



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz



FAKULTA STROJNÍ

Základy řízení energetických strojů

část 3.

Petr Novotný, Markéta Petříková



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Binární a číslicové řízení	3
Binární kódy	3
BCD kódy.....	4
Kód BCD+3	6
Grayův kód.....	6
Kód 2 z 5	7
Binární logické operace	7
Negace (logická funkce NOT)	9
Disjunkce	9
Konjunkce	10
<i>Shefferova funkce</i>	10
Pierceova funkce (NOR).....	11
Logické kombinační řízení	12
Logické sekvenční řízení	12
Klopné obvody	12
Klopné členy řízené taktovacím (hodinovým) signálem.....	13
Funkční schéma	14
Programovatelné automaty	15
Programovací jazyky.....	17
Nespojitý regulátor	19
Dvupolohový regulátor.....	19
Třípolohový regulátor.....	22
Spojité regulátory.....	23
Číslicová regulace.....	28

Binární a číslicové řízení

Elektronické řídicí systémy pracují s binárními a digitálními (číslíkovými) signály. Řídicí systémy zpracovávající pouze binární signály z řízeného procesu ukládají informace do paměti a na základě vloženého programu je zpracovávají a vysílají řídicí binární signály. Číslíkové řídicí systémy pracují s binárně kódovanými čísly, které do systému vstupují, v řídicím systému se zpracovávají a na základě výsledků zpracování těchto informací se řídí číslicově technologický proces. Zpracování číselných informací se zakládá na aritmetických operacích jako je například sčítání a násobení v jednotkách mikroprocesorů.

V jakýchkoliv číslicových systémech, ať už jsou to počítače, mikroprocesory, mikrokontroléry (angl. microcontroller, používané zkratky: μC , uC nebo MCU je programovatelná elektronická součástka, která má nejčastěji podobu integrovaného obvodu, který dokáže nahradit velké množství logických obvodů a diskrétních součástek, a které jsou již v mikrokontroléru integrovány), nebo jiných logických obvodů, musí být veškerá data vyjádřena v binárním kódu. Binární kód představuje způsob reprezentace informace a lze jej definovat jako konečný počet bitů. Binárních kódů existuje velké množství. Jednotlivé kódy mají různé vlastnosti a používají se v různých situacích.

Binární kódy

Binární kód používá dvojice znaků, písmen nebo čísel. Pomocí binárního kódu mohou být kódovány soustavy s větším počtem znaků (i desítková soustava). Číslíkové řídicí systémy pracují s přirozenou dvojkovou soustavou BCN (Binary Coded Natural). Stejně jako v desítkové soustavě, jsou čísla ve dvojkové soustavě tvořena váhovým kódem. Váhy jednotlivých pozic jsou od desetinné čárky doleva $2^0 = 1$; $2^1 = 2$; $2^2 = 4$; $2^3 = 8$ atd. Na druhou stranu napravo $2^{-1} = 0,5$; $2^{-2} = 0,25$; $2^{-3} = 0,125$;

Příklad:

Určete k dvojkovému číslu 110,101 desítkové číslo stejné hodnoty.

Řešení:

$$110,101 \stackrel{!}{=} 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} = 6,625$$

Počítání s binárními čísly je podobné jako s desítkovými čísly po jednotlivých místech s vytvářením přenosu do vyšších řádů při součtu větším než 1, a

s odebráním 1 z vyššího řádu je-li rozdíl menší než -1 (menšitel je menší než menšenec).

Příklad:

Proveďte součet čísel 6+4 a rozdíl 10-4 ve dvojkové soustavě.

Řešení:

$$\begin{array}{r}
 110 \\
 + 100 \\
 \hline
 1010 \neq 10
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 1010 \\
 - 100 \\
 \hline
 0110 \neq 6
 \end{array}$$

Postup při sčítání je zprava doleva: $0 + 0 = 0$; $0 + 1 = 1$; $1 + 1 = 0$ s přenosem 1 na 4. pozici. Při odčítání se postupně odčítají zprava doleva: $0 - 0 = 0$; $1 - 0 = 1$; $0 - 1 =$ odčítat nelze a proto pracujeme s vyšším řádem, a sice $10 - 1 = 1$, neboť ve dvojkové soustavě je $1 + 1 = 10$.

Při násobení se mohou dílčí součiny zapisovat pod sebe a potom sečíst jako při práci s desítkovými čísly. Obdobně postupujeme při dělení.

Příklad:

Vynásobte desítková čísla $8 \cdot 3$ ve dvojkové soustavě vydělte $6 : 4$.

Řešení: $1000 \cdot 11$

$$\begin{array}{r}
 1000 \\
 \underline{1000} \\
 11000
 \end{array}
 \qquad
 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 24$$

$$110 : 100 = 1,1$$

$$\begin{array}{r}
 \underline{100} \\
 100 \\
 \underline{100}
 \end{array}
 \qquad
 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} = 1,5$$

BCD kódy

K zápisu desítkových číslic pomocí binárních znaků se používají BCD kódy (Binary Coded Decimal). Pomocí čtyř binárních znaků je možné zapsat 16 znaků například hexadecimálních číslic, třemi binárními znaky osm znaků.

K zakódování desítkových číslic je potřeba čtyř binárních znaků. Kódy, které neodpovídají žádnému znaku, jsou nadbytečné (redundantní). Tyto znaky je možné použít na detekci chyb, případně na jejich korekci. Výhodou kódu

Dekadické číslo	Binární kód		BCD 8421	
0	0000	0000	0000	0000
1	0000	0001	0000	0001
2	0000	0010	0000	0010
3	0000	0011	0000	0011
4	0000	0100	0000	0100
5	0000	0101	0000	0101
6	0000	0110	0000	0110
7	0000	0111	0000	0111
8	0000	1000	0000	1000
9	0000	1001	0000	1001
10	0000	1010	0001	0000
11	0000	1011	0001	0001
12	0000	1100	0001	0010
13	0000	1101	0001	0011
14	0000	1110	0001	0100
15	0000	1111	0001	0101
16	0001	0000	0001	0110
17	0001	0001	0001	0111
:	:	:	:	:

BCD je snadnost převodu čísla, které je vyjádřeno v kódu BCD, do formátu čitelného pro obsluhu řídicí techniky. Další výhodou je převod dekadických čísel beze ztráty přesnosti. Při převodu desetinného dekadického čísla do binárního tvaru se může stát, že číslo v binární soustavě bude periodické a vzhledem ke konečnému počtu bitů, který pro čísla používáme, bude číslo zaokrouhleno. Při zpětném převodu do dekadického tvaru pak nemusíme získat úplně stejné číslo. (Např. dekadické

číslo 0,2 je v binární soustavě periodické číslo 0,0011. V kódu BCD je toto číslo neperiodické: 0,0010). Nevýhodou kódu BCD ve srovnání s běžnými binárními kódy je pak menší efektivita při využití paměti (do jednoho bajtu lze uložit pouze 100 různých čísel v kódu BCD, zatímco ve standardním binárním kódu je to 256 hodnot) a také složitější implementace základních aritmeticko-logických operací.

Čísla u BCD kódu v tabulce 8421, ve spodní části, vyjadřují váhy jednotlivých

BCD 8421				
				0
			■	1
		■		2
		■	■	3
	■			4
	■		■	5
	■	■		6
	■	■	■	7
■				8
■			■	9
8	4	2	1	

BCD +3				
		■	■	0
	■			1
	■		■	2
	■	■		3
	■	■	■	4
■				5
■			■	6
■		■		7
■		■	■	8
■	■			9

bitů. Mají stejnou váhu jako u standardního binárního kódu, proto jsou také dekadická čísla 0 až 9 vyjádřená ve standardním binárním kódu a v kódu BCD 8421 shodná. Pro aritmetické operace v kódu 8421 je potřeba použít jiné algoritmy, než které jsme uváděli. Popis těchto algoritmů není předmětem této publikace.

Kód BCD+3

slouží rovněž k binárnímu kódování dekadických čísel a má více názvů v literatuře. Od kódu BCD 8421 se odlišuje tím, že nezačíná od čísla 0000, nýbrž od čísla 0011 (dekadicky 3). Dekadické číslo vyjádříme v kódu BCD+3 tak, že vezmeme jeho čtyřbitovou binární hodnotu a přičteme k němu binární hodnotu čísla 3. Hlavní výhodou kódu BCD+3 je snadné vytváření doplňků pouhou inverzí všech bitů. Jednotlivé bity nemají váhu jako v předchozím kódu 8421.

