

3. Automatické řízení

3.1. Logické řízení

3.1.1. Logická algebra (Booleova)

Logickou algebru vytvořil v roce 1854 irský matematik George Boole. Logické proměnné v této algebře nabývají pouze dvou hodnot :

pravda - true, 1, high, H

nepravda - false, 0, low, L

Booleovu algebru lze velmi snadno použít k řešení mnoha úloh v technické praxi. Má použití všude tam, kde můžeme rozhodnout, zda výrok platí, nebo neplatí. V technické praxi to například znamená : obvod je zapnut/vypnut

napětí nabývá hodnot 0/5 V

tlak má hodnotu 0/5 barrů

V situacích, kde nelze jednoznačně rozhodnout, se klasická logická algebra nedá použít.

Tvrzení, o kterém je možno rozhodnout zda platí nebo neplatí (je možno určit jeho platnost), nazýváme **výrok**.

Logická proměnná - nabývá dvou hodnot - 0/1, nepravda/pravda, false/true, L/H

- označuje platnost výroku

- označuje se písmenem

Logické spojky - dovolují vytvářet z jednoduchých výroků výroky složené:

- negace	není pravda, že	$\bar{A}$	NOT
- logický součin	a současně	$A \cdot B$	AND
- logický součet	nebo	$A + B$	OR

Zákony Booleovy algebry

Zákon	Algebraický vztah	Realizace
komutativní	$a + b = b + a$	
	$a \cdot b = b \cdot a$	
asociativní	$a + (b + c) = (a + b) + c$	
	$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$	
distributivní	$a \cdot (b + c) = ab + ac$	
	$a + bc = (a + b) \cdot (a + c)$	
vyloučeného třetího	$a + \bar{a} = 1$	
	$a \cdot \bar{a} = 0$	
agresivnosti	$a + 1 = 1$	

hodnot 0 a 1

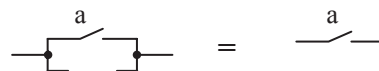
$$a \cdot 0 = 0$$

$$a + 0 = a$$

neutrálnost

hodnot 0 a 1

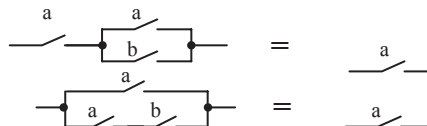
$$a \cdot 1 = a \quad a + a = a \quad a \cdot a = a$$



absorpce

$$a \cdot (a + b) = a$$

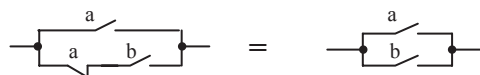
$$a + ab = a$$



absorpce

negace

$$a + \bar{a}b = a + b$$



De Morganův

(zákon inverze)

$$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$$

$$\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$$

3.1.2. Kombinační obvody

Kombinační obvody mají stav na výstupu jednoznačně určen jen okamžitou kombinací vstupních hodnot.

3.1.2.1. Popis kombinačních logických funkcí

a) Slovně

Logická funkce je popsána slovním vyjádřením, ve kterém se používají i logické spojky :

„Žárovka se rozsvítí jen tehdy, stiskneme-li zároveň oba spínače.“

„Funkce Y nabývá hodnoty 1 v případě, že se obě vstupní proměnné A,B liší“.

b) Vzorcem (logickým výrazem)

Pro vyjádření logické funkce vzorcem se používají pro zápis logických spojek dohodnuté symboly :

+ , $\leftrightarrow$ $\Rightarrow$ atd.

$$Y = A \cdot B$$

$$Z = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$$

c) Pravdivostní tabulkou (tabulkou stavů)

Kombinační logickou funkci N-proměnných lze popsat tabulkou, v níž jsou uvedeny všechny možné kombinace hodnot vstupních proměnných a příslušná funkční hodnota. Počet kombinací

(řádků tabulky) je roven 2^N , kde N je počet vstupních proměnných

Příklady: 2 vstupní proměnné 4 kombinace (řádky tabulky) : 00, 01, 10, 11

3 vstupní proměnné 8 kombinací : 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111

4 vstupní proměnné 16 kombinací : 0000, 0001, 0010, , 1111

Každé kombinaci odpovídá právě jedna hodnota výstupní logické funkce (0 nebo 1).

Při vyplňování tabulky postupujeme tak, aby číslo řádku (začínáme 0-tým řádkem) odpovídalo dvojkovému číslu složeného z hodnot vstupních proměnných v každém řádku. Postupujeme tedy takto: začneme vyplňovat pravý krajní sloupec od shora čísly 01010101...01

do vedlejšího sloupce opět od shora píšeme 0011001100...110011

do dalšího vedlejšího píšeme 0000111100001111....00001111

To znamená, že pro 4 vstupní proměnné je v 5. řádku (začali jsme počítat od 0, takže je to 6. řádek od shora) tato kombinace čísel 0101 což odpovídá číslu 5 vyjádřenému dvojkově. Ve 13. řádku je pak kombinace 1101 tedy dvojkově vyjádřené číslo 13.

d) Uvedením binárně kódovaných čísel řádků, pro něž nabývá funkce hodnoty 1

Tento popis logické funkce se nazývá seznam indexů.

č.	A	B	Y
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

Logická funkce znázorněná předchozí tabulkou, by se vyjádřila $\Sigma Y(A,B) = 1,2$ nebo jen stručně $Y(1,2) = 1$. Pro funkce s převažujícím počtem jedniček je výhodné (úspornější) uvést čísla řádků obsahující 0. Pro náš příklad : $Y(0,3) = 0$

5. Karnaughova mapa (K-map)

Karnaughova mapa je grafický zápis pravdivostní tabulky, v němž každému řádku odpovídá určité políčko. Mapa má proto 2^N políček, kde N je počet vstupních proměnných. O každém políčku můžeme říci, zda patří dané proměnné nebo její negaci. Karnaughovu mapu lze velmi výhodně využít při zjednodušování logických výrazů.

a) Karnaughova mapa pro 2 proměnné

č.	A	B	Y
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

	$\overline{a}$	a
$\overline{b}$	0	1
b	1	0

	0	1
0	00	01
1	10	11

	0	1
0	0	1
1	2	3

Hodnoty funkce Y
pak zapíšeme do
příslušných políček

	0	1
0	0	1
1	1	0

b) Karnaughova mapa pro 3 proměnné

	$\overline{a}$	a
$\overline{b}$		
b		

	$\overline{a}$	a
$\overline{b}$		
b		

	00	01	11	10
0				
1				

c) Karnaughova mapa pro 4 proměnné

	$\overline{a}$	a
$\overline{b}$		
b		

	$\overline{a}$	a
$\overline{b}$		
b		

3.1.2.2. Základní logické funkce

Typ logické funkce určuje výslednou hodnotu z kombinace vstupních hodnot. Funkce může být realizována různě: mechanickými kontakty, logickými integrovanými obvody, programovatelným automatem nebo pomocí PC. Výsledná hodnota funkce samozřejmě nezáleží na způsobu realizace.

a) Negace - inverze

Je nejjednodušší funkcí, logický člen negace má jeden vstup a jeden výstup. Hodnota výstupu je vždy opačná, než hodnota vstupu.

