci dostaneme výsledný vztah:

$$\mathbf{Z^{-1}\{Y(z)\} = 1 - 0,9 \cdot 0,9^{(k-1)}}$$

$$y(1)=0,1 \quad y(2)=0,19 \quad y(3)=0,271 \dots\dots\dots$$

3) Zpětná transformace Z s použitím vzorce

Zpětnou transformaci Z provedeme aplikací vztahu: $y(k) = Z^{-1}\{Y(z)\} = \sum_{i=1}^n \frac{P(z_i)}{Q'(z_i)} \cdot z_i^{k-1}$

kde z_i kořeny charakteristické rovnice
 $Q'(z_i)$.. derivace charakteristické rovnice
 n řád charakteristické rovnice

v našem případě:

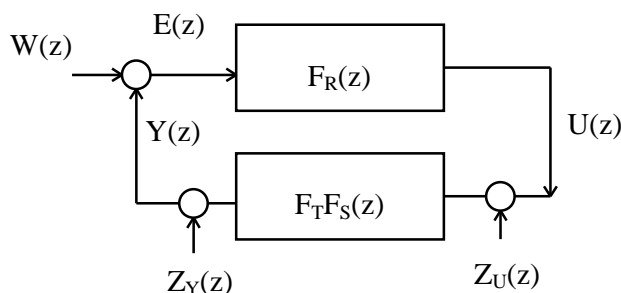
$$P(z) = 0,1 z$$

$$Q(z) = z^2 - 0,19 z + 0,9 \quad Q'(z) = 2z - 1,9$$

$$z_1 = 1, \quad z_2 = 0,9$$

$$y(k) = \frac{0,1}{0,1} \cdot 1 + \frac{0,09}{-0,1} \cdot 0,9^{(k-1)} = \mathbf{1 - 0,9 \cdot 0,99^{(k-1)}}$$

PŘENOSY UZAVŘENÉHO REGULAČNÍHO OBVODU



$Z_U(z)$ porucha vstupující do RO v místě akční veličiny
 $Z_Y(z)$ porucha vstupující do RO v místě regulované veličiny

$$F_W(z) = \frac{Y(z)}{W(z)} \quad \mathbf{L} \text{ přenos řízení}$$

$$F_Y(z) = \frac{Y(z)}{Z_Y(z)} \quad \mathbf{L} \text{ přenos poruchy}$$

$$F_U(z) = \frac{Y(z)}{Z_U(z)} \quad \mathbf{L} \text{ přenos poruchy}$$

$$F_W(z) = \frac{F_R(z) \cdot \overline{F_T F_S}(z)}{1 + F_R(z) \cdot \overline{F_T F_S}(z)} = \frac{F_R(z) \cdot \overline{F_T F_S}(z)}{1 + F_O(z)}$$

kde $F_O(z) = F_R(z) \cdot \overline{F_T F_S}(z)$ je přenos otevřené smyčky

$$F_Y(z) = \frac{1}{1 + F_R(z) \cdot \overline{F_T F_S}(z)} = \frac{1}{1 + F_O(z)}$$

$$F_U(z) = \frac{\overline{F_T F_S}(z)}{1 + F_R(z) \cdot \overline{F_T F_S}(z)} = \frac{\overline{F_T F_S}(z)}{1 + F_O(z)}$$

$1 + F_O(z) = 0$ L charakteristická rovnice

Technické prostředky diskrétního řízení

ŘÍDICÍ POČÍTAČE

Charakteristika řídicího počítače

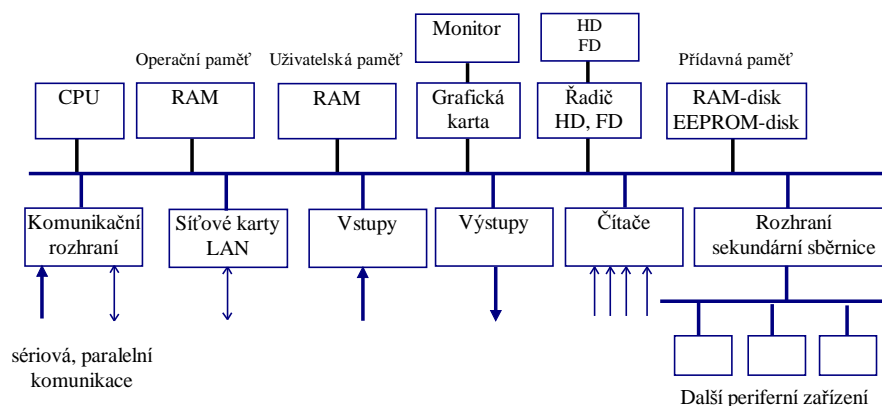
Jedná se o počítač (obvykle kompatibilní s IBM PC) umožňující nasazení v obtížných podmínkách, doplněný V/V jednotkami styku s prostředím umožňujícími připojení řízené technologie, vybavený rozhraním pro sériovou komunikaci s dalšími řídicími systémy, PC s dispečerskými a vizualizačními SCADA/HMI software, panely operátora, inteligentními snímači atd.

Požadované vlastnosti řídicího počítače

- spolehlivost (MTBF - Mean Time Between Failuers) řádově desítky až stovky tisíc hodin.
- práce v reálném čase - během T se snímají vstupní signály, provádí se výpočty a s minimální prodlevou se obsluhují výstupy.
- široký sortiment jednotek styku s prostředím (V/V karty, moduly)
- komunikační kanály a komunikační služby (začlenění do distribuovaného řídicího systému)
- multiprocessorový systém - systém řídicího počítače je často osazen několika mikroprocesory, většina V/V karet obsahuje vlastní mikrořadiče.
- prioritní přerušovací systém - usnadňuje obsluhu periferních zařízení, šetří čas μP .
- elektromagnetická kompatibilita (EMC) - systém musí být odolný vůči elektromagnetickým polím, sám nesmí být zdrojem rušení.
- odolnost vůči ztíženým provozním podmínkám

Podle mechanické konstrukce se řídicí počítače dělí na modulové a kompaktní. V poslední době jsou ŘP často konstruovány jako jednodeskové, které jsou díky svému miniaturnímu provedení (velikost diskety) určeny k zabudování do průmyslových terminálů.

Struktura řídicího počítače



Obr. 14 Struktura řídicího počítače

Řídicí počítače jsou IBM PC kompatibilní, a proto se jejich základní HW struktura od PC příliš neliší. Modulový řídicí počítač je vestavěn do „vany“ s napájecím zdrojem a příslušnými sběrnicemi. Sestavu vytváří uživatel z funkčních modulů nabízených výrobcem IC.

Základem je CPU vhodného výkonu provádějící aritmetické a logické operace. Operační paměť slouží k uložení vstupních dat a výsledků výpočtů, v uživatelské paměti je obvykle uložen kód instrukcí programu.

K jednotkám nejméně odolným vůči zhoršeným provozním podmínkám patří diskové paměti (HD a FD). V případech, kdy je to s ohledem na požadovanou kapacitu paměti možné, nahrazují se elektronickými paměťmi (RAM disk, EEPROM disk).

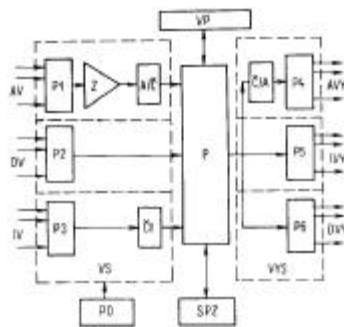
Zásadní odlišnost mezi PC a IC je však ve I/O jednotkách umožňujících připojení řízené technologie. Výrobci nabízejí širokou škálu I/O jednotek pracujících s binárními, či analogovými signály.

Velmi důležitou částí dnešních IC jsou komunikační obvody sloužící k přenosu dat mezi řídicími systémy ve vertikální i v horizontální linii prostřednictvím průmyslových sběrnic.

Funkce, které musí IC v reálném čase vykonat jsou většinou natolik složité, že běžný systém osazený pouze jedním procesorem by je během periody vzorkování obtížně zvládl. Vznikly tedy tzv. multiprocesorové systémy osazené několika procesorovými jednotkami. Samostatnými CPU jsou např. u číslicově řízených obráběcích strojů řízeny interpolátory pohybu nástroje, regulátory pohonů, vyhodnocovací obvody snímačů polohy atd.

Spojení řídicího počítače s technologickým procesem

Řídicí počítač (IC) prostřednictvím svých vstupních obvodů načítá stavové proměnné řízeného procesu, pomocí výstupních obvodů ovládá podle vhodného algoritmu akční členy regulovaných soustav.



Obr. 15 Spojení řídicího počítače s technologickým procesem

Vstupní jednotky styku s prostředím

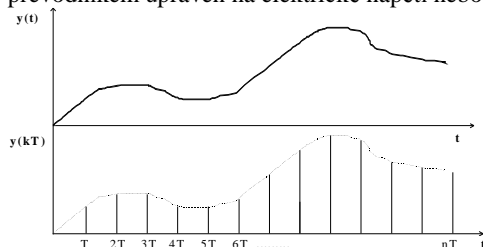
Vstupní signály

Nejčastějšími signály přiváděnými z technologického procesu do vstupních jednotek styku s prostředím jsou:

- analogový signál
- dvouhodnotový signál
- frekvenčně modulovaný impulzový signál
- číslicový signál

Analogový signál

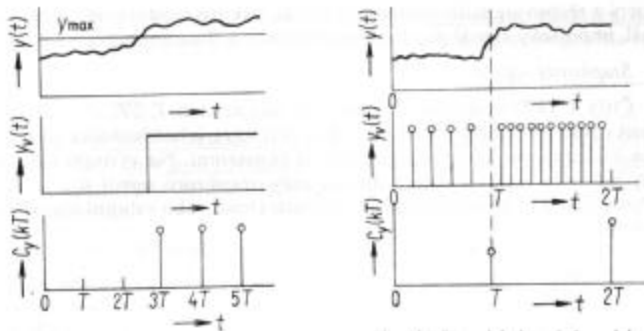
Podává nejdokonalejší informaci o průběhu měřené fyzikální veličiny. Signál je měřen pomocí vhodného snímače, převodníkem upraven na elektrické napětí nebo proud a ve vstupní jednotce se vzorkuje a převádí na digitální podobu.



Obr. 16 Analogový signál

Dvouhodnotový signál

Nese informaci v šířce jednoho bitu o sledované veličině. Signál je získán pomocí nespojitého snímače (snímače polohy, hladiny, bimetalové snímače teploty atd.) a provede se (pokud je třeba) převod napěťové úrovně, galvanické oddělení a filtrování rušivých vlivů. Signály jsou sruženy do slov (obvykle 16 bitů) a přeneseny do CPU.