Kód BCD 2421

BCD 2421				
				0
			■	1
		■		2
		■	■	3
	■			4
■		■	■	5
■	■			6
■	■		■	7
■	■	■		8
■	■	■	■	9
2	4	2	1	

Grayův				
			■	0
		■	■	1
		■		2
	■	■		3
	■			4
■	■			5
■	■			6
■		■		7
■		■	■	8
■			■	9

představuje další alternativní binární kódování dekadických čísel. Až do čísla 4 (dekadicky) je tento kód shodný s binárním nebo BCD kódem. Od čísla 5 odpovídá číslo v kódu BCD 2421 binárnímu číslu o šest většimu. V tomto případě lze rovněž snadno vytvářet doplňky pouhou inverzí všech bitů.

Grayův kód

je binární kód, u kterého se dvě po sobě jdoucí číselné hodnoty liší vždy pouze v jednom bitu. Grayův kód je spolu s kódem BCD+3 příkladem neváhového binárního kódu. Motivací pro vznik tohoto kódu bylo vyloučení výskytu chybné hodnoty při přechodu mezi dvěma po sobě jdoucími stavy. Původně se tento problém týkal elektromechanických přepínačů, stejný problém však může nastat např. u asynchronního čítače. U standardního binárního kódu se při přechodu mezi některými po sobě jdoucími číselnými stavy mění hodnoty více než u jednoho bitu. Například při přechodu mezi sedmičkou a osmičkou se mění hodnoty čtyř bitů současně. Vzhledem k tomu, že vnitřní klopné obvody logického obvodu se překlápí s konečnou rychlostí, nelze v reálném systému zaručit, aby se změnilo více logických úrovní na výstupu obvodu v přesně stejný

okamžik. Pokud bychom např. připojili na výstupy klasického asynchronního binárního čítače synchronní obvod, který by vzorkoval své vstupy s dostatečně velkým kmitočtem, může se stát, že při přechodu mezi stavy sedm a osm zachytí tento synchronní obvod teoreticky i několik neplatných mezistavů. Při použití Grayova kódu se toto nestane. Grayův kód používá mimo jiné pro usnadnění opravy chyb v digitální komunikaci. S Grayovým kódem se rovněž můžete setkat u některých snímačů polohy nebo natočení, kde se tímto způsobem eliminuje detekce chybné hodnoty při přechodu mezi dvěma sousedními polohami.

Kód 2 z 5

2 z 5					
1	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	1	2
0	0	1	1	0	3
0	1	0	0	1	4
0	1	0	1	0	5
0	1	1	0	0	6
1	0	0	0	1	7
1	0	0	1	0	8
1	0	1	0	0	9

Tento kód musí obsahovat vždy dvě jedničky a tři nuly. K dispozici máme pět binárních pozic. Počet možných kombinací dvou jedniček na pěti pozicích dává deset možností. Dojde-li z nějakého důvodu k chybnému přenosu dat, bude přečten jiný počet bitů, než stanovuje kód, je indikována chyba, na kterou systém upozorní a umožní opravu, například opakování přenosu dat.

Binární logické operace

Při zpracování malého počtu signálů stačí použít jednoduché přímé řízení. U technologie s mnoha vstupy a výstupy probíhá zpracování informací na úrovni logických proměnných pomocí programu, který je uložen mikrokontroléru, programovatelném automatu, nebo v počítači. Řídicí binární systém realizuje logické operace na základě získaných informací, binárních signálů.

Signály, které se zpracovávají, mohou být generovány mechanicky, pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky. Převádí se do hodnot logických signálů, které se zpracovávají pomocí logických funkcí, jejichž pravidla jsou definována Booleovou algebrou.

George Boole žil v první polovině devatenáctého století, byl významným anglickým matematikem, který se zabýval zejména logikou a její redukcí na

jednoduchou algebru. Protože do matematiky logiku zavedl, byla po něm algebra logiky později pojmenována jako booleovská.

K nejdůležitějším zákonům patří:

Komutativní zákony (při operacích AND a OR je možné změnit pořadí operandů)

Asociativní zákony (operandy spojené stejným typem operace je možné sdružovat do skupin pomocí závorek)

Distributivní zákony (operaci před závorkou je možné aplikovat postupně na operandy v závorce a tím vytvořit nové závorky)

De Morganovy zákony (negace konjunkce je rovna disjunkci negací, nebo negace disjunkce je rovna konjunkci negací)

Booleova algebra je dvouhodnotová logická algebra, používající log. součtu, součinu a negace jako úplného systému základních logických funkcí. Používá se k úpravě a zjednodušování (minimalizaci) logických funkcí. Obsahuje následující zákony a pravidla:

1. Pravidlo agresivnosti a neutrálnosti hodnot 0 a 1

$$X + 1 = 1 \quad X + 0 = X$$

$$X \times 0 = 0 \quad X \times 1 = X$$

2. Pravidlo komutativní

$$X + Y = Y + X \quad X \times Y = Y \times X$$

3. Pravidlo asociativní

$$X + (Y + Z) = (X + Y) + Z = X + Y + Z$$

$$X \times (Y \times Z) = (X \times Y) \times Z = X \times Y \times Z$$

4. Pravidlo distributivní

$$X + (Y \times Z) = (X + Y) \times (X + Z) \quad X \times (Y + Z) = X \times Y + X \times Z$$

5. Pravidlo absorpce

$$X + X = X \quad X \times X = X$$

$$X + X \times Y = X \quad X \times (X + Y) = X$$

6. Pravidlo absorpce negace

$$X + \bar{X} \times Y = X + Y \quad X \times (\bar{X} + Y) = X \times Y$$

$$\bar{X} + X \times Y = \bar{X} + Y \quad \bar{X} \times (X + Y) = \bar{X} \times Y$$

7. Pravidlo o vyloučeném třetím

$$X + \bar{X} = 1 \quad X \times \bar{X} = 0$$

8. Pravidlo dvojité negace

$$\overline{\bar{X}} = X \quad \overline{\overline{X + Y}} = X + Y \quad \overline{\overline{X \times Y}} = X \times Y$$

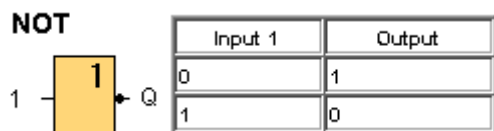
9. Pravidla o vytvoření negace - De Morganovy zákony

$$\overline{X + Y} = \bar{X} \times \bar{Y} \quad \overline{X \times Y} = \bar{X} + \bar{Y}$$

Negace (logická funkce NOT)

je takovou funkcí jedné proměnné, u které má závisle proměnná vždy opačnou hodnotu, než nezávisle proměnná.

Algebraické vyjádření této funkce je: $Q = \bar{a}$



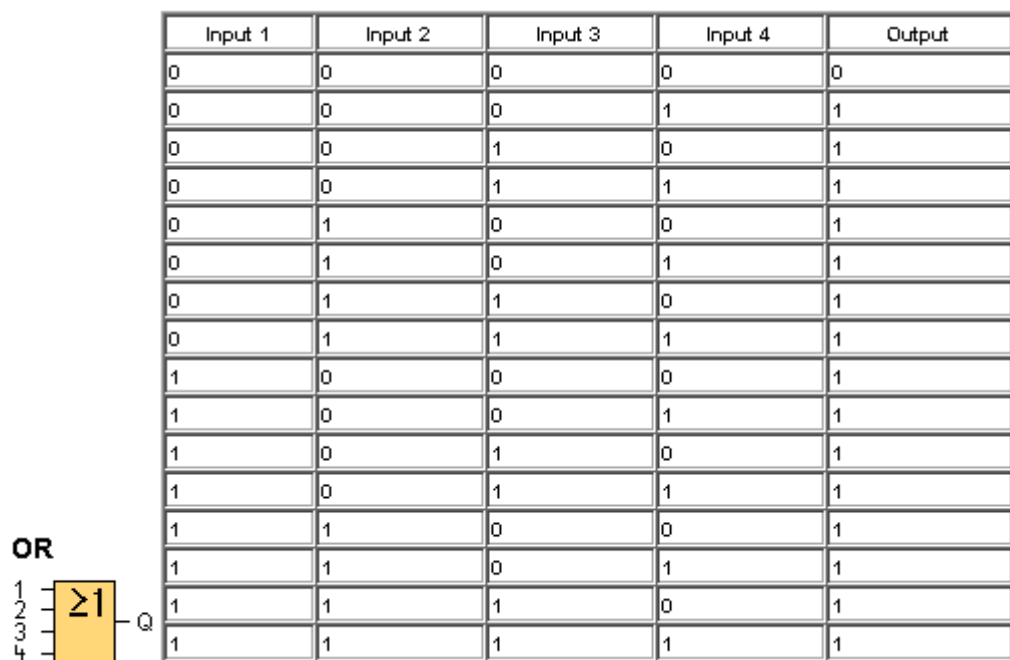
Disjunkce

neboli **logický součet** je takovou funkcí dvou proměnných a, b , že závisle proměnná Q nabývá hodnoty 1 tehdy, je-li a nebo b nebo a i b současně rovno 1.