Zkratka: NOT, INV

označení: $\bar{A}$, NOT A

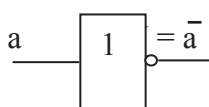
spojka: neplatí, že

Pravdivostní tabulka

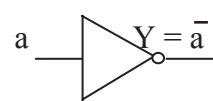
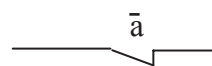
a	Y
0	1
1	0

Realizace: rozpínací kontakt

Značka:



dle normy DIN



dle norem USA

(firmy Texas Instruments a
National Semiconductors)

integrovaný obvod MH 7404
6 x invertor (negace, NOT)

b) Logický součin, konjunkce

Logický součin může být definován i pro více vstupních proměnných. Výsledek logického součinu několika proměnných je roven jedné pouze v případě, že všechny vstupní proměnné jsou současně rovny jedné.

Zkratka: AND

označení: $A \cdot B$ $A \wedge B$

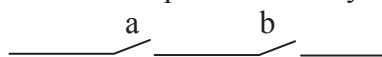
spojka: a současně

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

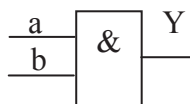
Karnaughovy mapy pro 2 a 4 proměnné

Realizace: spínací kontakty v sérii



integrovaný obvod 7408

Značka:



c) logický součet, disjunkce

Logický součet může být také definován pro více vstupních hodnot. Výsledkem logického součtu několika proměnných je roven jedné, pokud alespoň jedna vstupní proměnná je rovna jedné.

Zkratka: OR

označení: $A + B$ $A \vee B$

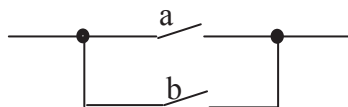
spojka: nebo (alespoň jeden)

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

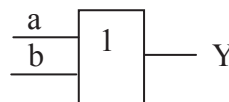
b	a	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

integrováný obvod 7432

Realizace: spínací kontakty paralelně



Značka:

**d) negovaný logický součin, Shefferova funkce**

Může být definován i pro více vstupních proměnných. Výsledek negovaného logického součinu je roven jedné vždy, když alespoň jedna vstupní proměnná je rovna nule.

Zkratka: NAND

označení: $\overline{a \cdot b}$

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

b	a	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Realizace:

rozpínací kontakty paralelně ($\overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b}$)

integrováný obvod 7400

e) negovaný logický součet, Pierceova funkce

Může být definován i pro více vstupních proměnných. Výsledek negovaného logického součinu je roven jedné pouze tehdy, když každá vstupní proměnná je rovna nule.

Zkratka: NOR

označení: $\overline{A + B}$

spojka: ani

Pravdivostní tabulka pro dvě proměnné

b	a	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Realizace:

rozpínací kontakty sériově ($\overline{a + b} = \overline{a} \cdot \overline{b}$)

integrováný obvod 7402

f) výlučný logický součet, právě 1 z N, exkluzivní součet, Exclusive OR, EX-OR, XOR

Tato funkce nabývá hodnoty 1 pouze v případě, kdy je právě jedna ze vstupních proměnných jedničkou. Pro dvě vstupní proměnné bývá také označován jako nonekvivalence, NEQ, součet modulo 2, M2, mod 2, lichá parita.

Zkratka: XOR

označení: $a \oplus b$

spojka: jeden nebo druhý (ne současně)

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

b	a	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Realizace: $a \oplus b = \overline{a} \cdot b + a \cdot \overline{b}$

Integrovaný obvod 7486

3.1.2.3. Zjednodušování logických funkcí - minimalizace.

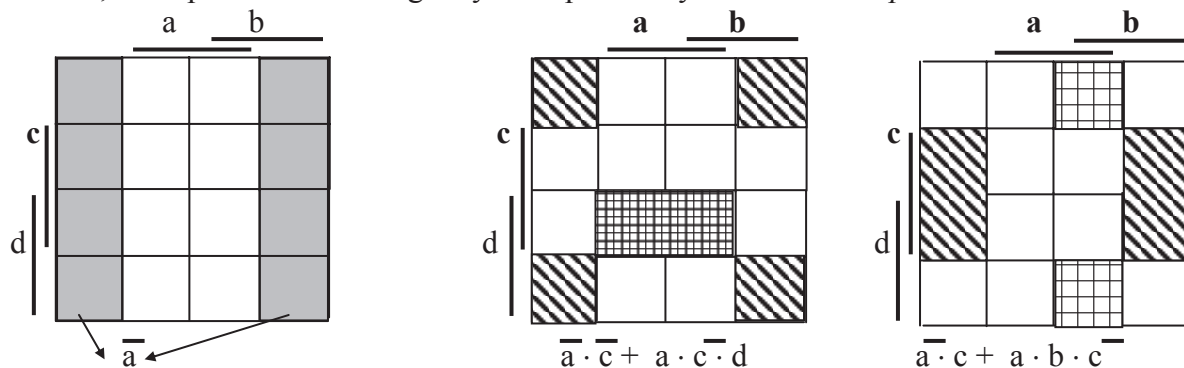
Cílem minimalizace logické funkce je nalezení jednoduššího výrazu, který se výstupními hodnotami rovná původní funkci. To vede k úspoře obvodů, času, zmenšení rozměrů, ceny, spotřeby atd.

Používané metody minimalizace:

- Použití pravidel Booleovy algebry (viz 2.1) - vhodné pro jednoduché funkce
- Metoda Quineyova - McCluskeyova, Presto, Espresso - metody pro PC, pro větší počet proměnných (> 4)
- Využití Karnaughových map - často používaná metoda, výhodné do 4 proměnných (maximálně 6 proměnných - při více proměnných se stávají nepřehlednými)

Zjednodušování logických funkcí pomocí Karnaughových map

Karnaughovy mapy se nepoužívají pouze k vyjádření logické funkce, ale slouží hlavně k minimalizaci logických funkcí. Pro správné pochopení postupu při minimalizaci funkcí pomocí Karnaughových map je důležité vysvětlit pojem *sousední políčka*. Na následujících příkladech si ukážeme, která políčka v Karnaughových mapách nazýváme *sousední políčka*.



Postup při minimalizaci logické funkce.