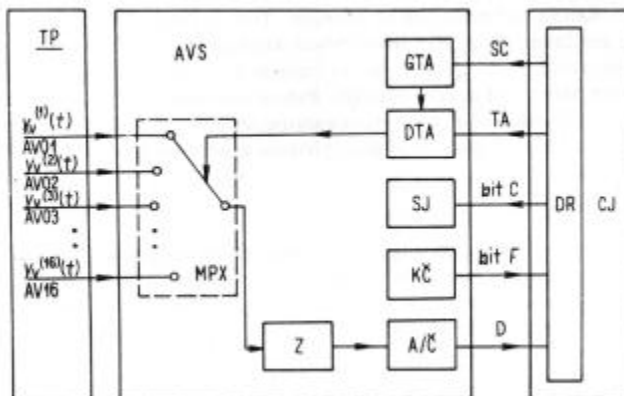
Frekvenčně modulovaný impulzový signál

Obr. 17 Dvouhodnotový a frekvenčně modulovaný signál

Informaci o snímané fyzikální veličině nese frekvence impulzů přiváděných do vstupních obvodů IPS. Zdrojem signálu je například turbínkový průtokoměr, impulzní elektroměr, inkrementální impulzní fotoelektrický snímač polohy (encoder). Součástí vstupních vyhodnocovacích obvodů je čítač, počítající vstupní pulzy. Jeho stav je v určitých časových okamžicích přenášán do CPU, kde je zpracován.

Číslicový signál

Zdrojem číslicového signálu jsou inteligentní snímače, které jsou osazeny A/D převodníkem a poskytují informaci přímo v číslicové formě (nejčastěji binární kód). Snímače často předávají data po sériové komunikační lince - jako vstupní obvody pak slouží jednotka pro sériovou komunikaci.

Analogová vstupní jednotka styku s prostředím

Obr. 18 Blokové schéma AVS

Analogová jednotka je určena ke zpracování spojitých vstupních signálů, nesoucích informaci o řízeném procesu. Jednotka může pracovat ve třech základních režimech:

a) Programový režim

CPU určuje technologickou adresu signálu, který bude vzorkován, digitalizován a přenesen do operační paměti řídicího počítače. Jednotka je obsluhována programově, princip činnosti je zřejmý z Obr. 18.

b) Cyklický režim s přerušením

Vstupní signály připojené na vstupní svorkovnici jsou po inicializaci jednotky zpracovávány postupně (od nejnižší po nejvyšší technologickou adresu). Po zpracování posledního signálu se činnost přeruší a čeká na další inicializaci. Data se přenáší do operační paměti v režimu přerušování.

b) Cyklický režim nepřerušovaný

AVS v tomto režimu zpracovává signály od okamžiku inicializace v nekonečném cyklu. Data jsou do operační paměti přenášena kanálem přímého přístupu do paměti - DMA.

Výstupní jednotky styku s prostředím

Výstupní signály

Viz učebnice AUT 4. ročník

PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ ŘÍDICÍCH POČÍTAČŮ

V současné době se prostředky automatizační techniky díky spolehlivějším a výkonnějším počítačům stále více posouvají do oblasti software.

Operační systém

Základním programovým vybavením každého řídicího počítače je operační systém, řídící všechny činnosti počítače. U dnešních počítačů se setkáváme z 90% (i více) se systémy firmy Microsoft, které se (někdy k nelibosti některých uživatelů) stávají celosvětovým standardem.

Jedná se o systémy: MS - DOS
WINDOWS 95, 98, NT

Operační systém řídicího počítače, který je využit k přímému řízení procesu musí umožňovat práci v „reálném čase“. Při práci v reálném čase mají systémy Microsoft (MS-DOS určité), výhodnější jsou pak jiné systémy, např.:

OS/2
UNIX
FENIX atd.

Programy pro vývoj aplikací

Jedná se o vývojová prostředí, která umožňují vytvářet aplikační programy pro řídicí počítače, PLC a další technické prostředky. Programy se tvoří nejčastěji objektovým programováním, využívají se již předem připravené bloky, kterým se definují parametry.

Komunikační a linkovací programy

Mají za úkol zajistit komunikaci a propojení mezi členy distribuovaného řídicího systému.

Dispečerské a monitorovací programy SCADA/HMI

Jsou grafické, uživatelsky orientované programy, umožňující tvorbu operátorských a dispečerských pracovišť s možností monitorování, kontroly chodu a řízení TP. Jsou převážně určeny pro PC s operačními systémy Windows NT /95, MS-DOS, OS/2.

Servisní a diagnostické programy

Standardní uživatelské programy

INTELIGENTNÍ MODULY PRO DISTRIBUOVANÉ ŘÍZENÍ

Slouží pro připojení čidel a akčních členů k řídicímu nebo osobnímu počítači. Propojení modulů se uskutečňuje pomocí průmyslové sériové komunikační linky (nečastěji RS-485). Vlastnosti, principy a použití si vysvětlíme na modulech ADAM řady 4000 firmy Advantech.

Moduly ADAM 4000.

Uskutečňují úpravu signálů ze snímačů, galvanické oddělení, A/D nebo D/A převod, kalibrační přepočty, vyhodnocování mezních hodnot a dálkovou komunikaci. Jsou určeny hlavně pro vytváření prostorově rozlehlých sítí průmyslového měření a řízení v energetice, teplárenství, při řízení skladů, v zabezpečovacích zařízeních atd.

Jednotlivé moduly, které realizují analogové a digitální vstupy a výstupy jsou propojeny dvojicí vodičů sběrnice RS-485. Jeden segment sběrnice může mít max. délku 1200 m a může v něm být zapojeno až 16 modulů ADAM. Segmenty sběrnice se dají propojovat pomocí opakováčů až do maximálního počtu 256 modulů a do vzdálenosti několika kilometrů. Pokud není řídicí počítač vybaven komunikačním portem RS-485, je na konci sítě (na straně PC) zařazen modul převodníku RS-232/RS-485, který umožní řízení celé sítě ze standardního COM portu osobního počítače opačný konec sítě je ošetřen zakončovací impedancí 120Ω.

Po sběrnici RS-485 přijímají moduly ovládací a nastavovací povely a předávají nastavená data. V datové síti má každý modul vlastní adresu, která je programově nastavitelná a je uložena spolu s dalšími parametry určujícími konfiguraci modulu v paměti EEPROM. Přenos dat se uskutečňuje pomocí jednoduchého protokolu používajícího výhradně znakové řetězce (asi 25 příkazů). Moduly ADAM lze ovládat z běžných vizualizačních programů (GENESIS, Control Panel).

Nejpoužívanější moduly:

ADAM 4011-měření napětí termočláнку

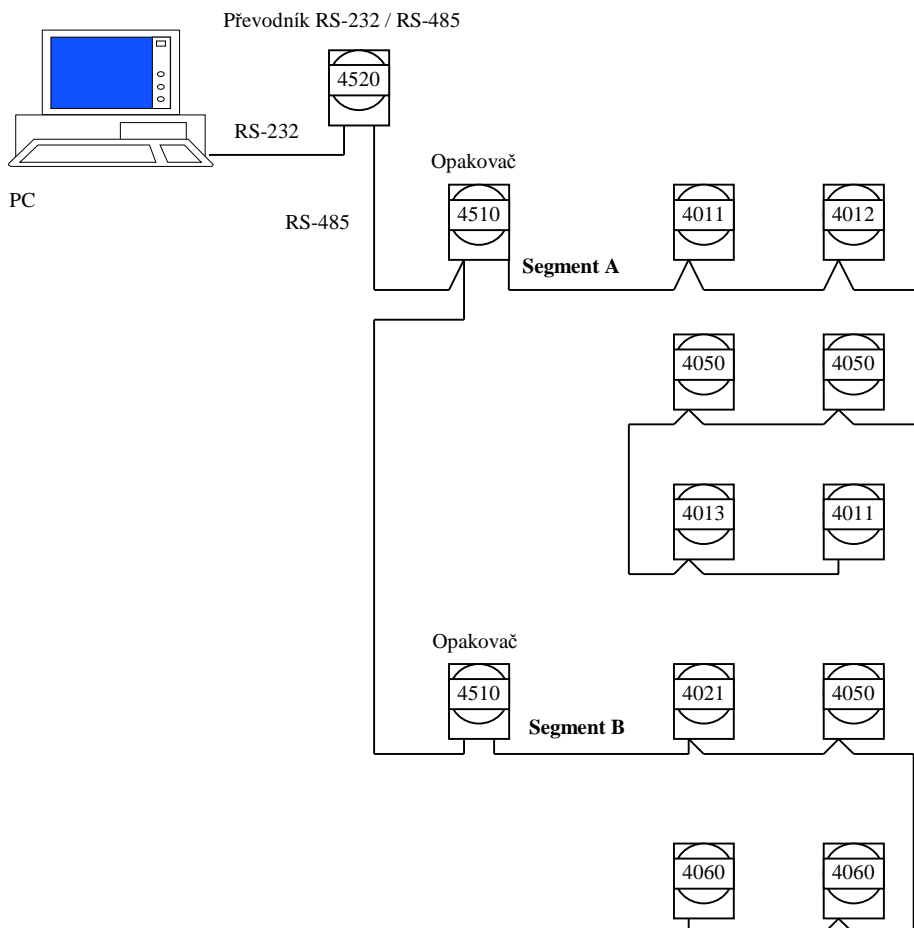
ADAM 4012-obecný AD převodník

ADAM 4013-měření odporovými teploměry typu Pt, Ni

ADAM 4021-analogový výstup

ADAM 4050-digitální vstupy a výstupy

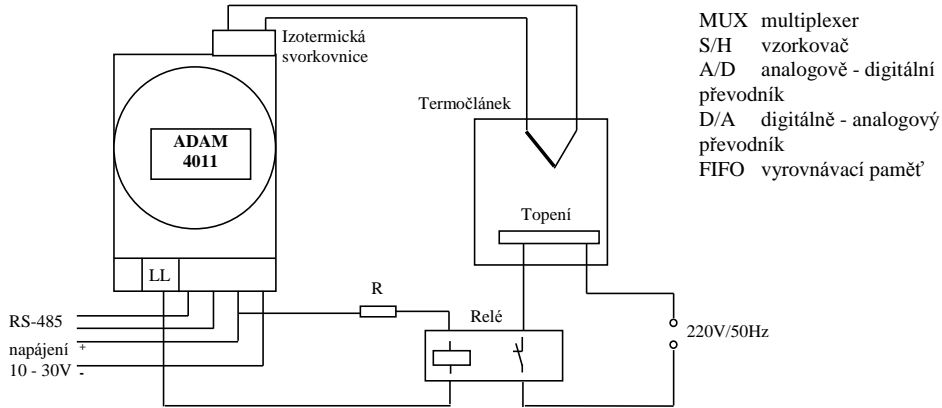
atd.....