Nazýváme ji **logický součet**, označujeme ji **OR** (z angl. or – nebo) a v booleovské algebře ji přísluší znak $+$. Znaménko $+$ má odlišný význam než v klasické algebře. Sice $0 + 1 = 1$, také $0 + 0 = 0$, ale $1 + 1 = 1$ (výsledkem samozřejmě nemůže být žádná jiná hodnota než 0 nebo 1). Znaménko se ani nečte jako „plus“, ale jako **nebo**.

Algebraické vyjádření této funkce dvou proměnných je: $Q = a + b$

Tabulka čtyř proměnných a schematická značka.



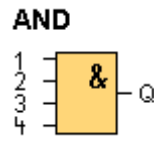
Konjunkce

neboli logický součin je takovou funkcí dvou proměnných a, b , že závisle proměnná Q nabývá hodnoty 1 pouze tehdy, mají-li současně a i b hodnotu 1. V ostatních případech nabývá proměnná Y hodnoty 0. Označení **AND** (z anglického and, česky a, i) a v booleovské algebře jí přísluší znak \times (stejně „krát“, které se používá v klasické algebře). Znaménko nebudeme číst jako „krát“, ale jako **a** popř. **i**.

Algebraické vyjádření této funkce je: $Q = a \times b$

Tabulka čtyř proměnných a schematická značka.

Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Output
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1



Shefferova funkce

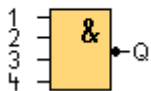
(NAND) je takovou funkcí dvou proměnných a, b , že závisle proměnná Q nabývá hodnoty 0 pouze tehdy, mají-li současně a i b hodnotu 1. V ostatních případech nabývá proměnná Y hodnoty 1.

Algebraické vyjádření této funkce je: $Q = \overline{a \times b}$

Tabulka čtyř proměnných a schematická značka.

Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Output
0	0	0	0	1
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

NAND



Pierceova funkce (NOR)

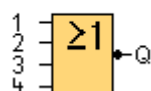
je takovou funkcí dvou proměnných a, b , že závisle proměnná Q nabývá hodnoty 1 pouze tehdy, mají-li současně a i b hodnotu 0. V ostatních případech nabývá proměnná Q hodnoty 0.

Algebraické vyjádření této funkce je: $Q = \overline{a + b}$

Tabulka čtyř proměnných a schematická značka.

Input 1	Input 2	Input 3	Input 4	Output
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0

NOR



Logické kombinační řízení

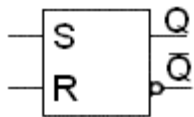
Obvod sestavený z logických součástek, který nemá paměť a jehož výstupy závisí pouze na vstupech, se nazývá logický kombinační obvod. Pro analýzu řešení takové úlohy se sestavuje pravdivostní tabulka, která obsahuje 2^n řádků, kde n je počet vstupních proměnných. Ke všem variacím se přiřadí výstupy logických signálů, vznikne úplná pravdivostní tabulka. Takovouto tabulku je možné realizovat jako řídicí funkci pro dané zařízení. Pokud to okolnosti vyžadují, je možné provést optimalizaci a snížit počet rovnic, které jsou dány pravdivostní tabulkou použitím Booleovy algebry. Pokud vstupních proměnných není velký počet, je možné použít Karnaughovy mapy. Uplatnění kombinační logiky je v například v převodu kódů v číslicovém řízení, kdy je třeba převádět informace v různých kódech anebo při třídění součástek, kdy jsme schopni snímači rozpoznávat některé vlastnosti (například barvy, rozměry, magnetické vlastnosti, polohu součástky). V energetice je potřeba při řízení vycházet i z historie událostí, což kombinační logika neumožňuje.

Logické sekvenční řízení

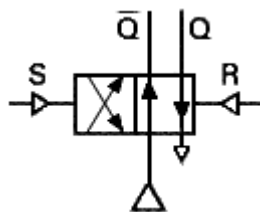
Výstupy logického sekvenčního obvodu závisí nejen na vstupních signálech, ale i na informacích z předchozích provozních stavů (vnitřní paměti). Závisí na sekvenci událostí od výchozího stavu, kdy byl například stroj na počátku svého cyklu.

Klopné obvody

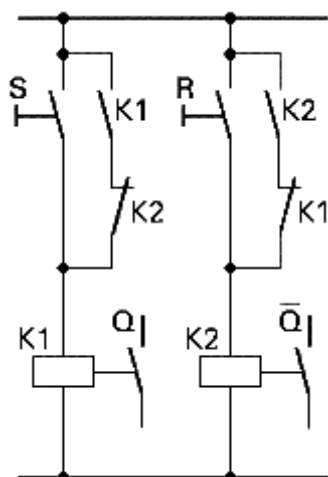
Jednoduchou realizací paměti může být použit bistabilní klopný obvod, označuje se jako RS. Do stavu 1 se nastavuje signálem S (set) a signálem R



(reset) se vrací do výchozího stavu 0. Jeho stav je čten na výstupu Q, negovaný stav na výstupu \bar{Q} . Realizace mohou být mechanické, pneumatické, elektrické a elektronické. Mechanická realizace může být pomocí kolébkového přepínače. Signály R, S jsou reprezentovány na protilehlých koncích kolébky přepínače. Kolébka je napojena na táhla, která představují výstupní signály. Pneumatický



klopný obvod může být realizován dvupolohovým ventilem se čtyřmi výstupy, který je řízen impulzy na vstupu R a S mezi první a druhou polohou. Elektrický klopný obvod má dvě relé se samopřidrznými kontakty. V samopřidrzné větvi je navíc jeden rozpínací kontakt druhého relé. Stlačením tlačítka S projde



elektrický proud cívkou K1 a sepnou se kontakty Q a K1 a rozeprne se kontakt v druhé větvi K1. Tlačítko S uvolníme, vrátí se do původní polohy, ale cívka zůstává pod napětím a signál na výstupu se nemění. Stlačením tlačítka R v druhé větvi se vybudí cívka K2, sepnou se kontakty K2, Q a rozeprne kontakt K2 v první větvi, odpojí cívku K1 od napájení elektrickým proudem a rozeprnou se kontakty K1 a Q a sepnou se rozpínací kontakt v druhé větvi K1. Celý obvod je ve stavu Reset. Dané zapojení nemá ochranu před současným stlačením tlačítka S a R. Elektronické klopné obvody mají dnes většinou podobu integrovaných obvodů a uživatel nemusí nutně znát vnitřní zapojení. Kladné signály na vstupech S a R přestavují klopný obvod.

Klopné členy řízené taktovacím (hodinovým) signálem

se nazývají synchronní klopné obvody. Například u klopného obvodu RS na rozdíl od standardního klopného obvodu je signál na vstupu S účinný jen při řídicím hraně taktovacího (hodinového) signálu. Asynchronní klopné obvody mění svůj stav při změnách na vstupech u synchronních klopných obvodů se mění stav pomocí hran hodinových signálů (impulzů). Mohou měnit svůj stav pomocí nástupných hran (při přechodu 0 na 1), nebo sestupných hran (1 na 0).

Synchronní znamená současný (z řeckého slova synchron) a asynchronní znamená nesoučasný.

Čítače

Sekvenční řídicí systémy jsou často vybaveny čítači k počítání počtu součástek, počtu operací, počtu stavů, charakterizují průběh řízeného procesu. Mohou být synchronní a asynchronní. Pro čítače se používá synchronní klopný obvod JK.