- Zadanou funkci vyneseme do mapy – políčko, kde je funkce rovna jedné označíme 1(I).
- Všechna sousední políčka s „1“ zakroužkujeme do smyček obsahující 1,2,4,8, (16,...) políček.
- Každá 1 může ležet i ve více smyčkách.
- Musíme zakroužkovat všechny „1“ pomocí co největších smyček. (Samozřejmě, že například 4 jedničky zakroužkované jednou smyčkou, nebudeme ještě kroužkovat například dvěma smyčkami po dvou jedničkách.)
- Jednotlivé smyčky vyjádříme jako průnik (součin) proměnných, které smyčky jednoznačně obsahují (tzn. že proměnná nenabývá mimo smyčku stejné hodnoty jako ve smyčce).
- Výsledkem minimalizace je vyjádření všech smyček pomocí sjednocení průníků odpovídajících proměnných tzn. logický součet jednotlivých součinů.

Často používané obraty při zjednodušování funkcí.

- Funkci je možno dvakrát znegovat a dále použít Morganovy zákony:
- Má-li logická funkce, kterou chceme minimalizovat, v tabulce více nul než jedniček, je snazší vypsát a minimalizovat negovanou funkci. Výsledek musíme samozřejmě zpátky znegovat.

- c) Jestliže víme, že některé kombinace vstupních hodnot nemohou v praxi nastat, dosadíme za ně takové hodnoty, aby výslednou funkci bylo možno co nejvíce zjednodušit. Například do takových políček napíšeme „x“ a při minimalizaci je zakroužkujeme spolu s „1“ (0), čímž získáme větší smyčky a tím i jednodušší vyjádření minimalizované logické funkce.

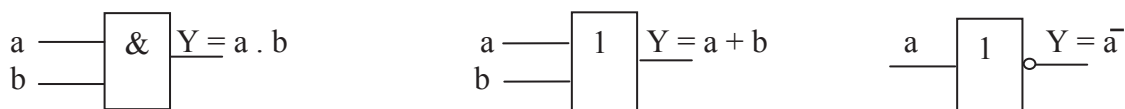
3.1.2.4. Realizace logických funkcí.

Posledním bodem postupu při návrhu kombinačního logického obvodu je jeho schéma, které je podkladem pro jeho technickou realizaci. Východiskem pro jeho nakreslení je minimalizovaný algebraický výraz. Ale ještě než začneme schéma kreslit, je nutné předem zvážit, jaké technické prostředky (logické členy) použijeme pro jeho realizaci. V případě realizace elektrickými logickými členy můžeme použít kontaktní přístroje (relé, stykače) nebo číslicové integrované obvody (viz. 2.2).

Realizace logických funkcí pomocí logických integrovaných obvodů.

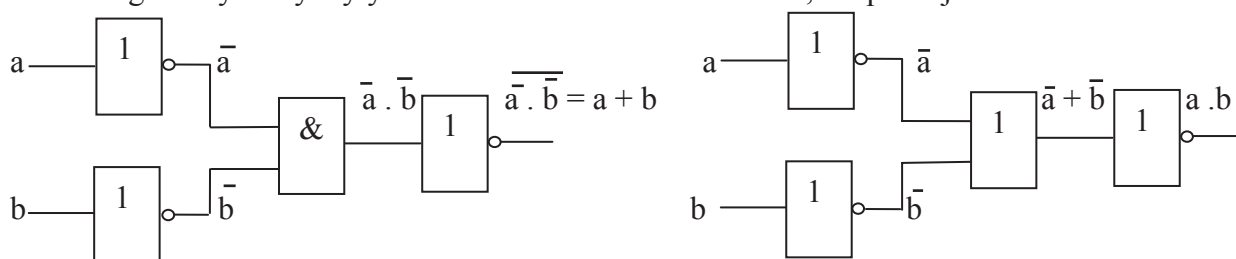
V předchozích kapitolách jsme viděli, že jakákoliv logická funkce libovolného počtu proměnných může být zapsána pomocí stejných operátorů: logického součtu, logického součinu a negace.

Tato skupina tří operátorů tvoří tzv. úplný systém logických funkcí. V praxi tedy stačí zkonstruovat tři logické členy (mechanické, pneumatické, elektrické atd.), které realizují tyto tři funkce. Na následujícím obrázku jsou symbolické značky těchto členů. A, B jsou vstupy, S je výstup, X a Y jsou proměnné přiřazené vstupům.



Obr.43. Členy logického součinu, logického součtu, negace.

První logické systémy byly založené na těchto třech členech, ale později na dvou:



Obr.44. Logický součet pomocí součinu a negace

Obr. 45. Logický součin pomocí součtu a negace

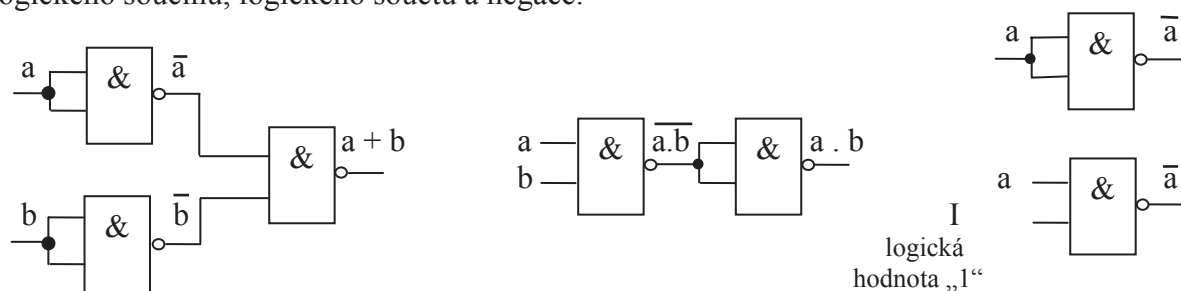
Později byly tyto dvojice nahrazeny obvody NAND a NOR, z kterých každý sám o sobě tvoří úplný logický systém. Snaha používat jenom členy NAND a NOR místo členů logického součinu, součtu a negace vznikla z důvodu zmenšení počtu typů těchto členů.

V praxi se používá současně členů NAND i NOR. Převody funkcí se však nedělají algebraicky, protože je to obtížné a dochází k chybám. Ve skutečnosti se realizuje každý z výrazů buď v přímém nebo v negovaném tvaru.

Jedním z kritérií optimálního návrhu logického obvodu je počet použitých pouzder, jejich typy a tím i cena obvodu.