Příklad síťového zapojení modulu ADAM

Obr. 19 Příklad propojení modulů ADAM

Příklad aplikace s modulem 4011 (termočláňkový modul)

Modul je použit jako jednoduchý dvoupolohový regulátor teploty s dálkovým monitorováním. Ke spínání topení je použit výstup dolního alarmu LL, takže celý regulační pochod probíhá zcela nezávisle na komunikaci modulu po sběrnici RS-485. Komunikace je zde využita pouze pro dálkové monitorování teploty nebo stavu regulátoru.

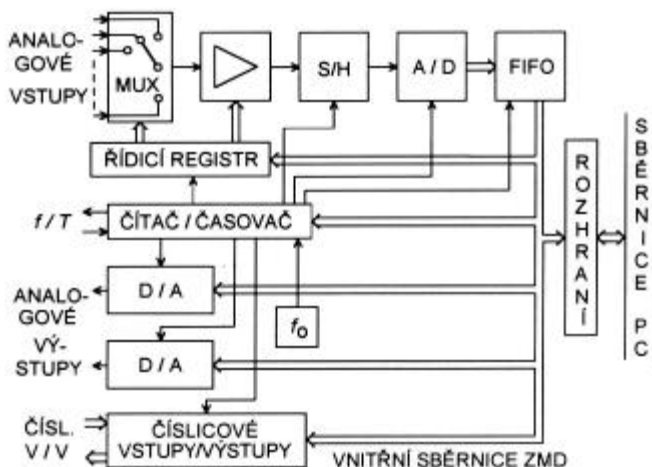


Obr. 20 Dvoupolohová regulace s termočláňkovým modulem

ZÁSUVNÉ MĚŘICÍ DESKY DO PC.

Řídicí počítač je, v případě menších nároků na spolehlivost a odolnost vůči ztíženým provozním podmínkám, možné vystavět z personálního počítače. PC je třeba doplnit V/V jednotkami styku s prostředím, které jsou realizovány zásuvnými deskami (Lab Carts).

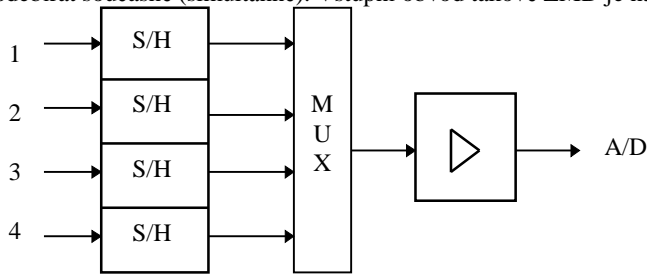
Desky, připojené na sběrnici ISA nebo PCI, případně PCMCIA (notebooky), umožňují měřit binární i analogové vstupní signály a po zpracování v CPU obsluhovat odpovídající akční členy. Jedním z nejznámějších výrobců ZMD je firma Advantech.

Blokové schéma univerzální ZMD

Obr. 21 Blokové schéma obecné ZMD

Jednotka umožňuje zpracování analogových i binárních vstupů, obsahuje obvody časovačů a rychlých čítačů a výstupní obvody generující analogové a binární signály.

Analogové vstupy ZMD jsou nejčastěji připojeny přímo na vstupy multiplexeru. Při vícekanálovém měření jsou vstupy vzorkovány jeden po druhém (sekvenčně). Hodnota odebraného vzorku je po dobu převodu A/D převodníku uložena v analogové paměti vzorkovače (S/H). Doba zpoždění mezi kanály je dána dobou převodu použitého A/D převodníku. V časově náročnějších aplikacích může sekvenční odběr vzorků způsobit nezanedbatelnou chybu. Vzorky je pak nutné odebírat současně (simultánně). Vstupní obvod takové ZMD je na obr. 22.



Obr. 22 Vstupní obvod ZMD se simultánním odběrem vzorků

Vzorkovací frekvence.

Naměřené vzorky jsou ukládány přímo do paměti PC, ZMD obsahuje pouze vyrovnávací paměť s omezenou kapacitou jednotek až stovek vzorků. Rychlost přenosu (velikost vzorkovací frekvence) je omezena vlastnostmi sběrnice PC. Při použití sběrnice ISA musí ZMD obsahovat pro velké přenosové rychlosti vyrovnávací paměť dat s dostatečnou kapacitou.

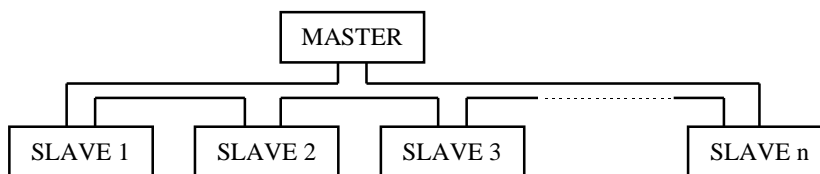
Průmyslové komunikační systémy

Přenos dat je dnes jednou z nejdůležitějších funkcí počítačových systémů. Zvláštní význam má při distribuovaném měření a řízení, kde CPU musí mít pro zabezpečení svých funkcí neustálý přísun aktuálních informací a výsledky výpočtů musí být včas dopraveny na místo určení.

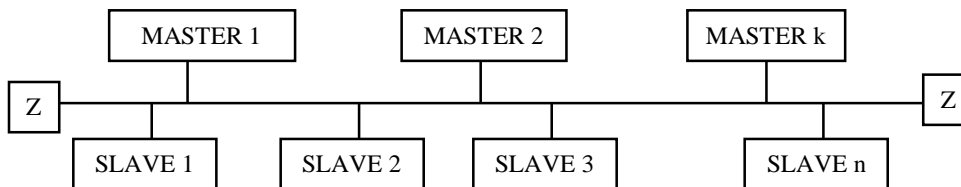
Požadavky na přenosové prostředky jsou určeny vzdáleností, na kterou je třeba data přenášet. Pro přenos na malé vzdálenosti (např. uvnitř řídicího systému) není třeba další prostředky vytvářet - komunikace je zajištěna systémem počítače. Pro přenos na střední a velké vzdálenosti (řádově desítky m a více) musí technické prostředky zajistit navíc zabezpečení dat před znehodnocením.

V systémech průmyslové komunikace se nejčastěji používá sériový přenos dat v sítích sběrnice nebo kruhového typu.

Kruhová topologie (RING)



Sběrnice topologie (BUS)



Obr. 23 Nejpoužívanější topologie průmyslových komunikačních systémů (master - řídicí jednotka, slave - podřízená jednotka, Z - zakončovací impedance)

REFERENČNÍ MODEL OSI (OPEN SYSTÉM INTERCONNECTION)

Úkolem modelu OSI, vytvořeného mezinárodní organizací pro standardizaci, je definovat vlastnosti komunikačního systému. Problém přenosu dat rozděluje na sedm dílčích, lépe řešitelných problémů - tzv. vrstev.

Každá vrstva definuje množinu síťových služeb, které poskytuje vrstvě vyšší.

7. Aplikační vrstva
6. Prezentační vrstva
5. Relační vrstva
4. Transportní vrstva
3. Síťová vrstva
2. Spojovací vrstva
1. Fyzická vrstva

- 1) Fyzická vrstva zahrnuje elektrické a mechanické rozhraní mezi zařízeními, komunikační médium, napěťové kódování, modulaci atd.
- 2) Spojovací vrstva vztahuje se k přenosu dat po fyzické lince. Definuje adresaci účastníků komunikace, síťovou topologii, způsob přístupu na sběrnici, zajišťuje kontrolu přenosu, detekci chyb atd.
- 3) Síťová vrstva zajišťuje spojení při spolupráci více sítí.
- 4) Transportní vrstva zajišťuje spojení mezi protokoly aplikačních vrstev a protokoly nižších vrstev. Podle požadavků navazuje spojení, rozděluje přenášená data do paketů a z přijatých paketů vytváří původní data.
- 5) Relační vrstva vytváří, řídí a ukončuje spojení (relace) mezi aplikacemi. Relace se skládá z dialogu mezi dvěma a více systémy.
- 6) Prezentační vrstva zajišťuje převody kódů, kompresi a dekompresi dat i jejich utajování.
- 7) Aplikační vrstva sestává z programů využívajících síťové služby, neposkytuje služby dalším vrstvám, nýbrž uživateli.

Data se po síti přenáší pomocí tzv. telegramů. Jedná se o datové segmenty, ke kterým si jednotlivé vrstvy přidávají vlastní informace. Čím vyšší vrstvy mezi sebou komunikují, tím větší je celkové množství přenášených dat při zachování stejné informační hodnoty.

V automatizační a řídicí technice jsou nejdůležitějšími vrstvami:

- vrstva fyzická
- vrstva spojovací
- vrstva aplikační

Fyzická vrstva*Přenosové médium*

- a) metalické vodiče - *koaxiální kabel* (rušení elektromagnetickým polem potlačeno stíněním, nižší přenosová rychlost)
kroucený (twisted) pár (rušení elektromagnetickým polem potlačeno odečtením napětí indukovaných do obou vodičů se stejnou fází, vyšší přenosová rychlost, snadná instalace).
Stíněný kroucený pár (v praxi nejpoužívanější typ metalického vedení).

Charakteristickými vlastnostmi, které popisují metalické vodiče je vlnová impedance, měrný útlum a měrná kapacita.

- b) Optické vlákno - výhodou je vysoká odolnost vůči elektromagnetickému rušení a galvanické oddělení. Nevýhodou je cena, menší mechanická odolnost a obtížnější montáž.

Komunikační rozhraní (mezi fyzickou a spojovací vrstvou)

Jeho úkolem je zajistit kódování dat na sběrnici.

Nejznámější typy rozhraní

RS-232C zajišťuje spojení dvou účastníků typu Peer to Peer.