Funkční schéma

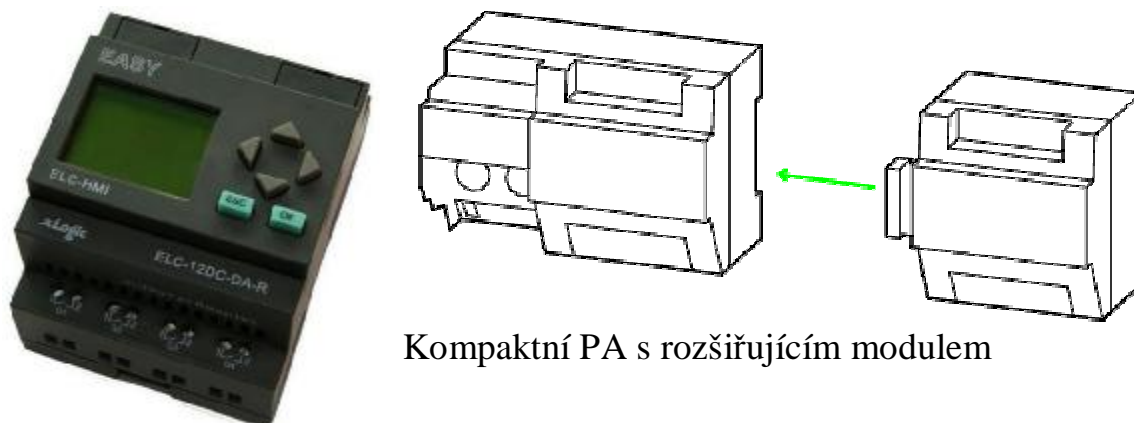
Při návrhu řídicího systému je nutné znát dílčí funkce, časové návaznosti a podmínky pro zahajování jednotlivých operací. Pro správnou orientaci v problematice se používá přehledové grafické schéma, stavový diagram, nebo vývojový diagram. Ve vývojovém diagramu (blokové funkční schéma) je každý krok časové sekvence označen čtvercem a písmenem S (Step) a číslem kroku. Každému kroku odpovídá operace, každému kroku předchází podmínka označovaná T (Transition) a číslem předchozího kroku, která umožňuje přechod do následujícího kroku. Sekvenční řízení spouští postupně jednotlivé kroky procesu. Každý krok je spuštěn až tehdy, když je splněna podmínka pro spuštění. Na obrázku je zjednodušený příklad zapalování malého plynového kotle, kde při neúspěšném pokusu o zapálení hořáku se systém vrací do výchozího stavu. Číslo právě prováděného kroku programu sekvenčního řízení musí být uloženo ve stavové paměti. Jako paměť mohou být použity klopné obvody RS, polovodičové paměti.



Blokové funkční schéma

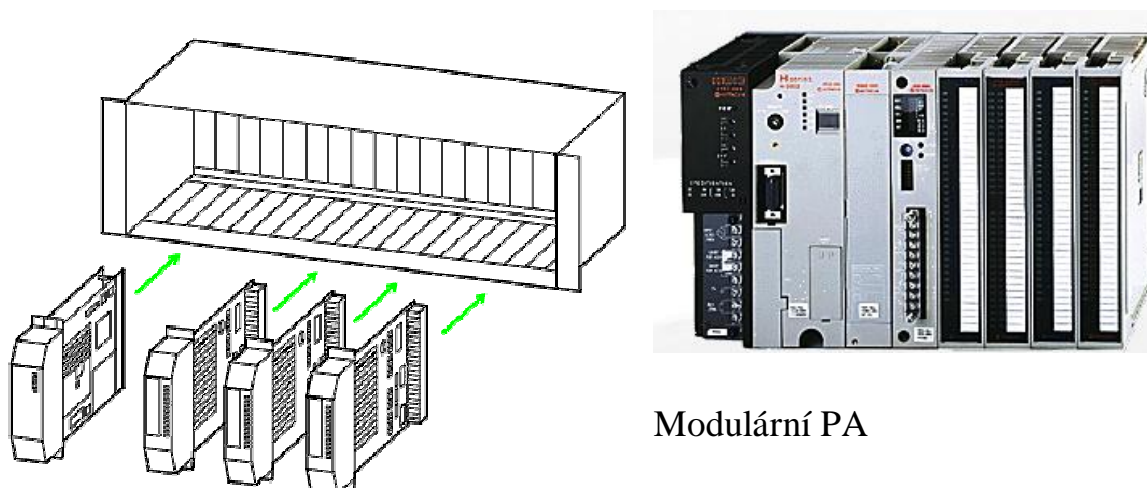
Programovatelné automaty

jsou orientovány na řízení v reálném čase. Obsahují centrální jednotku s procesorem a operační paměť, paměť pro uložení vytvořených programů, jednotky vstupů a výstupů a napájení. Mohou být kompaktní, kompaktní



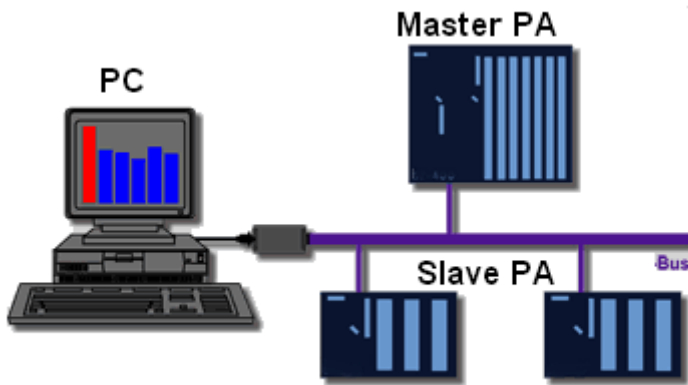
Kompaktní PA s rozšiřujícím modulem

s rozšiřujícím modulem, modulární (pro větší výrobní zařízení), pracují v síti, mohou být integrovány do jiného mikroprocesorového řízení. Nejpoužívanější systém pro řízení procesů je modulární programovatelný automat.



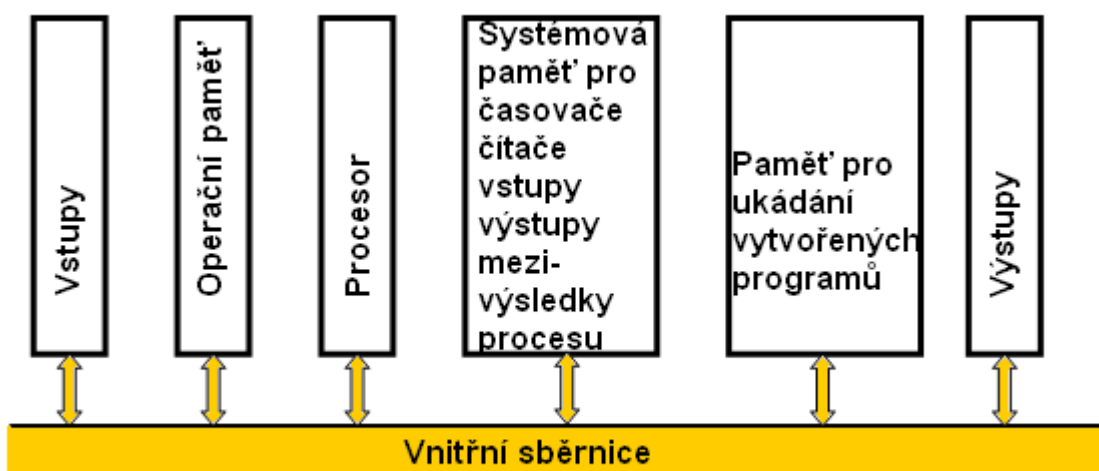
Modulární PA

Základní modul musí obsahovat procesorovou jednotku, jednu vstupní a výstupní jednotku, síťový zdroj. Programovatelné jednotky bývají napájeny



Příklad propojení programovatelných automatů

nejčastěji stejnosměrným napětím 24 V. K uchování dat při náhlém výpadku napájení slouží záložní baterie, u větších systémů to je akumulátor.



Struktura programovatelného automatu

Centrální procesorová jednotka (CPU) pracuje se skupinou operandů.

- Vstupy (Input) zkratka I, uchovává stavy signálů z procesu.
- Výstupy (Output) zkratka Q jako Quit-odchozí, písmeno O je pro možnou záměnu s nulou nepoužitelné, uchovávají stavy řídicích signálů.
- Paměti (Memory) zkratka M je pro mezivýsledky a konstanty.
- Časovače (Timer) zkratka T pro uchování mezi časovačů
- Čítače (Counter) zkratka C uchovávají meze pro čítače.

Program se pouští na předním čelním panelu programovatelného automatu přepnutím přepínače do polohy RUN. Program se cyklicky opakuje s časovou periodou, která je dána rychlostí výpočtu procesoru a délkou vloženého programu. Doba jednoho pracovního cyklu (periody programu) je většinou

v řádu několika milisekund. Program se zastavuje přepnutím přepínače z polohy RUN do polohy STOP.

Vstupní jednotka má skupinu 8 nebo 16 binárních vstupů, stavy vstupů jsou signalizovány na čelním panelu rozsvícením diod LED (svítící dioda indikuje logickou 1). Vstupní jednotka může obsahovat i analogové vstupy a to dva nebo čtyři v rozsahu $\pm 10V$ na sledování například; průběhu teploty, nebo tlaku, výšky hladiny tekutiny v nádrži.