Operátor NAND

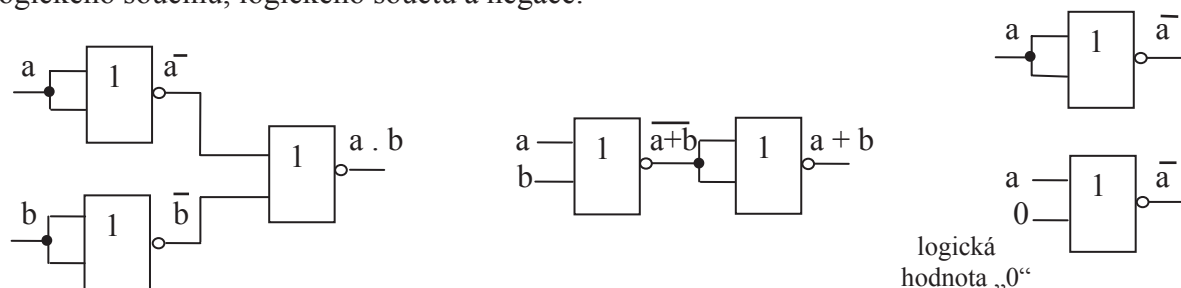
Tento operátor tvoří úplný logický systém, protože umožňuje realizovat základní operátory logického součinu, logického součtu a negace.



Obr.46. Funkce NAND a pomocí ní realizovaný logický součet, součin a negace.

Operátor NOR

Operátor NOR tvoří úplný logický systém, protože umožňuje realizovat základní operátory logického součinu, logického součtu a negace.

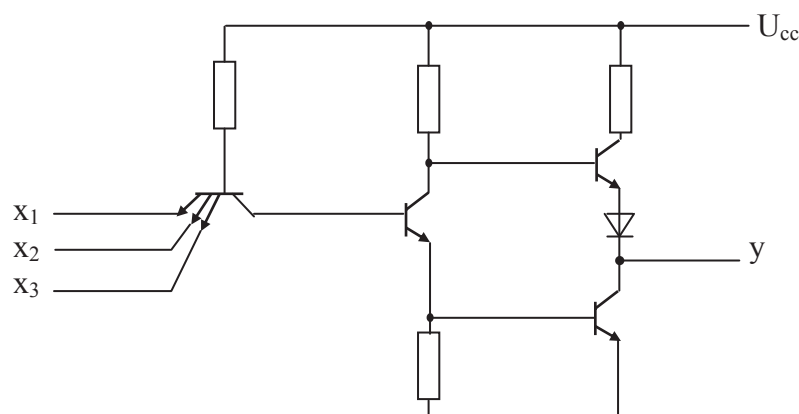


Obr.47. Funkce NOR a pomocí ní realizovaný logický součin, součet a negace.

Logické obvody TTL

Transistor Transistor Logic

Je to nejrozšířenější a nejrozmanitější technologie. Vstupy a výstupy jsou realizovány tranzistory. Na vstupu je tranzistor s více emitery. Výstupní obvod je s aktivní zátěží a má tu výhodu, že má malou impedanci stavu 0, kdy je spodní tranzistor nasycen (otevřen), a též ve stavu 1, kdy je spodní tranzistor uzavřen, ale využívá se výstupu z emitoru horního tranzistoru (emitorový sledovač s malou výstupní impedancí).



Obr.48. Člen NAND standardní řady 74

Obvody CMOS

(Complementary Metal Oxid Semiconductors)

Používají polem řízené (unipolární) tranzistory, což přináší ve statickém provozu velké snížení spotřeby. Dovolují dosáhnout velmi vysokého počtu prvků na čipu (stupeň integrace) a jsou proto základem složitých logických systémů (paměti, procesory, řadiče atd.).

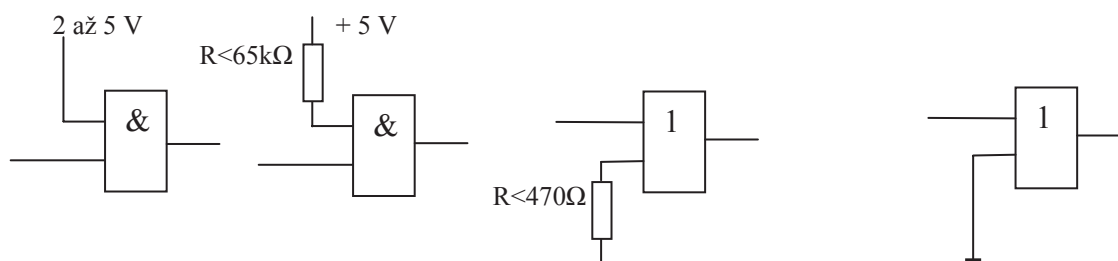
Řada ECL

Oproti řadám TTL a CMOS, které pracují ve stavech tranzistor zapnut/vypnut, pracují v lineárním režimu tranzistoru (více či méně otevřen), což dovoluje dosáhnout mnohem vyšších rychlostí.

Zásady používání obvodů TTL

Připojování vstupů:

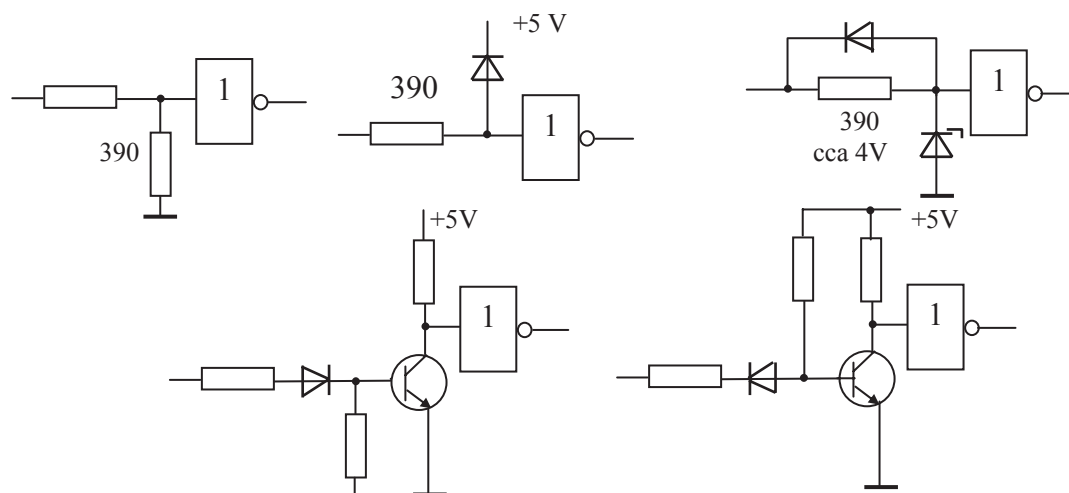
S ohledem na možnost průniku rušivého napětí by neměl zůstat žádný vstup hradla nezapojen. Připojíme jej proto na takovou logickou úroveň, která neovlivní realizovanou logickou funkci.



Obr.49. Připojení nevyužitých vstupů.