Napěťové kódování:	„0“:	3 ± 15V
	„1“:	-3 ± -15V
maximální délka spoje:		15m
maximální komunikační rychlost		115 kbit/sec
typická komunikační rychlost		19,2 kbit/sec

RS - 422, RS - 485

Nejčastěji topologie typu BUS

maximální komunikační rychlost: přibližně o 1 řád vyšší než RS-232C

maximální délka spoje: 1200 m

Spojovací vrstva

Zajišťuje adresaci účastníků komunikace, přístup na sběrnici (přidělení komunikačního kanálu), provádí detekci a opravu chyb.

Přístup na sběrnici

- časový multiplex - postupné pravidelné přidělování komunikačního kanálu jednotlivým zařízením.
- Náhodný přístup - zařízení přistupují na sběrnici náhodně s následnou detekcí případné kolize (např. stochastické sítě typu CAN).
- Central. Přístup - na síti existuje jedno zařízení typu MASTER, které udílí práva přístupu ostatním zařízením, které jsou typu SLAVE.
- Token passing - při přístupu token passing si stanice přepojené ke sběrnici, které mohou mít řídicí funkci, postupně předávají pověření (token) v logickém kruhu.

Detekce a oprava chyb

K detekci chyb vzniklých na trase se nejčastěji používá paritní bit (sudá, lichá parita) v kombinaci s kontrolním součtem.

Zabezpečení přenosu paritou.

K přenášeným datům se ve vysílacím systému přidá tzv. paritní bit, který doplňuje data přenášeného bloku na sudý (sudá parita), případně lichý (lichá parita) počet jedniček. V přijímacím systému se parita kontroluje.

Příklad:

	Lichá parita							
1	1	0	1	1	0	0	1	0
Paritní bit	DATA							
0	1	1	1	0	0	1	1	0
Paritní bit	DATA							

Kontrolní součet

Vysílací systém provede součet všech znaků zprávy a výsledek součtu přidá k datům. V místě příjmu se znovu sečtou přijaté znaky a výsledky se porovnají

PRŮMYSLOVÉ SBĚRNICE

V současné době existuje velké množství průmyslových komunikačních sběrnic, které se navzájem liší topologií, způsobem přístupu na síť, protokolem přenášených dat, ošetřením chyb, atd. Sběrnice se dělí na uzavřené a otevřené.

Uzavřené sběrnice

Slouží pro komunikaci zařízení jednoho výrobce, protokol se nezveřejňuje. Příkladem je DH-485, RIO, DH⁺ firmy Allen Bradley.

Otevřené sběrnice

Protokol umožňuje připojení zařízení různých výrobců, jejichž systémy mají shodně definovanou komunikaci. Příkladem je Profibus, Interbus, FIP, CAN atd.

Volba typu průmyslové sběrnice

Při výběru komunikační sběrnice (máme-li tu možnost) je rozhodující, zda daný systém bude použit k přímému řízení dynamického procesu, nebo na vyšší úrovni jako nadřazený systém sloužící např. pro vizualizaci procesu.

Sběrnice pro přímé řízení dynamických procesů

Musí umožnit pravidelný přístup ke všem funkčním jednotkám komunikačního systému.

Vlastnosti sběrnice: - chyba musí být detekována a v případě, že nastane, data se ignorují, nesprávný odběr nelze opakovat
- délka datového segmentu (telegramu) musí být ve všech případech stejná a obvykle velmi krátká, aby doba mezi opakovanými přístupy k jednotlivým funkčním jednotkám odpovídala dynamice řízeného procesu.

Průmyslové sběrnice s přenosovým protokolem vyhovujícím těmto podmínkám se obvykle označují jako *Sensor-Actor Bus*.

Jejich nevýhodou je zejména komplikovaný přenos delších datových souborů, které je nutné segmentovat (např. při programování inteligentního senzoru), a nízký stupeň využití přenosové cesty (u krátkých datových segmentů je podíl informačních znaků v telegramu malý, navíc se musí v mnoha případech přenášet i segmenty s nulovým Informačním obsahem).

Sběrnice pro komunikaci s nadřazenými systémy

Pro řízení na vyšší úrovni, kdy řídicí jednotka komunikuje vesměs s podřízenými subsystémy a nezúčastní se přímo regulace dynamického děje, jsou požadavky na komunikační protokol odlišné.

Není zde požadován pravidelný (časově ekvidistantní) přístup ke všem funkčním jednotkám, ale naproti tomu je požadováno co nejefektivnější využití přenosové cesty vzhledem k většímu objemu přenášených dat.

Je tedy nutné zajistit: opakování přenosu poškozeného datového segmentu, aby v případě chyby při přenosu nedošlo ke ztrátě přenášených dat;
proměnnou délku datových segmentů (v případě potřeby);
rychlou detekci žádosti o přerušeni od kterékoliv funkční jednotky.

Pochopitelně žádná průmyslová sběrnice nemůže optimálně vyhovět oběma výše uvedeným požadavkům současně. Existují průmyslové sběrnice, u nichž je komunikační protokol a někdy i topologie navržena tak, aby byly optimálně splněny požadavky nutné při přímé regulace dynamického děje (např. Interbus-S, Profibus DP), jiné jsou naopak optimalizovány pro komunikace s podřízenými subsystémy (např. Profibus FMS). Většinou se však jedná o jistý kompromis umožňující s určitým omezením oba režimy činnosti.

Současně byly v posledních letech vyvinuty, a to zejména pro jednoduché aplikace a subsystémy, sběrnice (např. AS-Interface, Profibus PA) nebo proudové smyčky (např. Interbus-Loop), u kterých se pro přenos dat i pro napájení čidla nebo akčního členu používají jedny a tytéž společné vodiče. Tato kombinace s sebou sice přináší značné zjednodušení kabeláže, rychlost přenosu dat je ale poměrně malá.

Profibus

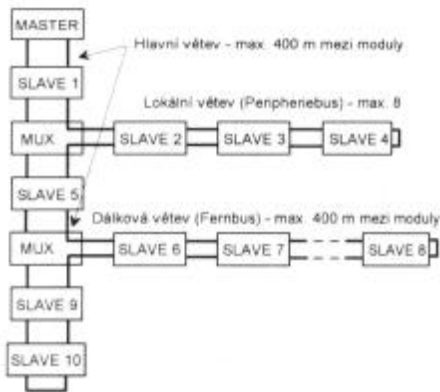
Pod označením Profibus jsou v Evropské unii (EN 50170) normalizovány tři průmyslové sběrnice. Původní Profibus je nyní označován Profibus-FMS (*Fieldbus Message Specification*) a je určen zejména pro náročné aplikace, především pro komunikaci řídicího systému s podřízenými subsystémy. Maximální délka sběrnice je 1,2 km (4,8 km při použití opakovačů), přenosová rychlost je maximálně 500 kb/s. Jako přenosové médium je použit kroucený dvoudrát se stíněním, přičemž všechny stanice jsou galvanicky oddělené. Pro optimální využití přenosového kanálu používá Profibus-FMS tři typů datových segmentů (telegramů) - řídicí rámec, datový rámec pevný a datový rámec proměnný. Přístupová metoda sítě může být *token passing*, *master-slave* nebo hybridní.

Právě, složitost a vysoká cena řešení byly příčinou toho, proč pro aplikace na úrovni regulace a automatizace jednoduchých procesů byla vyvinuta a normalizována jednodušší verze pod názvem Profibus-DP (*Decentralized Periferie*). Ta využívá opět stíněné sběrnice RS-485 s galvanickým oddělením jednotlivých stanic, ale předpokládá větší maximální přenosovou rychlost. Je určena pro úroveň senzor- akční člen a má definovanou dobu přístupu řídicí stanice k jednotlivým podřízeným stanicím.

Další modifikace s názvem Profibus-PA je určena pro jednoduché aplikace nebo subsystemy. Používá též dvoudrátovou sběrnici, ta se však v tomto případě používá nejen pro přenos dat, ale i pro napájení čidel nebo akčních členů s malým příkonem.

Interbus-S

Interbus-S patří mezi nejrozšířenější sběrnice používané pro přenos dat a zpráv na úrovni senzor- akční člen. Na rozdíl od ostatních uvedených průmyslových sběrnic má kruhovou topologii s možností větvení.



Obr. 8. Struktura průmyslové sběrnice Interbus-S

Celým systémem je vedena hlavní páteř, od které odbočují lokální (krátké) nebo rozsáhlé (dlouhé) boční větve. Připojení těchto větví (jejich aktivaci) umožňují přepínače. Sběrnice RS-485 tedy prochází všemi aktivními stanicemi. Způsob řízení je centrální (*master.-slave*) a systém může obsahovat až 256 stanic. Výhodou tohoto uspořádání je jednoduchá diagnostika provozuschopnosti systému kterou provádí průběžně řídicí stanice.

Z hlediska poruch jednotlivých stanic není kruhová struktura příliš výhodná, protože porucha jedné stanice (jejího komunikačního rozhraní) může vyřadit celý systém. V případě takovéto poruchy řídicí stanice identifikuje vadnou stanici, kterou je nutné překlenout, popř. vyměnit.

CAN

Průmyslová sběrnice CAN (Controler Area Network) byla původně vyvinuta pro použití v automobilech a jiných mobilních prostředcích s cílem nahradit čím dál složitější klasickou kabeláž síťovým propojením senzorů a akčních členů. V posledních letech je stále častěji používána i v oblasti průmyslové automatizace. Je tomu tak zejména z následujících důvodů:

- jednoduchost komunikačního protokolu s objektově orientovaným přenosem informací
- jedinečné vlastnosti a velký výkon zvláště v případě časově kritických aplikací (velmi krátká latentní doba pro prioritní zprávy, krátké délky datových segmentů umožňující rychlé reakce
- dostupnost levných speciálních komunikačních procesorů od firem Bosch, Intel, Phillips a dalších
- mezinárodní standardizace
- jednoduchá implementace pro distribuované aplikace
- dostupnost výkonných a přitom poměrně levných vývojových a testovacích prostředků

Na základě průmyslové sběrnice CAN vznikly i další průmyslové systémy využívající shodnou definici vrstvy 1 a 2, ale lišící se protokolem aplikační vrstvy 7. Jedná se především o systém DeviceNet rozšířený zejména v USA a systém SDS (*Small Distributed Systems*) firmy Honeywel, který ale může využívat i jiné typy fyzické vrstvy (RS-485, optické vlákno).

VIZUALIZACE A MONITOROVÁNÍ PROCESŮ

Slouží k monitorování řízené technologie a ovládání distribuovaných řídicích systémů z jednoho pracoviště. Umožňují přístup k datům z procesu a zadávání řídicích povelů. Dělí se na:

- 1) Panely operátora
- 2) Vizualizační a dispečerské SW (SCADA / HMI)

Panely operátora

Tvoří rozhraní člověk - stroj, případně člověk - TP. S řídicími systémy komunikují obvykle pomocí průmyslových sběrnic.