Výstupní jednotka může mít panel s 8 nebo 16 binárními výstupy, nebo analogovými výstupy, například pro ovládání nastavení ventilu, tedy u zmiňované nádrže a řízení například přítoku tak aby hladina byla na konstantní úrovni nezávisle na odtoku.

Programovatelné automaty mohou zpracovávat signály od inteligentních čidel ve formátu zpráv, které čidla vybavené mikročipy vysílají po průmyslové sběrnici, taktéž akční členy jsou schopny přijímat od řídicího automatu zprávy po sběrnici dekodovat je a přestavovat své parametry. Záleží na okolnostech, potřebách, a technických podmínkách jaký hardware bude použit.

Programovatelné automaty se často označují jako PLC (Programmable Logic Controller = programovatelná logická řídicí jednotka), jenže tyto automaty často zpracovávají číselné informace v pohyblivé řádové čárce, provádí výpočty, optimalizují chod procesu a to už s logikou nesouvisí. Logické řízení je součástí tohoto systému a řídicí systém má široké použití. V současnosti i malé kompaktní automaty umožňují zpracovávat analogové signály a provádět řízení nejen zpracováním logických informací, ale i pomocí regulačních algoritmů. Největší množství PA v energetice najdeme u plynových kotlů malých výkonů, kde se jedná o velké série výroby a kde modulární programovatelné jednotky řídí proces spalování, teplotu topné vody, teplotu teplé vody. Uživatel takového zařízení může měnit pouze vybrané parametry teploty, časové prodlevy při různých provozních stavech, z vybraných modulů si může sestavit vlastní režim vytápění, nemůže zasahovat do vnitřního systému.

Programovací jazyky

pod vedením IEC (International Electrotechnical Commission) byla vypracována norma IEC 1131, která není závazným předpisem. Programy proto nejsou volně přenosné mezi PA, každý výrobce PA má v programování odlišnosti. Používají se tyto programovací jazyky;

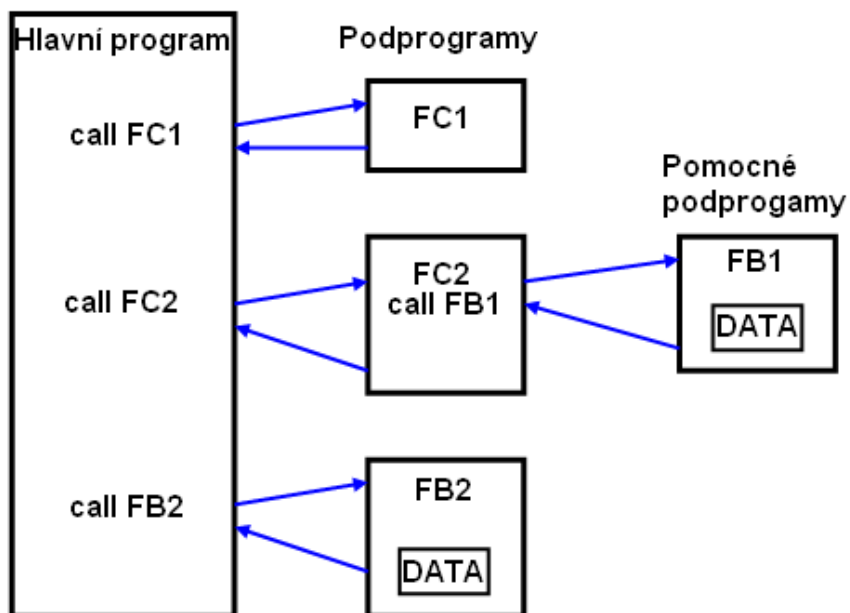
- 1) příkazové jazyky (strojní kód, assembler)

- 2) příkazové jazyky, strukturovaný text
- 3) kontaktní schéma
- 4) příkazový strukturovaný jazyk s knihovnou
- 5) grafické jazyky

Nejvíce se používají programovací jazyky 1,3, a 4, kde se využívá k označení řídicích funkcí jednoduše písmena, nebo grafické symboly.

Při programování je možné kombinovat v rámci jednoho automatu různé programovací jazyky. Například vytvořit často používané příkazy v grafickém režimu, program převést do jazyka nižší úrovně a doplnit příkazy, které grafický jazyk nenabízí.

Program sestavený v některém programovacím jazyce je nutné přeložit pomocí překladače (Compiler) do strojového kódu procesoru. Teprve potom je možné



Struktura programování

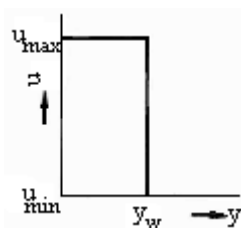
nahrát program do procesoru PA. Vytvoření programu pro nové zařízení je chápáno jako projekt, kde po zadání projektu určí projektant propojení řídicího systému s řízeným procesem. Pak musí následovat skladba potřebného hardware to je procesorová jednotka s pamětí, jednotky vstupů a výstupů. Pak je třeba rozhodnout, zda bude použito více PA zapojených v síti, nebo je úloha realizovatelná jedním PA. Po určení hardware jeho struktury mohou být napsány bloky programů a tyto části programů je možné hned zkoušet. Je však také možné psát program bez konkrétního hardware ve vyšším programovacím jazyce jako hlavní zdrojový program. Uživatelský program je dělen na hlavní

program, (organizační modul) funkční podprogramy (funkce) pomocné podprogramy (dílčí funkce) a bloky dat.

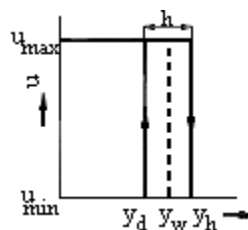
Nespojitý regulátor

Jeho výstupní signál (akční veličina) nezávisí spojitě na vstupním signálu (regulované veličině). Výstupní signál regulátoru se tedy nemění spojitě, ale může nabývat pouze omezeného počtu hodnot. Změna výstupní hodnoty probíhá skokem. Podle počtu výstupních hodnot rozdělujeme tyto regulátory na dvoupolohové a vícepolohové. Pro akční člen tohoto regulátoru to znamená, že může zaujmout pouze dvě nebo více pevných poloh.

Dvoupolohový regulátor



Nejjednodušším regulátorem je dvoupolohový regulátor. Poklesne-li skutečná hodnota regulované veličiny y pod žádanou hodnotu y_w , nabude akční veličina určité pevné hodnoty u_{\max} (rozsah akční veličiny). Překročí-li skutečná



hodnota regulovaná žádanou hodnotu y_w , nabude akční veličina jiné pevné hodnoty u_{\min} , zpravidla nulové.

Činnost dvoupolohového regulátoru objasníme na konkrétním příkladu regulátoru teploty, kde se regulovaná veličina (teplota) snímá pomocí odporu (měřicí člen) a

porovnává se s žádanou hodnotou, kterou můžeme nastavit pomocí točítka druhého nastavitelného odporu (řídící člen). Je-li regulovaná teplota nižší než nastavená, jsou kontakty regulátoru (akční člen) sepnuty, je-li regulovaná teplota naopak vyšší, kontakty se rozepnou. Tímto způsobem lze například regulovat teplotu v domácích spotřebičích, které se střídavě zapínají a vypínají (žehličky, elektrické trouby anebo při chlazení ovládání kompresoru chladničky, kde spínání je opačné).

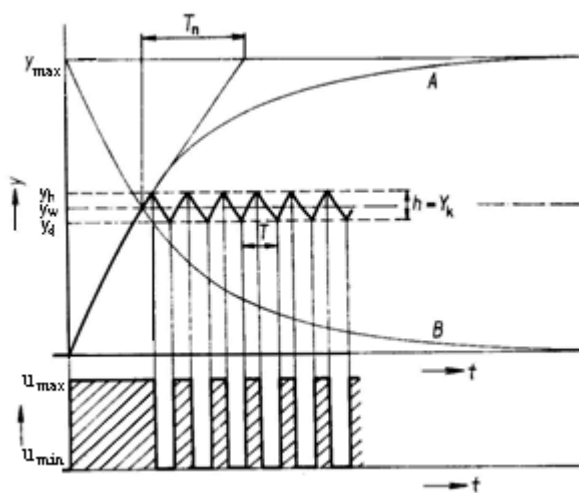
Takovýto regulátor má téměř nulovou hysterezi (nulová odchylka mezi teplotou sepnutí a rozepnutí). To může způsobit velký počet sepnutí a tím si lze i vysvětlit značné opotřebení kontaktů a nízkou životnost. Značného zvýšení životnosti dvoupolohového regulátoru dosáhneme tím, že změním teplotu sepnutí a rozepnutí, buďto konstrukční úpravou použitím sekvenční logiky. Nastavíme hysterezi, rozdíl mezi teplotami.