Připojení logického signálu s jinými úrovněmi než TTL:

- a) odporový dělič b) využití napájecího napětí c) využití Zenerovy diody



d) univerzální převodník

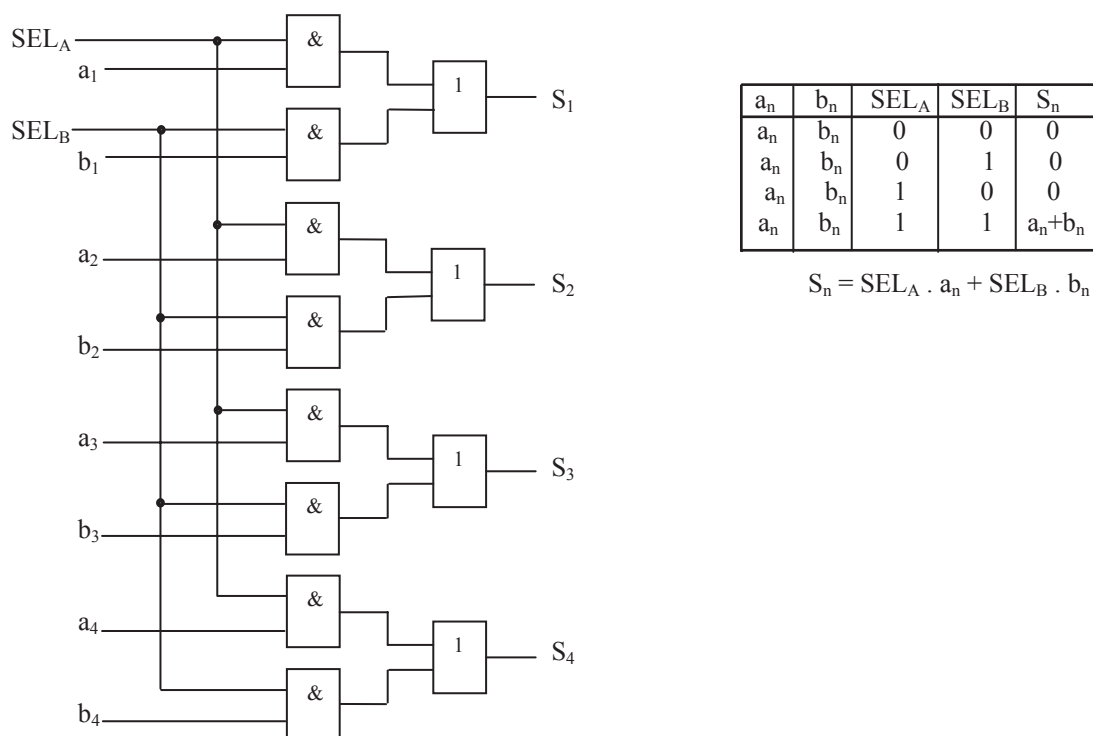
e) převodník ze záporných úrovní

Obr.50. Různé způsoby připojení k jiným napěťovým úrovním.

Obvyklé kombinační funkce a příslušné obvody.

Funkce přepínání informace

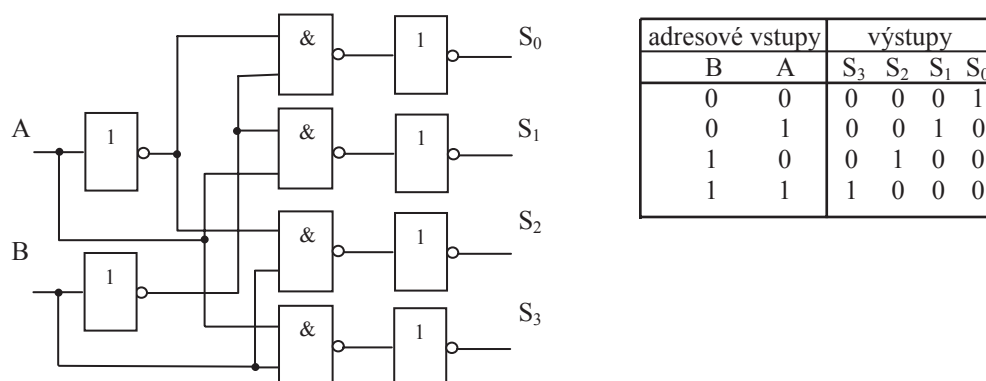
S tímto problémem se setkáváme, když se více veličin $A = a_1a_2a_3...a_n$; $B = b_1b_2b_3...b_n$, atd. má v různých okamžicích přivádět do společného bodu. K tomuto účelu se vytvářejí různé výběrové funkce SEL_A , SEL_B , atd., které vybírají v daném okamžiku proměnnou, která se má přivést do společného bodu. Výběr proměnné se realizuje pomocí součinů $A \cdot SEL_A$, $A \cdot SEL_B$, atd. a sečtením těchto součinů pomocí součtových členů (obr.). Pro tento účel byly realizovány integrované obvody, např. obvod 7451 realizuje tuto funkci s invertory na výstupech.



Obr.51 Přepínání dvou informací - funkční tabulka a obvodové schéma.

Dvojkový dekodér

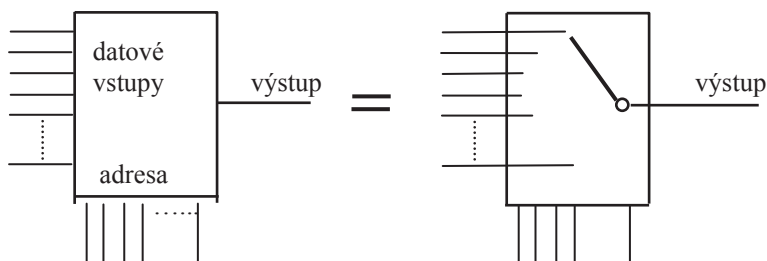
Je to obvod s n tzv. adresovými vstupy a 2^n výstupy, z nichž je v jistém okamžiku aktivní jen jeden. Číslo aktivního výstupu odpovídá dvojkové hodnotě přivedené na adresové vstupy. Tohoto obvodu se využívá hlavně pro výběr jednoho prvku z 2^n .



Obr.52. Pravdivostní tabulka a principiální schéma dekodéru.

Multiplexery

Multiplexery (MX) jsou kombinační logické obvody s n tzv. adresovými vstupy, z nichž je v jistém okamžiku aktivní jen jeden. Číslo aktivního výstupu odpovídá dvojkové hodnotě přivedené na adresové vstupy. Tohoto obvodu se hlavně používá jako přepínače mnoha vstupů na jeden výstup. Po zadání adresy vstupu se hodnota tohoto vstupu přenáší na výstup.



Obr.53. Blokové schéma a symbolická značka multiplexeru.

Využití multiplexeru. k realizaci libovolné kombinační funkce.

Multiplexer realizuje kombinační funkci datových a adresových vstupů. Tu je možno využít k realizaci libovolné funkce pro počet vstupních proměnných rovný počtu adresových vstupů.

Podstata zapojení je následující: výstupní logická funkce multiplexeru zahrnuje všechny kombinace adresových bitů, logicky vynásobených příslušným datovým vstupem. Připojíme-li tento datový vstup na logickou jedničku, zůstane daná kombinace adresových bitů obsažena ve výsledné funkci, při zapojení na logickou nulu nikoliv.