- Dělí se na:
- a) Alfnumerické panely
 - b) Textové panely operátora
 - c) Grafické panely operátora

Alfanumerické panely

Tvoří jednosměrné rozhraní mezi člověkem a strojem - umožňují informace pouze sledovat, nikoli zadávat pokyny.

Jsou tvořeny displejem, umožňujícím sledovat stavové veličiny procesu, sdělovat obsluhu důležité informace o stavu stroje, poruchová hlášení a provozní pokyny. Jednotlivé typy se liší technologií displeje (LED, fluorescenční, LCD), počtem řádků, kapacitou paměti a komunikačním rozhraním.

Zprávy je třeba naprogramovat přímo v panelu pomocí externí klávesnice nebo vhodným SW v režimu off - line na PC a uložit v paměti panelu (EEPROM).

Textové terminály

Jsou tvořeny displejem s klávesnicí a umožňují zobrazovat textové zprávy z TP a nastavovat data v řídicím systému. Princip je obdobný jako u alfanumerických panelů.

Grafické terminály

Umožňují na svém displeji definovat několik technologických snímků (obrazovek), tvořených textovými i grafickými objekty. Objekty jsou inicializovány událostmi TP, případně stavem řídicího systému nebo komunikační linky.

Grafické terminály jsou tvořeny displejem s normální LCD nebo dotykovou (Touch screen) obrazovkou. Klávesnice má většinou sadu funkčních kláves, numerické a kurzorové klávesy, Enter a Back Space.

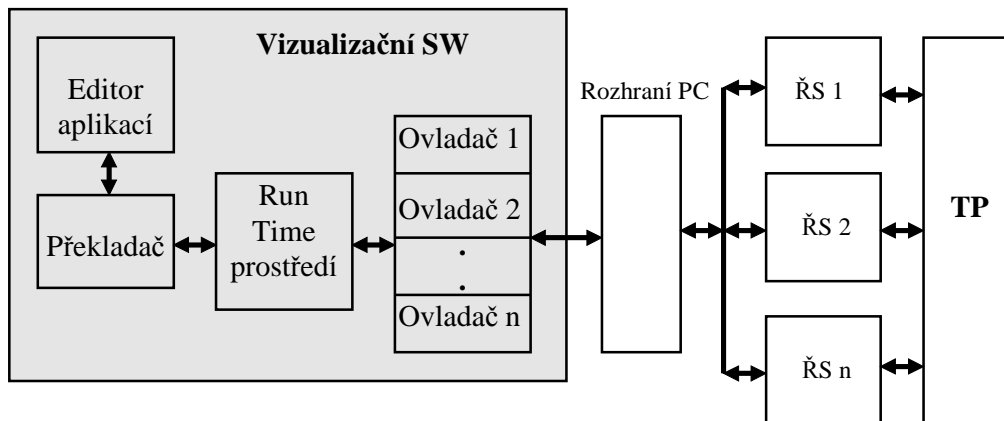
Terminály se programují pomocí speciálního grafického SW na PC. Vytvořené programy jsou kompilátorem přeloženy a pomocí vhodného ovladače se přenesou do paměti panelu (RAM, EEPROM).

Vizualizační SW

Jsou grafické, uživatelsky orientované programy, umožňující tvorbu operátorských a dispečerských pracovišť s možností monitorování, kontroly chodu a řízení TP. Jsou převážně určeny pro PC s operačními systémy Windows NT /95, MS-DOS, OS/2.

Základní složky vizualizačního SW:

- Editor aplikací
- RunTime prostředí
- Ovladače



Obr. 24 Složky vizualizačního SW

Editor aplikací

Je vývojové prostředí pro tvorbu technologických snímků. Může být grafické (nejčastěji), textové nebo kombinované.

Nástroje editoru aplikací:

- přístroje - tlačítka, přepínače, indikátory, ručkové nebo digitální měřicí přístroje, texty, potenciometry, osciloskopy, zapisovače atd.
- alarmy - hlášení mezních stavů sledovaných signálů textovými okny, grafickými symboly, zvukem (soubory typu *. Waw).
- trendy - průběhy současných i historických fyzikálních veličin. Ukládají se do databázových formátů.
- protokoly - systém generuje ve vazbě na definované události textové zprávy
- receptury - systém umožňuje archivovat sady dat (např. parametry směsí, rozměry výrobků). Operátor má možnost recepturu vybrat a poslat např. do PLC - rychlá změna parametrů výroby.

RunTime prostředí

Je jádrem vizualizačního SW zpracovávající v reálném čase data z TP podle parametrů nastavených v editoru aplikací.

Ovladače

Transformují data z řídicích prostředků (PLC, IPC, ZMD,) do podoby srozumitelné RunTime prostředí vizualizačního SW.

REGULÁTORY SPOTŘEBY

Proč regulovat spotřebu?

Velké energetické zdroje (tepelné a jaderné elektrárny) se jen obtížně regulují, pro elektrorozvodnou síť jsou proto nežádoucí velké výkyvy ve spotřebě. Řešením je regulace na straně spotřeby. Rozvodné společnosti se snaží motivovat své odběratele na plánovaném, pokud možno plynulém a rovnoměrném odběru elektrické energie. Slouží k tomu poměrně komplikovaný tarifní systém. Pro každého velkoodběratele je smluvně dohodnut průběh spotřeby v průběhu dne, jako podklad pro dlouhodobé plánování dodávky.

Aniž bychom zabíhali do zbytečných detailů, popíšeme pravidla pro nejrozšířenější třídu "středních velkoodběratelů", po kterých je požadováno dodržení rovnoměrné spotřeby v "pásmu vysokého tarifu", tj. v době která se zhruba kryje s ranní a odpolední směnou většiny provozů. Spotřeba se měří v rámci čtvrt hodinových intervalů. Uvnitř intervalu může mít spotřeba libovolný průběh, celková činná práce však nesmí překročit čtvrt hodinové maximum.

Za překročení čtvrt hodinového maxima je odběratel tvrdě penalizován. Odběratelé se proto jistí dohodnutím vyšší hodnoty technického maxima. Ani ta však není zadarmo - významná složka platby je totiž úměrná hodnotě smluvně dohodnutého technického maxima, jako motiv proti nasmlouvání nereálně vysokých hodnot. Nepřímo je tak odběratel penalizován i za jejich nevyčerpání.

Pro velké odběratele platí složitější pravidla. Rozlišují se tři tarifní pásma během dne (nízký, vysoký a špičkový tarif), je třeba dodržovat denní odběrové diagramy, přizpůsobit se režimu regulačních stupňů, případně respektovat individuálně dohodnutá pravidla.

Pokud je energetik odkázán jen na své regulační zásahy, musí si ponechat poměrně velkou rezervu a jeho odběrní režim bývá od optimálního značně vzdálený. Podstatně lepší výsledky dokáže zajistit kvalitní regulátor spotřeby ("regulátor čtvrt hodinového maxima"). Ten na nezbytně nutnou dobu a podle zvolených pravidel automaticky odpojuje spotřebiče nebo omezuje jejich spotřebu, v krajním případě žádá o ruční zásah. S kvalitním regulátorem lze významně snížit hodnotu smluvního technického maxima a bezpečně ji dodržet.

Finanční úspory dosažené regulátorem spotřeby bývají překvapivě vysoké (často v řádu desítek až stovek tisíc Kč měsíčně), takže návratnost investice do regulátoru (a obvykle i do nutné změny rozvodů) bývá jen několik měsíců. Významným (a vítaným) vedlejším účinkem je soubor detailních informací o spotřebě, o jejím průběhu a tak nepřímo i o fungování a efektivnosti firmy.

Měření výkonu a práce

Nejčastěji měří regulátory činnou (někdy navíc i jalovou) práci čítáním impulzů z vysílacích elektroměrů. Počet impulzů, násobený konstantami elektroměru (násobící a dělicí faktor) a měřících převodníků (převody napěťových a proudových transformátorů) určuje množství elektrické práce (činné nebo jalové). Průměrnou hodnotu výkonu za sledovaný časový úsek získáme dělením spotřebované práce délkou časového úseku. Obvykle postačuje průměrný výkon, měřený za dobu desítek sekund (typicky 10 až 40 s), výjimečně za kratší interval. Nejmenší měřitelnou hodnotou okamžitého výkonu je čas mezi impulzy z elektroměru.

Některé regulátory používají přímé měření. K přístroji se pak připojují tři fázové vodiče, nulový vodič a vývody z proudových měřících transformátorů nebo z proudových sond).

Měření čtvrt hodinového intervalu

Pro regulaci spotřeby je důležité, aby čtvrt hodinový interval, se kterým pracuje regulátor byl stejně dlouhý, jako interval, za který vyhodnocuje dodavatel své čtvrt hodinové maximum, a aby byl s ním synchronní - i za cenu, že měření dodavatele je méně přesné, než může zajistit regulátor. Proto regulátory přijímají "čtvrt hodinový impuls" a synchronizují s ním svůj algoritmus.

Tradičně dodavatel odměřuje čtvrt hodiny mechanickým časovým spínačem, novější elektronické přístroje obsahují obvod generátoru přesného času, jehož údaj může být korigován povelům dálkového ovládání po rozvodné síti (HDO). Některé regulátory obsahují vlastní časový obvod. Mohou tedy spolehlivě pracovat i při výpadku impulzu od dodavatele, případně mohou rozpoznat a hlásit chybu.

Typy ovládaných spotřebičů

Pro automatickou regulaci jsou ideální setrvačné spotřebiče s dlouhou časovou konstantou na jejichž funkci a efektivnost provozu nemá krátkodobé odpojení významný vliv, ani je nepoškozuje (elektrická topidla, kotle, bojler, ...)

topné kabely, elektrické pece, sušárny, sterilizátory, vyvíječe páry, vzduchotechnika a klimatizace, chladírny a mrazírny, čerpadla, ventilátory a kompresory, dopravníky).

Čím vyšší je poměr regulovaných spotřebičů na celkové spotřebě, tím kvalitnější a stabilnější regulaci lze zajistit, tím větších lze dosáhnout úspor. Poměr by měl být vždy větší, než 1:3 (v krajním případě alespoň nad 1:4). Je nepřijatelné automaticky odpínat a opětně zapínat pracovní stroje (například soustruhy, frézky, pily, lisy, brusky), jeřáby, výtahy a jiné dopravní a manipulační mechanismy. Je však možné je ovládat za spoluúčasti obsluhy a při dodržení bezpečnostních předpisů.