Dosažené zvětšení hystereze má však nevýhodu v tom, že zvětšuje nepřesnost regulace. Tato nevýhoda je vyvážena zvětšením spínaného výkonu, zmenšením frekvence spínání, a prodloužením životnosti regulátoru.

Regulovaná veličina kmitá v pásmu hystereze se šířkou h . Střední hodnota regulované veličiny y_{av} kolem které kolísá skutečná hodnota regulované veličiny, nemusí souhlasit s žádanou hodnotou y_w - může být posunuta. Výrobce regulátorů na tuto skutečnost pamatuje a upravuje nastavení žádané hodnoty takovým způsobem, aby se střední hodnota regulované veličiny shodovala s žádanou hodnotou.

Regulační obvod tvořený soustavou prvního řádu s dvoupolohovým regulátorem.

Příklad regulace výšky hladiny ve vodní nádrži. Regulovaná soustava je v tomto



případě tvořena nádrží a ventilem na přítoku se solenoidem, jehož zapínání a vypínání se ovládá pomocí tlakoměru pro měření výšky hladiny a dvoupolohovým regulátorem.

Regulovanou veličinou je výška hladiny vody (tlak), akční veličinou je elektrické napětí přiváděné na solenoid. Při spuštění soustavy se začne zvyšovat výška hladiny v nádrži podle přechodové charakteristiky soustavy

prvního řádu. Provoz soustavy je za předpokladu stálého odběru z vodní nádrže.

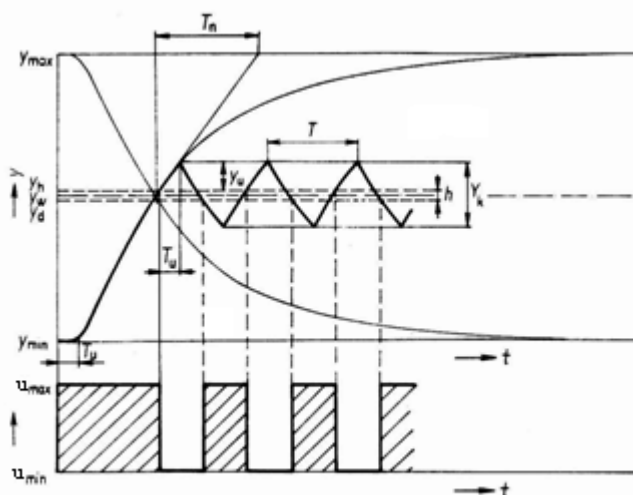
Toto zvyšování hladiny vody pokračuje až do doby, kdy skutečná hodnota regulované veličiny dosáhne hodnoty y_h (horní hranice hystereze). V tom okamžiku totiž rozpínací kontakt relé přeruší přívod elektrického proudu do solenoidu a regulovaná veličina se naopak začne zmenšovat, a to podle přechodové charakteristiky křivky vypouštění. Jakmile se skutečná hodnota regulované veličiny zmenší na hodnotu y_d (dolní hranice hystereze), přivede se elektrické napětí na solenoid, otevře se přívod vody a regulovaná veličina (hladina) se začne zvyšovat. Tento cyklus se neustále opakuje, a tak skutečná hodnota regulované veličiny trvale kmitá mezi hodnotami y_d a y_h .

V našem případě regulace soustavy prvního řádu udržuje dvoupolohový regulátor regulovanou veličinu v mezích y_d a y_h . Šířka pásma kmitání je tedy shodná s hysterezí h a lze ji u regulátoru ovlivnit. Zbývající charakteristické veličiny regulačního pochodu jsou frekvence spínání f a perioda kmitů T .

Je zřejmé, že při zmenšování hystereze h nebo při zkracování doby náběhu T_n se frekvence spínání zvyšuje, a to nepříznivě ovlivňuje životnost regulátoru. Proto jestliže není nutná příliš velká přesnost udržování regulované veličiny na žádané hodnotě a není na závadu její kolísání.

Regulační obvod tvořený soustavou druhého řádu a dvoupolohovým regulátorem.

Soustavu druhého řádu bude představovat nádrž na teplou vodu s elektrickým



topným tělesem. Budeme předpokládat za provozu ustálený stav, stejnoměrnou spotřebu teplé vody. Regulovaná veličina při zapnutí nebo vypnutí akční veličiny nekolísá pouze v pásmu vymezeném hysterezí regulátoru, ale její kmitání je mnohem větší. Je to způsobeno zpožděním v soustavě, které je dáno velikostí doby průtahu T_u . Při zapnutí topidla je doba průtahu dána

konstrukcí (nejprve se musí ohřát odporový drát, potom elektrická izolace následně ochranný povrch proti vlhkosti až potom se začne ohřívat voda v nádrži). Při ochlazování se odpojí topidlo od elektrické energie, ale celá konstrukce má tepelnou setrvačnost a na akumulované teplo se dále uvolňuje do prostoru nádrže, dokud se nevyrovnají rozdíly teplot. Teprve po uplynutí doby T_u se začne regulovaná veličina zmenšovat a při dosažení hodnoty y_d se sice akční veličina znovu zapne, ale zmenšování regulované veličiny pokračuje dále v důsledku zpoždění v soustavě. Z toho je zřejmé, že vliv na šířku pásma kmitání regulované veličiny Y_k , a tím i na kvalitu regulačního pochodu, má v tomto případě regulovaná soustava, především její doba průtahu T_u . Hystereze regulátoru se naopak příliš neuplatní, neboť ke kmitání regulované veličiny by došlo i tehdy, kdyby jeho hystereze byla nulová.

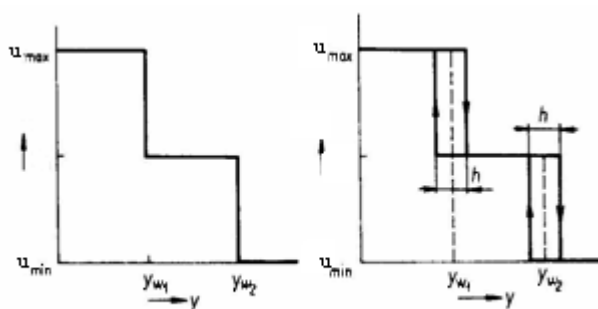
Důležitou veličinou je **doba náběhu** T_n . Je to doba potřebná k tomu, aby po zapnutí regulačního obvodu skutečná hodnota regulované veličiny dosáhla žádané hodnoty. Tuto dobu lze ovlivnit volbou rozsahu akční veličiny (výkonem). Čím je nadbytek výkonu větší, tím kratší je doba rozběhu, ale současně šířka pásma kmitání Y_k regulované veličiny se zvětšuje. Dalším vlivem

změny rozsahu akční veličiny je posunutí střední hodnoty regulované veličiny Y_{av} . Pouze při dvojnásobném výkonu se žádaná hodnota y_w shoduje se střední hodnotou regulované veličiny. V ostatních případech existuje regulační odchylka e_p , která je tím větší, čím více se liší rozsah akční veličiny od dvojnásobku (tj. od 100% nadbytku výkonu). Proto je vhodné z hlediska regulační odchylky e_p volit akční veličinu s dvojnásobným výkonem. Dvoupolohové regulátory se zpoždující zpětnou vazbou mohou nejčastěji plynule měnit zesílení zpětné vazby K_{zv} , zatímco jejich časová konstanta T_{zv} , bývá stálá nebo ji lze přestavovat skokově. Touto problematikou se zabývat v tomto kurzu nebudeme a také s dvoupolohovými regulátory s pružnou zpětnou vazbou.

Třípolohový regulátor

Akční člen třípolohového regulátoru může zaujmout tři polohy, tím lze zlepšit kvalitu regulačního pochodu v porovnání s pochodem řízeným dvoupolohovým regulátorem.

Vlastnosti třípolohového regulátoru můžeme vyjádřit pomocí jeho statické charakteristiky



Pro **Charakteristika třípolohového regulátoru** zkvalitnění regulačního pochodu můžeme použít třípolohový regulátor, u kterého můžeme nastavit celkem tři hodnoty akční veličiny. Příklad regulace teploty v elektricky vytápěné peci. U elektrických pecí se může použít regulace trojúhelník - hvězda - vypnuto. Při spojení topných těles do trojúhelníku má pec velký topný výkon a z toho vyplývá i velmi krátká doba rozběhu. Jakmile regulovaná veličina dosáhne poprvé nastavené hodnoty y_{w1} , která leží těsně pod nastavenou hodnotou y_{w2} , přepojí se topná tělesa do hvězdy, a tím se topný výkon zmenší na třetinu. Regulovaná veličina se i nadále zvětšuje, ale již mnohem pomaleji. Při dosažení nastavené hodnoty y_{w2} se topení vypne úplně. Další regulační pochod pak využívá pouze stavů hvězda - vypnuto, nevyskytnou-li se velké poruchy

způsobené například otevřením pece, vložením součástek do pece. Šířka kmitání je mnohem menší než šířka, jaké bychom dosáhli při ovládní maximálního topného výkonu.