3.1.3. Sekvenční obvody

Sekvence je chápána jako časová posloupnost. Sekvenční obvody mají stav na výstupu závislý nejen na vstupních kombinacích, ale i na jejich předchozím sledu, tzn. že mají paměť předchozích vstupních a výstupních kombinací. Jediné kombinaci vstupů může odpovídat více různých hodnot výstupů. Mezi obvyklé sekvenční obvody patří : klopné obvody, registry, čítače, paměti, mikroprocesory.

Asynchronní sekvenční obvody

Jsou to obvody, ve kterých působí změna vstupů „okamžitě“ na výstup, zpoždění je dáno jen průchodem logickými členy. Asynchronní obvod může proto reagovat na podnět velmi rychle. V rozsáhlém logickém obvodu však dochází k různým hodnotám zpoždění, což může vést ke vzniku tzv. hazardních stavů - rušivých impulsů. Proto jsou složitá zapojení navrhována zásadně jako asynchronní.

Synchronní sekvenční obvody.

Tyto obvody nemění stav na výstupu ihned po změně vstupů, ale až po změně dalšího signálu - taktovací signál (hodinový, „clock“). Systém mění své hodnoty jen v definovaných okamžicích, danými hodinovým signálem, např. při jeho náběžné hraně. Všechny výstupy se tedy mění současně.

3.1.3.1. Klopné obvody

Klopné obvody lze rozdělit podle stavu výstupu v závislosti na čase na následující typy :

- a) **monostabilní klopné obvody** - mají pouze jeden ustálený stav, tzn. že po aktivaci je výstup po určitou dobu v opačném, než ustáleném stavu. Lze je použít např. pro časovače, ošetření zákmitu kontaktů atd.
- b) **bistabilní klopné obvody** - mají dva možné ustálené stavy, tzn. že v libovolném z nich může zůstat libovolnou dobu. Lze je použít např. jako paměť, tvoří i základ složitých sekvenčních obvodů - čítače atd. Nejčastěji se setkáváme s typy RS, RST, D, JK buď v podobě integrovaného obvodu nebo v podobě funkčních bloků v programovacích schématech programovatelných automatů.
- c) **astabilní klopné obvody** - nemají ustálený stav, jejich výstup se stále přepíná mezi logickou nulou a jedničkou. Lze je použít jako generátory obdélníkového signálu, např. jako zdroj hodinového kmitočtu.

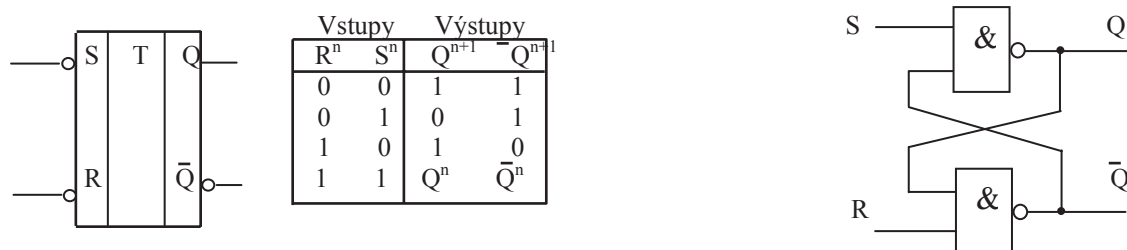
Symbole používané u klopných obvodů : **S, R** (Set, Reset) asynchronní vstupy
D, J, K informační vstupy
C (CK, CLK) hodinový vstup

Bistabilní klopné obvody

Úkolem bistabilního klopného obvodu je zaznamenat přítomnost přechodné informace a zapamatovat si tento stav, i když informace již ze vstupu zmizí. Tzn., že je možno tento obvod použít jako paměť.

Klopný obvod RS.

Klopný obvod má v asynchronním provedení dva vstupy - **R, S** a obvykle i dva výstupy - $\bar{Q}$, **Q**. Vstup R(reset, nulování) - slouží k uvedení výstupu **Q** do stavu logické nuly L. Vstup S (set, nastavení) - uvede výstup **Q** do stavu logické jedničky H. Výstup $\bar{Q}$ nabývá opačných hodnot oproti výstupu **Q**.



Obr.54. Schematická značka, tabulka přechodů a zapojení klopného obvodu RS.

Klopný obvod D

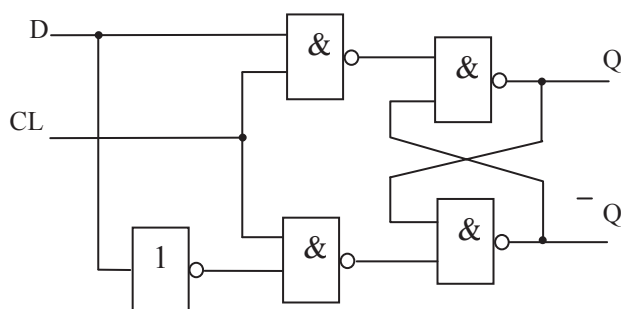
Klopný obvod D vznikne ze synchronního obvodu RST zařazením invertoru mezi vstupy R a S, čímž se vyloučí stav shodných hodnot na vstupech R a S ($R=0 \wedge S=0, R=1 \wedge S=1$). Obvod má dva vstupy - D, T a obvykle dva výstupy - **Q**, $\bar{Q}$. Lze jej jednoduše použít jako jednobitovou paměť.

Vstup D (data) - slouží k přivedení hodnoty která se má uchovat.

Vstup C (clock, hodiny) - uvede výstup **Q** do stavu odpovídajícímu vstupu D.

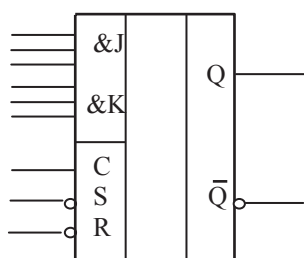
Obvod se statickým řízením zápisu - výstup **Q** kopíruje během impulsu na C stav na vstupu D.

Obvod s dynamickým řízením zápisu - reaguje pouze na změnu úrovně na vstupu C, tzn. na vzestupnou nebo na sestupnou hranu impulsu.



Obr.55. Klopný obvod D z hradel NAND.

Klopný obvod JK



Přechodová tabulka obvodu J-K			
J^n	K^n	Q^{n+1}	činnost obvodu
0	0	Q^n	zachová předchozí stav
0	1	0	nastavení výstupu do „0“
1	0	1	nastavení výstupu do „1“
1	1	$\bar{Q}^n$	zneguje předchozí stav výstupu

Vstupy **J** a **K** nazýváme synchronní, jelikož se „projeví“ pouze v okamžiku změny hodinového pulsu. Vstupy **R** a **S** nazýváme asynchronní (nastavovací), jelikož působí bez ohledu na „chování“ vstupů **J, K** a **C**. Vstupy R a S jsou negovány a to znamená, že když nejsou zapojeny („1“) tak nepůsobí na obvod. Chceme-li nastavit „0“, připojíme R na „0“ (uzemníme). Chceme-li nastavit „1“, připojíme na „0“ vstup S (S i R na „0“ je nestabilní stav).