Některé stroje a technologie nepřipouštějí časté zapínání a vypínání. U těžkých motorů je každý rozběh spojen se značnou energetickou ztrátou. Není tedy možné přímo je ovládat jednoduchým regulátorem spotřeby. Přesto se mohou podílet na regulaci spotřeby, ovšem s daleko složitějšími algoritmy, které respektují jejich specifika i požadavky celku, do něhož jsou začleněny.

Způsoby ovládání spotřeby

Regulátory obvykle ovládají své kanály dvoupolohově: vypnout - zapnout. Některé spotřebiče lze však ovládat spojitě nebo ve více stupních, a to i v případech kdy je přímé vypnutí nepřijatelné (např. frekvenční měniče). Obdobně lze například snížit příkon osvětlovacích systémů spojitým snížením jasu nebo vypnutím určité sekce. Vícestupňový charakter mají spotřebiče, složené z několika sekcí (elektrické pece, soustavy topidel a podlahového vytápění, osvětlovací systémy, chladicí zařízení a jejich příkon lze stupňovitě redukovat, aniž by bylo nutné je vypínat,

U regulovaných pohonů ventilátorů a čerpadel lze redukovat jejich výkon snížením otáček prostřednictvím frekvenčního měniče nebo regulátoru pohonu (plynulou změnou nebo nespojitě v několika stupních). Výkon některých strojů nebo linek lze regulovat nepřímo jejich odlehčením, omezením toku vstupní suroviny (například u mlýnů nebo drtičů toho lze dosáhnout zpomalením nebo vypnutím pasového dopravníku nebo omezením či zastavením dodávky zpracovávané suroviny),

Vždy však zůstává soubor spotřebičů, které nejsou regulovány (nelze je regulovat nebo to není účelné - bezpečnostní osvětlení, drobné spotřebiče v kancelářích, roztroušené a nepravdělně používané spotřebiče, nepřerušitelné spotřebiče). Tvoří pozadí spotřeby které, ač není regulováno, významně ovlivňuje průběh a kvalitu regulace tím, že do procesu vnáší prvek náhodnosti a časové nestálosti (poruchová veličina).

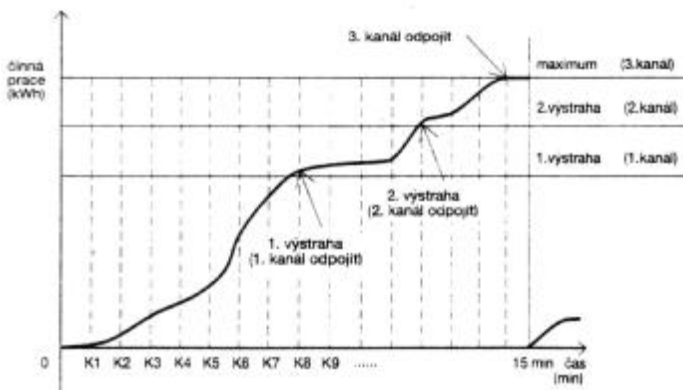
Algoritmy regulace

Časová nespojitost, krok regulace

Proces regulace probíhá v oddělených časových okamžicích (krocích), aby před každým rozhodováním byl čas na měření a na rozpoznání účinku předchozího zásahu. Členěním do kroků se omezuje i rychlé střídání aktivity kanálů (odpínání a zapínání téhož kanálu). Interval bývá řádově desítky sekund (typicky 30s). Kmitání výstupů dále omezi zařazení pásma necitlivosti, případně hystereze, do rozhodovacího algoritmu.

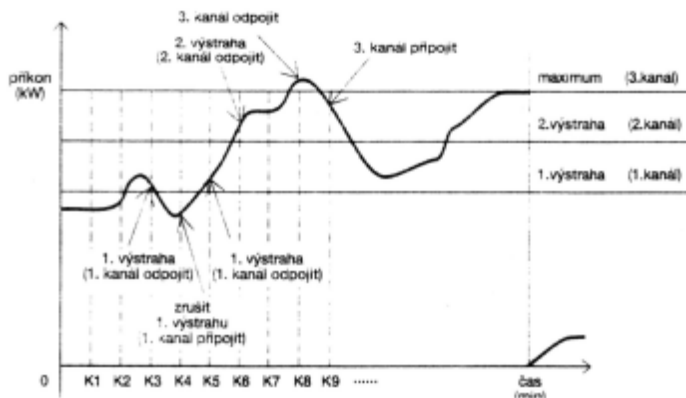
Hladinové algoritmy

S hladinovými algoritmy pracují jen nejjednodušší a nejlevnější regulátory. Je v nich vyhodnocována buď činná práce spotřebovaná od začátku čtvrt hodinového intervalu nebo činný výkon, zprůměrovaný za určitý interval. Obvykle je ovládan jen jediný kanál se spotřebiči případně jeden nebo dva kanály pro výstrahu. Významné je pevné přiřazení výstupních kanálů k jednotlivým úrovním (hladinám) sledované veličiny (práce nebo výkonu). Na obr.2 je příklad hladinového regulátoru, který vyhodnocuje činnou práci ve čtvrt hodinovém intervalu.



Obr. 2. Hladinový algoritmus s vyhodnocením činné práce.

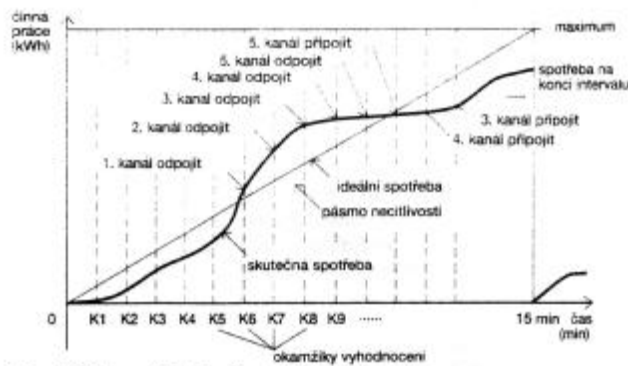
Obdobný algoritmus, který reguluje příkon (výkonový algoritmus) je na obr.3. Aktuální průměrný výkon je měřen a počítán od minulého kroku a je porovnáván s hodnotou průměrného čtvrt hodinového výkonu (čtvrt hodinového maxima). Ve svém důsledku je "přísnější", než ostatní algoritmy. Za určitých předpokladů a s výhradami může být využit jako "omezovač proudu".



Obr. 3 Hladinový algoritmus s vyhodnocením výkonu

Sekvenční algoritmy

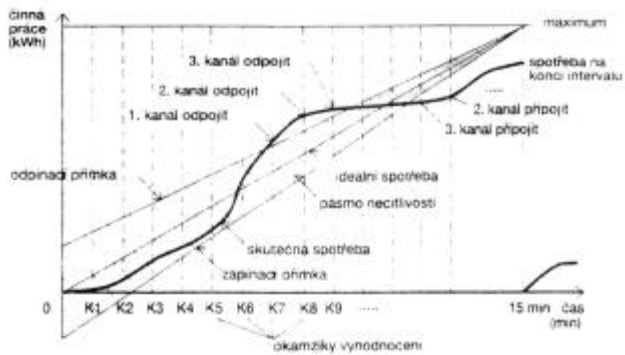
U sekvenčních algoritmů není pevné přiřazení událostí a výstupních kanálů. Opakovaný výskyt stejné události (např. překročení mezní práce) postupně ovlivňuje další kanály. Například hladinový algoritmus dle obr.2 bychom mohli změnit na sekvenční tak, že při překročení první hladiny odpojíme první kanál a v následujících krocích budeme postupně odpinat druhý, třetí, atd. Na obr.4 je jako příklad uveden průběh kompenzačního algoritmu. Spočívá v měření činné práce v rámci čtvrt hodinového intervalu. Střední přímkou popisuje ideální průběh spotřeby při příkonu, který



Obr. 4. Sekvenční algoritmus kompenzační.

odpovídá nastavené hodnotě čtvrt hodinového maxima. Pokud je činná práce od začátku čtvrt hodinového intervalu vyšší, než odpovídá ideálnímu průběhu (poloha nad přímkou), je příkon snížen odpojením spotřebičů na prvním kanále, pokud je vyšší i v dalším kroku, je odpojen druhý kanál, ...atd. Pokud je naopak práce nižší, než odpovídá ideálnímu průběhu, je připojen posledně odpojený kanál, ...atd.

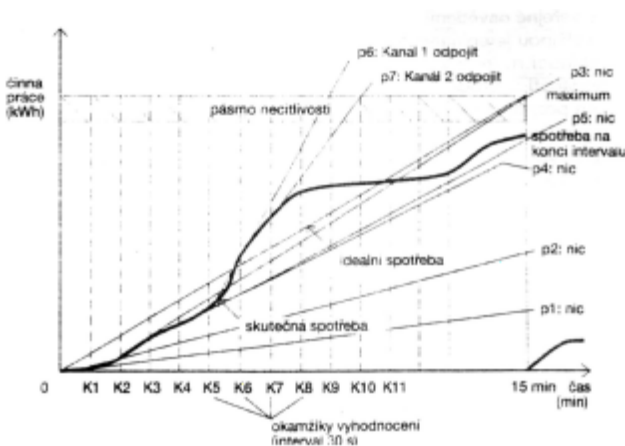
Patrně nejrozšířenější je *kompenzační algoritmus s pásmem necitlivosti*, které je vymezeno dvojicí přímkou a postupně se zužuje ke konci čtvrt hodinového intervalu - obr.5. Proces připojování a odpinání kanálů se odehrává na hranicích pásma necitlivosti (na zapínací a na odpinací přímce). Důsledkem je lepší stabilita, patrná z porovnání obr.4. a 5.



Obr. 5. Sekvenční algoritmus kompenzační s pásmem necitlivosti.

Trendový algoritmus

0 připojení nebo odpojení výstupního kanálu rozhoduje nikoliv podle současné spotřeby, ale podle jejího trendu, tj. podle předpokládané spotřeby na konci čtvrt hodiny, vypočtené ze současné spotřeby a současného příkonu. Existují různé mutace tohoto algoritmu, které se liší způsobem výpočtu průměrného výkonu a strategií rozhodování.



DISTRIBUOVANÉ ŘÍZENÍ BUDOV

Inteligentní budovy

Z pohledu architektonického se za inteligentní považují budovy, zajišťující maximální energetickou úspornost a způsobující minimální ekologickou zátěž pro své okolí. V tomto smyslu se blíží pojem *inteligentní* pojmu *solární*.