Třípolohový regulátor je potřeba také například k ovládní ventilů, řízení pohonu ventilu, kde je třeba ventil přivírat, otevírat anebo stát na místě (klidová poloha).

Spojité regulátory

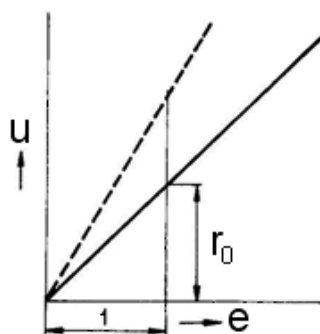
Chceme-li odstranit udržet regulované veličiny na žádané hodnotě bez kmitání kolem rovnovážné polohy, musíme tedy mít k dispozici regulátor, u kterého lze měnit hodnotu jeho akční veličiny plynule, spojitý regulátor. Výstupní veličina spojitého regulátoru (akční veličina) je spojitou funkcí jeho vstupní veličiny (regulační odchylky). Z toho vyplývá, že reg. veličina neustále ovlivňuje akční veličinu, která může nabývat hodnoty od 0 až po technické maximum. Regulátory jsou obvykle konstruovány tak, aby bylo možné jejich vlastnosti měnit, a tím je přizpůsobovat dané regulované soustavě.

Proporcionální regulátor (P regulátor)

Jedná se o přímou úměru mezi výstupní a vstupní veličinou regulátoru.

Regulátor, který v ustáleném stavu uvedenou závislost splňuje, se nazývá **proporcionální regulátor**. Jeho rovnice má tvar: $u = r_0 \cdot e$

kde r_0 je součinitel přenosu regulátoru neboli zesílení. Platí $e = y_w - y$, princip záporné zpětné vazby. Pro danou regulovanou soustavu je součinitel zesílení



konstantní a nelze jej měnit. U regulátoru (na rozdíl od regulované soustavy) máme možnost součinitel zesílení měnit (můžeme jej nastavovat). Tím je dána i možnost ovlivňovat vlastnosti regulátoru.

Statické vlastnosti

Statické vlastnosti proporcionálního regulátoru jsou dány jeho statickou charakteristikou. Se zvětšujícím se zesílením přenosu regulátoru se zvětšuje jeho citlivost a přesnost, zatímco jeho stabilita (a tím i stabilita jím řízeného regulačního pochodu) se zmenšuje. V praxi se od regulátoru vyžadujeme, aby byl co nejcitlivější, ale aby byl zároveň stabilní. Správné nastavení jeho zesílení přenosu je proto vždy kompromisem mezi těmito dvěma požadavky. U proporcionálního regulátoru se však místo

součinitele přenosu častěji udává tzv. pásmo proporcionality, označované *pp*. Pásmo proporcionality je rozsah, ve kterém se musí změnit regulovaná veličina (popř. regulační odchylka), aby se regulační orgán přestavil z jedné krajní polohy do druhé (například poloha otevřeno-zavřeno). Hodnota pásma proporcionality se udává v procentech z celého regulačního rozsahu regulátoru. Mezi oběma uvedenými charakteristickými veličinami platí:

$$pp = \frac{1}{r_0} 100 (\%)$$

Dynamické vlastnosti

Pro posouzení vlastností regulačních obvodů je důležité znát nejen ustálené stavy, ale hlavně časové průběhy signálů jednotlivých členů obvodu. Známe-li ke známému časovému průběhu vstupního signálu časový průběh výstupního signálu, máme tak určeny přenosové vlastnosti vyšetřovaného členu. Vztah mezi oběma signály je zpravidla popsán diferenciální rovnicí. K určení přenosových vlastností lze však použít i jiné metody.

Metoda jednotkového skoku

Pro čas $t < 0$ má jednotkový skok nulovou hodnotu, v čase $t = 0$ se změní na hodnotu 1 a tuto velikost zachovává pro $t > 0$. Při praktickém měření nemusí mít skoková změna vždy jednotkovou hodnotu, ale volíme ji tak, aby odezva zůstala v rozsahu normálních provozních podmínek. Potom velikost odezvy přepočítáváme na jednotkový skok.

Odezvou na jednotkový skok je ***přechodová funkce***.

Její grafické znázornění je ***přechodová***

charakteristika. Vyšetřování členů regulačního

obvodu pomocí přechodových charakteristik

nevyžaduje zpravidla žádné speciální přístroje, nutné je jen změřit budící skok (vstupní signál) a odezvu.

Dynamické vlastnosti proporcionálního regulátoru se

nejčastěji vyjadřují přechodovou charakteristikou. Z obrázku je zřejmé, že při

jednotkové skokové změně vstupní veličiny regulátoru e se výstupní veličina

regulátoru ustálí (okamžitě) na nové hodnotě. Při zapojení do soustavy však

pracuje tento regulátor s trvalou regulační odchylkou. Je to dáno jeho citlivostí,

která nemůže být vysoká z důvodu zachování stability soustavy. Trvalou

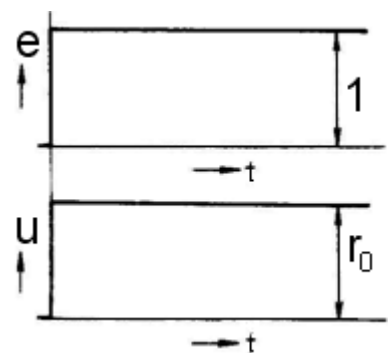
regulační odchylku nelze u proporcionálního regulátoru odstranit, můžeme však

ovlivnit její velikost, a to volbou pásma proporcionality. Jestliže pásmo

proporcionality zvětšujeme, zvětšuje si i trvalá regulační odchylka. Jestliže

pásmo proporcionality zmenšujeme, trvalá regulační odchylka se sice zmenšuje,

ale zmenšuje si i stabilita regulátoru.



Integrační regulátor (I regulátor)

U integračního regulátoru každé hodnotě vstupní veličiny odpovídá úměrná změna výstupní veličiny. Rovnice integračního regulátoru má tvar:

$$u' = \frac{r_0}{T_i} e \quad \text{Po úpravě dostaneme:} \quad u = \frac{r_0}{T_i} \int e dt = r_{-1} \int e dt$$

kde T_i - je integrační časová konstanta.

Statické vlastnosti

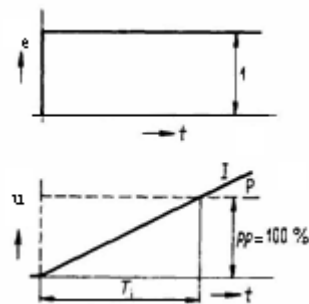
Statické vlastnosti integračního regulátoru lze ovlivnit nastavením jeho integrační časové konstanty T_i , jeho zesílení r_0 je konstantní. Ze statické charakteristiky integračního regulátoru lze vyčíst, že se zmenšující se integrační časovou konstantou se zvětšuje citlivost a přesnost regulátoru, zatímco jeho stabilita se naopak zmenšuje. Při zadání velmi velké časové konstanty, extrémně nekonečně velké je vliv integračního regulátoru nulován, jako kdyby nebyl.

Dynamické vlastnosti

Dynamické vlastnosti integračního regulátoru se nejčastěji vyjadřují přechodovou charakteristikou. Změní-li se vstupní veličina skokem ($e=1$), pak

$$u = \frac{r_0}{T_i} \int e dt = \frac{r_0}{T_i} \int dt = \frac{r_0}{T_i} t \quad \text{je rovnice přímky.}$$

Přechodová charakteristika je astatická (nestabilní). Integrační časovou konstantu T_i lze definovat jako dobu, za kterou výstupní veličina integračního regulátoru dosáhne stejné hodnoty, jaké by dosáhla, kdyby přenos regulátoru byl pouze proporcionální a pásmo proporcionality by bylo 100%. Integrační regulátor pracuje bez regulační odchylky, ale je nevhodný pro astatické soustavy.