Obr.56. Schematická značka a přechodová tabulka klopného obvodu JK.

3.1.3.2. Registry

Registry vzniknou vhodným použitím klopných obvodů. Můžeme je rozdělit na paměťové a posuvné.

Paměťové registry (latch) - slouží jako paměť pro několik bitů. Např. obvod 74175 obsahuje 4 klopné obvody typu D, může tedy sloužit jako paměť pro 4 bity.

Posuvné registry(shift) - dokáží po každém hodinovém impulsu posunout uložené číslo o jeden bit vlevo (SHL, ROL) nebo vpravo (SHR, ROR).
- mohou mít paralelní nebo sériový výstup

3.1.3.3. Čítače

Čítače jsou velmi používané součásti; realizované hardwarově (integrováné obvody) nebo softwarově (programovatelné automaty), sloužící k počítání vstupních impulsů. Mohou počítat nahoru (0, 1, 2, 3,...) nebo dolů (0, 9, 8, 7, ...).

Desítkový čítač počítá v desítkové soustavě - př. obvod 7490 počítá 0 - 9.

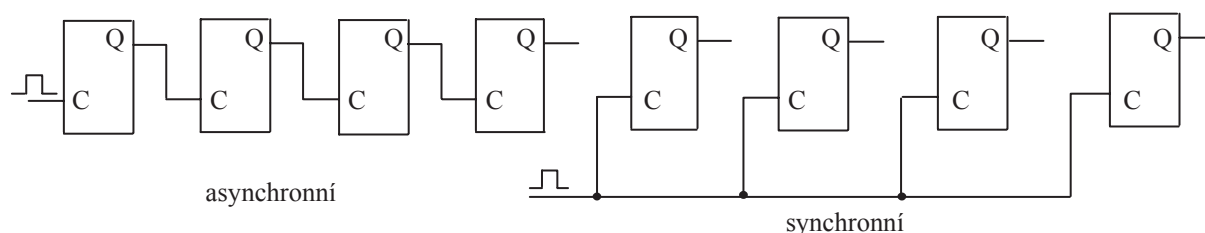
Binární čítač počítá v rozsahu 0 - $2^N - 1$, kde N je počet bitů výstupu - př. obvod 7493 počítá 0-15. Po překročení rozsahu počítá čítač opět od počáteční hodnoty (nejčastěji od 0).

Asynchronní čítač

Asynchronní čítač nemá synchronizační (hodinový) vstup CL, ke změně výstupu dojde ihned po příchodu počítaných impulsů. Většinou slouží pro jednodušší zařízení, u kterých není nutná synchronní práce všech obvodů. Příkladem jsou integrováné čítače 7490 (desítkový) a 7493 (binární).

Synchronní čítač

Má oproti asynchronnímu navíc synchronizační vstup (hodiny, CL), který slouží k ovládání více čítačů naráz (zabráníme vzniku falešných impulsů). Ke změně dojde až při změně na synchronizačním vstupu.



Obr.57. Blokové schéma asynchronního a synchronního čítače.

Výstupy čítačů

Výstupy čítačů mohou být v různém kódu, nejčastěji binární nebo desítkové číslo. Maximální číslo na výstupu pak může být rovno $2^N - 1$, pokud nejde o čítač se zkráceným početním cyklem (N je počet výstupních bitů). Dalším výstupem může být přetečení rozsahu - přenos nahoru (carry up), přenos dolů (carry down). Na výstupu binárního čítače v podobě integrovaného obvodu máme k dispozici signály s poloviční, čtvrtinovou, osminovou atd. frekvencí vstupního signálu, proto ho lze též využít pro dělení kmitočtu.

Vstupy čítačů

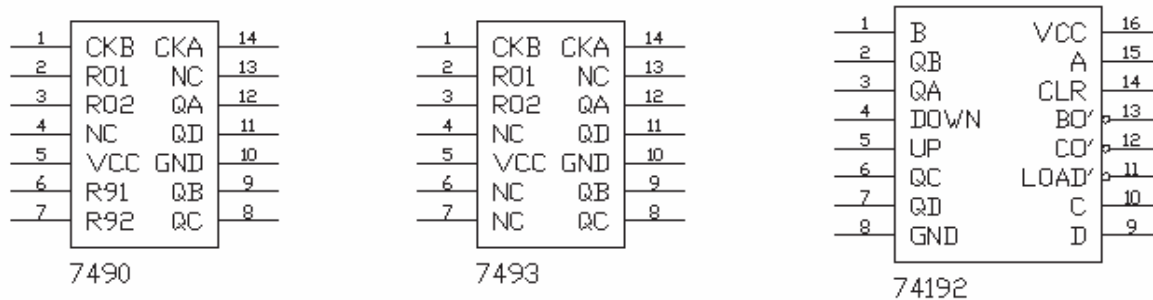
Čítače mohou mít množství vstupů, ať již je realizován jako součástka nebo virtuální prvek programovatelného automatu.

Asynchronní vstup - způsobí počítání ihned při změně na tomto vstupu.

Synchronní vstup - potřebuje k počítání navíc i změnu na synchronizačním vstupu CL

Vstupy pro nastavení počáteční hodnoty čítače - změnou úrovně na tomto vstupu se čítač nastaví na počáteční hodnotu, od které začne počítat.

Nulovací vstup (reset) - umožní nastavit na výstupu hodnotu nula.



Obr.58. Čtyřbitový dekadický 7490, binární čítač 7493 a 74192.

3.2. Programovatelné automaty

Programovatelný automat je uživatelsky programovatelný řídicí systém přizpůsobený pro řízení průmyslových a technologických procesů nebo strojů. První programovatelné automaty byly vyrobeny firmou Allen Bradley počátkem roku 1969. Byly to jednoduché systémy logického typu, které nahrazovaly relé, časová relé a mechanická počítadla. Díky jednoduchému programování, velké přizpůsobitelnosti a spolehlivosti se PA rychle rozšířily a v současné době jsou používány téměř ve všech oblastech průmyslu. Progresivní vývoj moderních mikroelektronických prvků velké integrace umožnil výrazné změny vlastností PA. V současných aplikacích se však zvyšuje podíl úloh regulačního typu, úloh monitorování řídicího procesu a úloh analogového měření. Nejčastěji se označují zkratkou PLC (Programmable Logic Controller), někdy FPC nebo PC (Free Programmable Controller), v němčině pak SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung). V češtině je možno používat zkratku PA (programovatelný automat), ale je vžitá zkratka PLC.