Z pohledu automatizační techniky bývá pojem *inteligentní* zaměňován za *distribuovaně řízený*. V tomto smyslu se nejčastěji mluví o systémech IRC (Individual Room Control).

IRC systémy

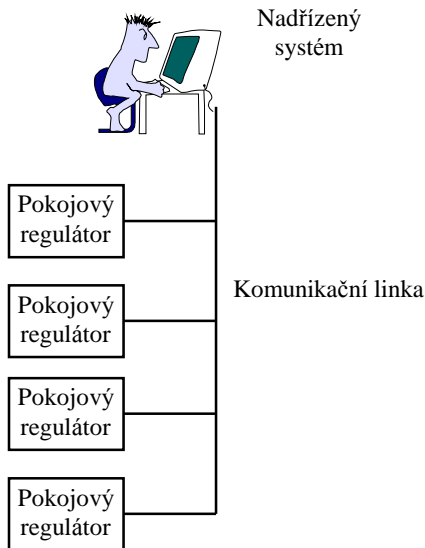
Pojmem IRC označujeme distribuovaný řídicí systém, kde každá místnost (například pokoj v hotelu, na internátě, kancelář, učebna nebo místnost v obytném domě) má svůj řídicí systém (účastnickou stanici), který autonomně ovládá základní funkce svěřeného prostoru, snímá a reguluje, podle zadaného časového programu, podle přítomnosti nebo nepřítomnosti osob a jejich požadavků teplotu.

Snímače přítomnosti osob a snímače otevření oken poskytují systému dostatek informací i pro ovládání světla a zásuvkových okruhů a mohou být využity v centrálním zabezpečovacím systému.

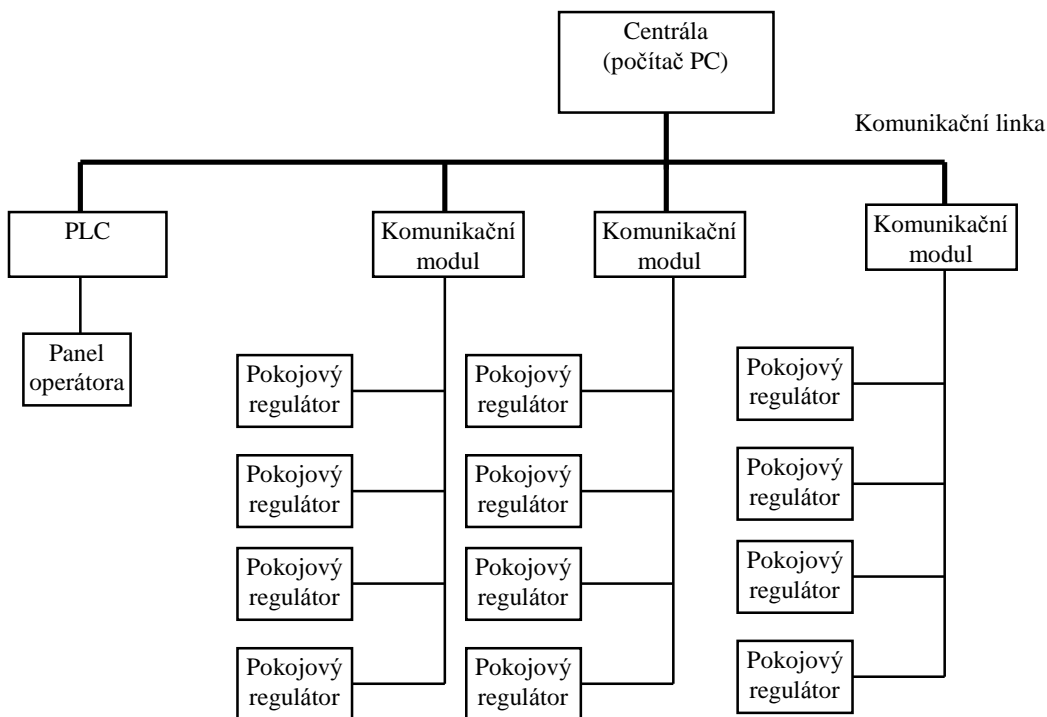
Každý z pokojových regulátorů je komunikační linkou propojen se svým nadřazeným systémem, kterému část svých informací předává a některé přijímá, v účelných případech může být jeho autonomní funkce potlačena a řízení obstará nadřazený systém.

Pro menší objekty postačí dvouúrovňová struktura, v níž je síť pokojových regulátorů nadřazen pouze jeden řídicí systém (obvykle PC).

Pro efektivní řízení větších budov (desítky a stovky místností) je nutná víceúrovňová struktura řídicího systému, kde každá sekce účastnických stanic je podřízena svému podsystému, který součástí sítě systémů své úrovně a současně podřízen systému úrovně vyšší.



Obr. 25 Dvouúrovňová struktura IRC systému



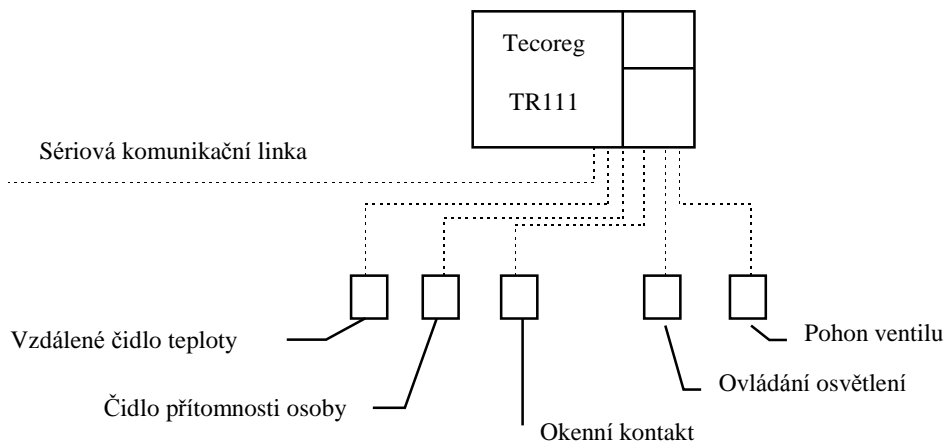
Obr. 26 Příklad tříúrovňové struktury IRC

Pokojevý modul

Pokojevý regulační modul zajišťuje regulaci pokojové teploty prostoru, v němž je instalován. Teplotu reguluje podle svého týdenního programu s ohledem na stav čidel přítomnosti osob a stavu okenních kontaktů. Výstup modulu může ovládat různé typy pohonů dle instalovaného vytápění, požadavku na kvalitu regulace a počet topidel. Zároveň modul zajišťuje ovládání samostatného výstupu, který je možné využít pro ovládání osvětlení nebo podobných spotřebičů

(zásuvkové okruhy apod.) opět s týdenním programem. Regulační modul je schopen pracovat plně nezávisle, ale jeho hlavní využití je v komunikační síti jako součást systému.

Příkladem je pokojový modul Tecoreg TR 111 firmy Tecont, který je součástí IRC systému TR100.



Obr. 27 Pokojový modul Tecoreg TR 111

Funkce

Regulační modul TR111 je osazen mikroprocesorem, který realizuje digitální regulační PI algoritmus. Modul má zabudovaný vnitřní **zdroj reálného času**, který je spolu s pamětí programů a konfiguračních dat zálohován lithiovou baterií při výpadku napájecího napětí. Konfigurace a diagnostika modulu se provádí po sériovém komunikačním rozhraní, jehož aktivita nemá na provoz modulu žádný vliv. Regulační modul je vybaven účinnými prostředky pro zabezpečení provozu za nepříznivých podmínek okolí (rušení, výpadky komunikace apod.).

Uživatel regulovaného prostoru má na modulu k dispozici dvě tlačítka a tři indikační LED diody, které mu umožňují jednoduše upravit teplotní režim místnosti dle momentální potřeby (tzv. **party režim** - tj. na určenou dobu nastavení komfortní teploty a prezentační tlačítko).

Změnu teploty na komfortní dále může zajistit signál z připojeného **čidla přítomnosti osoby**, realizovaného pasivním infračerveným snímačem nebo ručním spínačem umístěným na přístupném místě. Regulační modul zajišťuje vyhodnocení **okenních kontaktů**. V případě, že kterékoli ze sledovaných oken otevřeme, modul uzavře pohony topení. Pouze v případě poklesu teploty pod určenou hodnotu se aktivuje protimrazová funkce a modul otevře pohony. Tato funkce je aktivována v každém režimu modulu.

Čidlo pro měření okamžité pokojové teploty je umístěno uvnitř modulu TR111, v případě potřeby lze připojit **vzdálené čidlo pokojové teploty TR191**.

Regulační modul je připraven pro ovládání **několika druhů pohonů**. Standardně se předpokládá servopohon pro radiátorový ventil, volitelně lze použít termopohon pro radiátorový ventil, pohon ovládaný pulsně šířkovou modulací nebo dvoupolohově řízený pohon (tj. i relé pro elektrické přímotopné vytápění). Pro paralelně zapojené servopohony zajišťuje pravidelnou synchronizaci a proběh ventilů.

Pro **ovládání osvětlení** nebo jiných spotřebičů je modul vybaven samostatným výstupem s vlastním týdenním programem.