Derivační regulátor (D regulátor)

Budeme zjišťovat vlastnosti regulátoru se změnou rychlosti vstupní veličiny. Rovnice takto získaného regulátoru má tvar

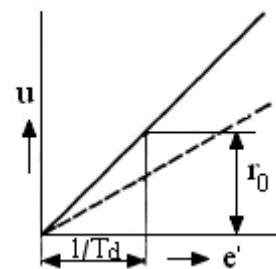
$$u = T_d r_0 e'$$

kde T_d je derivační časová konstanta.

Vzhledem k tomu, že derivaci vstupní veličiny e odpovídá přímo úměrná hodnota výstupní veličiny u , nazývá se tento regulátor derivační regulátor.

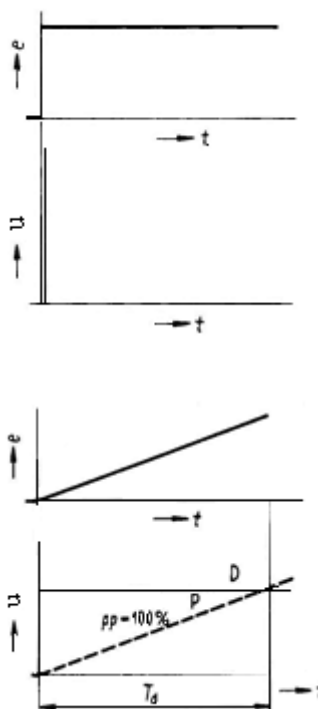
Statické vlastnosti

Statické vlastnosti derivačního regulátoru lze ovlivňovat nastavením jeho jediné charakteristické veličiny - derivační časové konstanty T_d . Jeho zesílení r_0 je konstantní a nelze jej měnit. Ze statické charakteristiky derivačního regulátoru lze vyčíst, že se zvětšující se derivační časovou konstantou se zvětšuje citlivost a přesnost regulátoru, zatímco jeho stabilita se naopak zmenšuje.



Dynamické vlastnosti

Dynamické vlastnosti derivačního regulátoru se nejčastěji vyjadřují prostřednictvím přechodové charakteristiky. Derivací jednotkové skokové funkce vznikne nekonečně velká amplituda v nekonečně malém časovém intervalu. Je jasné, že technicky se nedá realizovat (například vytvořit impulz o nekonečně velkém napětí v nekonečně krátkém čase). Derivační časová konstanta je doba, za kterou výstupní veličina derivačního regulátoru dosáhne stejné hodnoty, jaké by dosáhla, kdyby přenos regulátoru byl pouze proporcionální a pásmo proporcionality by bylo 100%. Abychom mohli uvedenou definici derivační časové konstanty vyjádřit i graficky, musíme na vstup regulátoru přivést jinou změnu než jednotkový skok.



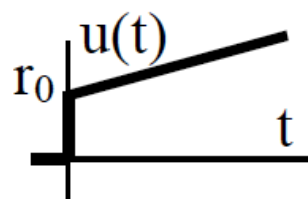
D regulační odchyly, ale pouze na změnu její rychlosti, neodstraňuje regulační odchytku, a proto jej nelze použít samostatně. Používá pouze ve spojení s předcházejícími typy regulátorů a pro zrychlení regulačního pochodu.

Proporcionálně integrační regulátor (PI regulátor)

Jeho vlastnosti jsou dány součtem předchozích dílčích regulátorů. Používá se u

$$u = r_0 e + r_1 \int e dt$$

soustav vyšších řádů, například pro kvalitnější regulaci například teploty, tlaku, výšky hladiny, otáček. Jeho nevhodné použití je pro regulaci průtoku.

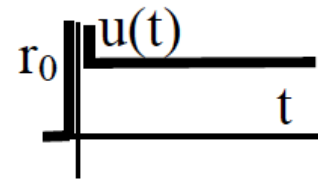


Proporcionálně derivační regulátor (PD regulátor)

Jeho vlastnosti jsou dány součtem předchozích dílčích

$$u = r_0 e + r_1 e'$$

regulátorů. Pracuje s trvalou regulační odchylkou. Je vhodný pro soustavy druhého řádu i druhého řádu s dopravním zpožděním, nevhodný je pro řízení tlaku, průtoku a výšky hladiny.



Proporcionálně integračně derivační regulátor (PID regulátor)

Je složen ze třech předchozích základních členů a spojuje jejich vlastnosti do jednoho přístroje. Je vhodný pro řízení soustav

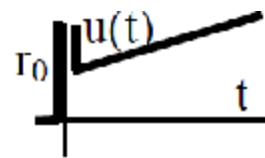
vyšších řádů

s dopravním

zpožděním

v energetice pro řízení teploty, ve strojírenství pro řízení otáček.

$$u = r_0 e + r_1 \int e dt + r_2 e'$$



Stabilita regulačních obvodů

Použití regulátorů tak jak jsme si je popsali, nemusí vést k úspěšné realizaci řízení z různých důvodů. Jejich použití a další úpravy jejich zapojení do soustav jsou předmětem studia kybernetiky na technických školách. V základech rozeznáváme následující průběhy regulace: Stabilní periodický regulační

pochod

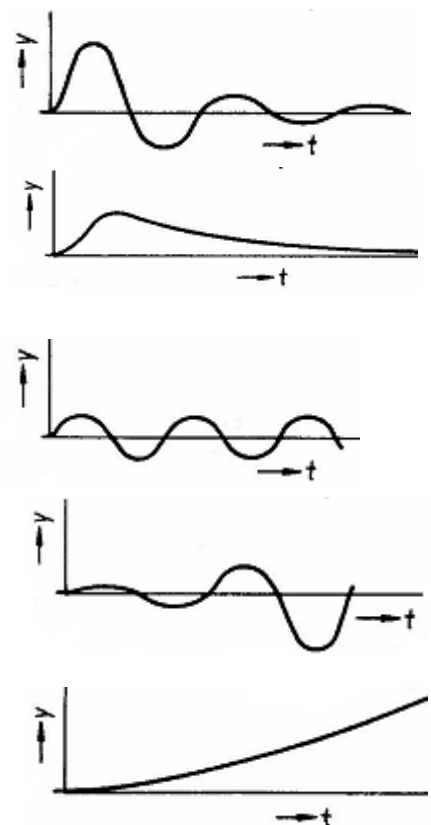
Aperiodický stabilní regulační pochod

Periodický regulační pochod

Periodický nestabilní regulační pochod

Aperiodický nestabilní regulační pochod

Nastavení konstant regulátoru



Ze zkušeností získaných při seřizování regulátorů v regulačních obvodech podobných obvodu, jehož regulátor má být seřízen.

Na základě výpočtu podle výpočtů, jejichž metodika je popsána v odborné literatuře.

Číslicová regulace

Tam kde je použit mikro počítač, neprobíhá regulace spojitě v čase, ale v časových periodách, jichž délku je třeba určit. Řídicí systém v pravidelných intervalech odebírá vzorky vstupního signálu (regulované veličiny) a "zmrazí" je až do dalšího odběru vzorku. Číslicová regulace pracuje s hodnotově a časově s diskretizovanými proměnnými. Čas mezi dvěma sousedními odběry se nazývá perioda vzorkování. Perioda vzorkování musí být konstantní a dostatečně dlouhá. Řídicí systém musí v intervalu T provést: načtení všech vstupů, výpočty v reálném čase, tvarování výstupních signálů. Zvětšováním periody vzorkování se zhoršuje přesnost zpracovávaného signálu. Délku periody volíme s ohledem na přesnost analogových přístrojů pro získání informace, přesnost digitálních přístrojů (A/D převodníků), dynamiku řízeného systému. Maximální možný vzorkovací kmitočet je dán délkou regulačního programu a rychlostí zpracování informace na procesoru. Program může regulovat i více regulačních smyček najednou. Snímání vzorků signálů a jejich ukládání do vstupní paměti způsobuje zpoždění za původním signálem. To ovlivňuje regulační smyčku, kde u rychlých dějů může způsobovat oscilace. Proto vzorkovací kmitočet z tohoto pohledu měl být co největší.

Analogově - digitální převodník

Délka datového slova určuje rozlišující schopnost převodníku a ovlivňuje přesnost celé regulační smyčky. Řídicí systémy pracují většinou s datovým slovem s šířkou 8 až 16 bitů. Řídicí systém tedy obsahuje vzorkovací člen (vzorkuje regulační odchylku), převodník, vlastní řídicí člen, opět převodník, tvarovací člen a následuje akční člen, který ovlivňuje regulovanou soustavu.

Číslicové regulátory

Regulátory jsou popsány diferenčními rovnicemi, které popisují známé spojitě rovnice regulátorů. Integrace je nahrazena sčítáním diskretních hodnot a derivace rozdílem diskretních hodnot. Výpočet se provádí po krocích.