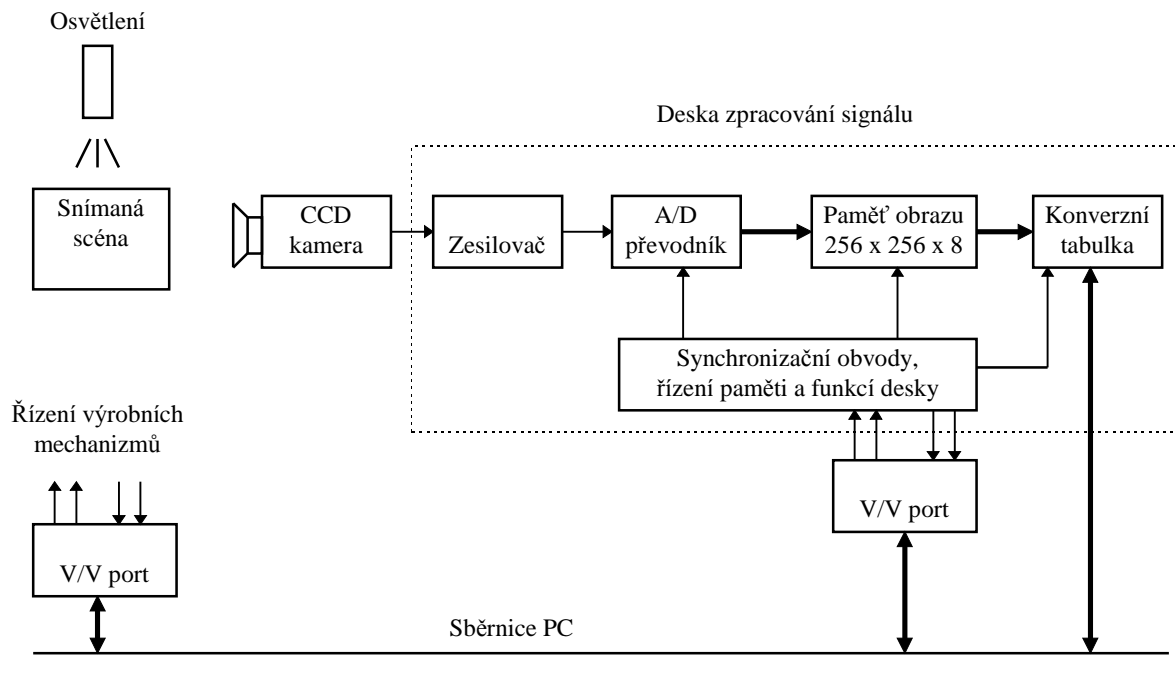
SYSTÉMY UMĚLÉHO VIDĚNÍ

V poslední době se stále častěji objevují průmyslové aplikace, ve kterých jsou nasazeny velmi složité průmyslové snímače. Mezi ně patří i bezdotykové snímače polohy, rozměrů atd.

Mezi systémy umělého vidění budeme zařazovat všechny snímače pracující na principu zpracování obrazu sejmutého kamerou (zpravidla CCD).

Snímací řetězec

Je tvořen kamerou, obvody pro digitalizaci a zpracování videosignálu a počítačem, který programově vyhodnocuje získaný obraz.



Obr. 28 Blokové schéma snímacího řetězce

Kamera snímá objekt, u kterého zjišťujeme rozměry, tvar, polohu atd. Jedná se většinou o CCD kameru (často stačí černobílá), která se vyznačuje malými rozměry a vysokou citlivostí (lze použít i při velmi slabém osvětlení). Jejím výstupem je běžný videosignál, který je možno sledovat na televizním monitoru. Světlocitlivým prvkem je CCD čip obvykle s rozlišením 256 x 256 až 512 x 512 bodů, světlo na něj dopadá přes objektiv s ruční nebo automatickou clonou. CCD kamery mívají automatické řízení zisku, což je výhodné při kolísání osvětlení.

Videosignál prochází přes zesilovač do A/D převodníku, který provádí jeho vzorkování a digitalizaci. Vzorkování je řízeno synchronizačními obvody, takže je vždy známa poloha vzorku v obrazu. Převodník bývá nejčastěji 8-mi bitový, což umožňuje v každém bodě obrazu rozlišit 256 úrovní šedi. Čísla se neustále ukládají do paměti obrazu, ve které vzniká a neustále se obnovuje úplný obraz snímáný kamerou. Podle rozlišovací schopnosti CCD kamery musí mít paměť obrazu kapacitu 256x256 až 512x512 bytů.

Konverzní tabulka - slouží pro rychlou úpravu dat (prahování, logaritmování, vytvoření negativního obrazu atd.). Jedná se o předem programově vyplněnou paměť RAM, přes kterou procházejí data z paměti obrazu do operační paměti PC. Každá z 256 úrovní šedi má v tabulce svou buňku s požadovanou konverzní hodnotou.

Příklady vyplnění konverzní tabulky:

a) obraz se nezmění

Úroveň šedi	0	1	2	3	.....	254	255
Obsah tabulky	0	1	2	3	.....	254	255

b) obraz se změní na negativní

Úroveň šedi	0	1	2	3	.....	254	255
Obsah tabulky	255	254	253	252	.....	1	0

c) prahování (vytvoříme binární obraz s prahovou hodnotou 100)

Úroveň šedi	0	1	2	.....	99	100	101	102	.....	255
Obsah tabulky	0	0	0	0	0	0	255	255	255	255

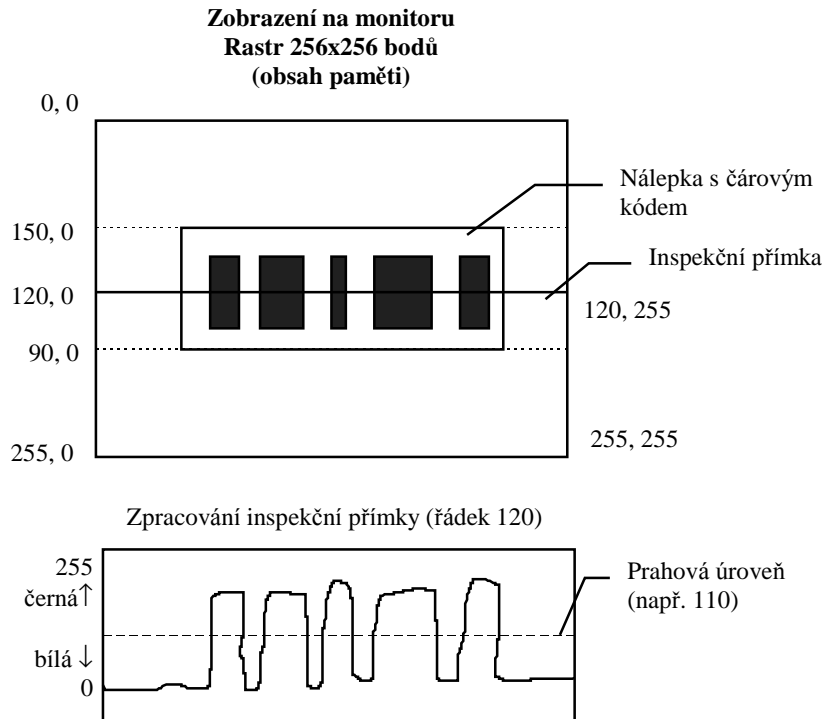
Vlastní zpracování obrazu obstarává počítač. v době zatemňovacích impulzů čte z paměti požadovaná data a dále je zpracovává. Vzhledem k tomu, že množství dat z jednoho obrazu je vysoké, je jejich zpracování časově náročné (jen při rozlišení 256x256 bodů a 8-mi bitové digitalizaci se jedná o 64 kB). Proto se v jednodušších aplikacích se vybírá z obrazu jen určitá část (tzv. inspekční obrazce), množství dat se tím redukuje na několik stovek bytů a jejich zpracování je rychlé.

Příklad - snímání čárového kódu z výrobků

V aplikacích, kde není možné využít tradiční metody snímání čárového kódu, použijeme snímání pomocí kamery. Čárový kód je vytištěn na nálepce, která je přilepena na výrobku (obr. xx) .

Kamera snímá osvětlený prostor, kde se nacházejí výrobky, obraz je digitalizován a uložen do paměti obrazu v rastru 256x256 bytů. Její obsah se v době zatemňovacího impulsu (zjistí se pomocí synchronizačních obvodů nebo přerušením) přenáší do operační paměti PC. Konverzní tabulka obraz transformuje na binární.

Zpracování celého obrazu by bylo v této aplikaci zbytečné, protože informace o čárovém kódu nesou všechny řádky 90 až 150. Vybereme tedy pomocí inspekční přímky jeden řádek (nutno volit experimentálně) a data, která budeme zpracovávat se redukuje na 256 byte s obsahem 0, případně 255. Zpracování dat potom spočívá v počítání světlých a tmavých bodů, vyhodnocování náběžných a spádových hran, měření intervalu mezi hranami, filtraci signálu atd.



Obr. 29 Snímání čárového kódu

Podobnými metodami lze zpracovávat i celý obraz, vyhledávat v něm nahodile umístěné předměty, zjišťovat jejich tvar atd. Daná problematika je aktuální zejména v technice robotů (např. při montáži automobilových kol - kolo musí robot natočit podle náhodného natočení čtveřice upevňovacích šroubů), dále např. při kontrole výrobků na výrobních linkách atd.

OBSAH

Základní pojmy	3
Výhody číslicového řízení (vzhledem ke spojitému)	3
Základní principy číslicového řízení	4
Blokové schéma číslicového regulačního obvodu	4
Funkce vstupních obvodů	5
Zpracování signálu v centrální jednotce	6
Funkce výstupních obvodů	7
Teorie číslicových regulačních obvodů	8
Diferenční rovnice	8
Řešení diferenční rovnice	9
Diferenční rovnice regulátorů	11
Transformace Z	13
Základní vlastnosti transformace Z	13
Zpětná transformace Z	14
PŘENOSY UZAVŘENÉHO REGULAČNÍHO OBVODU	15
Technické prostředky diskrétního řízení	16
Řídící počítače	16
Požadované vlastnosti řídicího počítače	16
Spojení řídicího počítače s technologickým procesem	17
Vstupní jednotky styku s prostředím	17
Výstupní jednotky styku s prostředím	19
PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ ŘÍDICÍCH POČÍTAČŮ	19
Operační systém	19
Programy pro vývoj aplikací	19
Komunikační a linkovací programy	19
Dispečerské a monitorovací programy SCADA/HMI	19
Servisní a diagnostické programy	19
Standardní uživatelské programy	19
Inteligentní moduly pro distribuované řízení	19
Moduly ADAM 4000	20
Příklad síťového zapojení modulu ADAM	20
Příklad aplikace s modulem 4011 (termočlánekový modul)	21
Zásuvné měřicí desky do PC	21
Blokové schéma univerzální ZMD	21
Průmyslové komunikační systémy	22
Referenční model OSI (Open System Interconnection)	23
Fyzická vrstva	23
Spojovací vrstva	24
Průmyslové sběrnice	24
Volba typu průmyslové sběrnice	25
Profibus	25
Interbus-S	26
CAN	26
Vizualizace a monitorování procesů	26
Panely operátora	26
Vizualizační SW	27
REGULÁTORY SPOTŘEBY	28
Proč regulovat spotřebu?	28
Měření výkonu a práce	28
Měření čtvrt hodinového intervalu	28
Typy ovládaných spotřebičů	28
Způsoby ovládání spotřeby	29
Algoritmy regulace	29
DISTRIBUOVANÉ ŘÍZENÍ BUDOV	31
Inteligentní budovy	31
IRC systémy	31
SYSTÉMY UMĚLÉHO VIDĚNÍ	33
Snímací řetězec	33