Na našem trhu se vyskytuje řada typů programovatelných automatů různých výrobců jako např. ABB, Allen-Bradley, AEG, Eberle, Klöckner Moeller, Festo, GE, Matsushita, Mitsubishi, Modicon, Omron, Saia, Siemens, Telemecanique, Teco. Programovatelné automaty různých výrobců se samozřejmě v detailech liší, ale mají společné základní znaky, způsoby použití a v posledních letech se sjednocuje i způsob jejich programování dle standardu IEC 1131-3.

Hlavní předností programovatelných automatů je možnost rychlé realizace systému. Technické vybavení nemusí uživatel vyvíjet. Stačí navrhnout a objednat vhodnou sestavu modulů programovatelného automatu pro danou aplikaci, vytvořit projekt, napsat a odladit uživatelský program a to vše realizovat a uvést do chodu. Jen výjimečně se podaří, že první varianta řešení zůstane tou poslední a konečnou. Požadavky na celý systém se průběžně vyvíjejí a rozšiřují. Na rozdíl od systémů s pevnou logikou (relé, stykače), stačí u systémů s programovatelnými automaty většinou opravit, změnit nebo rozšířit uživatelský program. Pokud si dodatečné požadavky zákazníka vyžadují použití nových vstupů a výstupů, stačí mnohdy využít rezerv v konfiguraci systému, popřípadě doplnit potřebné moduly, doplnit projekt a program, všechno důkladně odladit, ověřit, otestovat, zdokumentovat a seznámit uživatele se změnami. K dalším velkým výhodám patří jejich schopnost komunikace s nejrůznějšími systémy a zařízeními (senzory, měřicí zařízení, akční členy) s ostatními programovatelnými automaty a s nadřazenými systémy. Tato schopnost komunikace umožňuje stavbu řídicích systémů skládající se z nejrůznějších komponent od různých výrobců.

3.2.1. Technické vybavení programovatelných automatů.

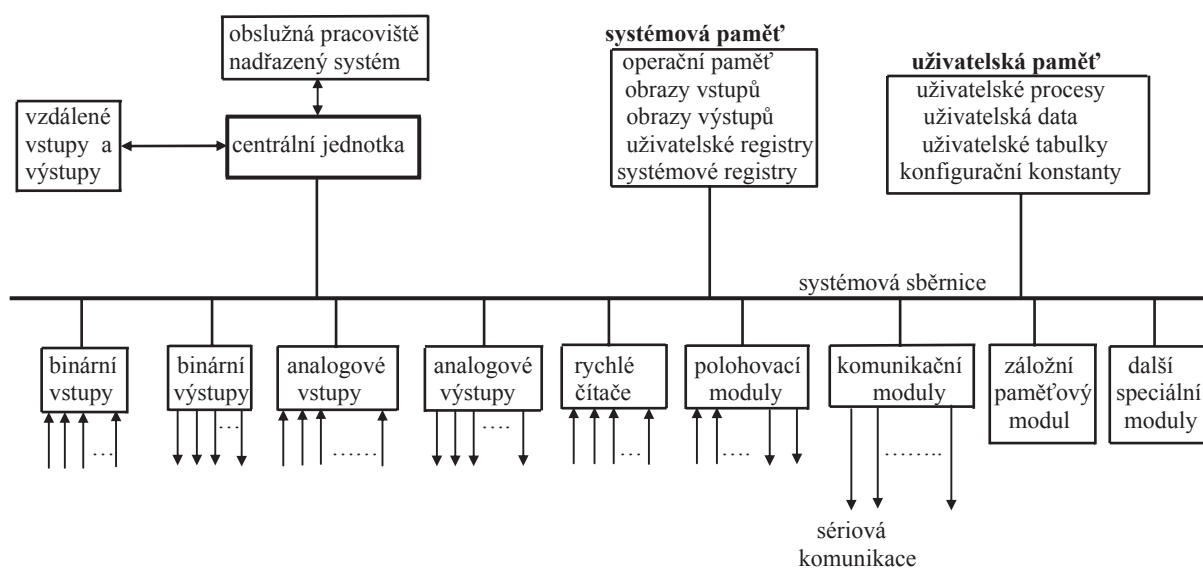
Každý programovatelný automat se v podstatě skládá z centrální procesorové jednotky, systémové paměti, uživatelské paměti, souboru vstupních a výstupních jednotek pro připojení řízeného systému (technologického procesu, výrobního stroje nebo zařízení) a souboru komunikačních jednotek pro komunikaci s ostatními systémy. Jednotky programovatelného automatu jsou navzájem propojeny systémovou sběrnici.

3.2.1.1. Konstrukční a elektrické provedení programovatelných automatů.

Pouzdro, základní modul, napájení.

Kompaktní programovatelné automaty jsou umístěny buď v jednom pouzdře (kazetě, vaně) nebo dovolují v malé míře rozšíření pomocí tzv. rozšiřovacích modulů. Většinou se montují přímo na lištu DIN do rozvaděče.

Modulární automaty jsou tvořeny rámem (nosnou deskou, lištou) ve kterém je umístěna centrální procesorová jednotka (CPU), napájecí jednotka, systémová a napájecí sběrnice a několik volných pozic pro zásuvné periferní jednotky.



Obr.59. Blokové schéma programovatelného automatu.

Centrální procesorová jednotka

Centrální procesorová jednotka (CPU, Central Procesor Unit) je základem celého programovatelného automatu a určuje jeho výkonnost. Bývá jednoprocesorová i víceprocesorová (matematický koprocesor, vstupní/výstupní procesor, komunikační procesor, rychlý bitový procesor).

Důležitým charakteristickým parametrem je operační rychlost posuzovaná podle tzv. doby cyklu (doba zpracování 1000 logických instrukcí - desítky ms až desetiny ms). Výrobci nabízejí pro daný typ automatu různé CPU lišící se rychlostí, velikostí pamětí a tím i cenou.

Paměťový prostor se může dělit na paměť uživatelskou, systémovou a paměť dat. Do uživatelské paměti se ukládá uživatelský program. Tato paměť bývá typu EPROM nebo EEPROM a má kapacitu řádově desítky KB a jednotky MB. V systémové paměti je umístěn systémový program. Tato paměť bývá též typu EPROM. V samostatné jednotce může být umístěna přídavná uživatelská paměť - „databox“. Paměť dat musí být typu RAM (RWM). Jsou v ní umístěny uživateli dostupné registry, zápisníkové registry (flagy), čítače, časovače a vyrovnávací registry pro obrazy vstupů a výstupů. Počet těchto registrů výrazně ovlivňuje možnosti programovatelného automatu. Adresovatelný prostor vymezený pro vstupy/výstupy omezuje počet připojitelných periferních jednotek. Důležitým parametrem jsou i rozsahy čítačů a časovačů. Na CPU bývá též umístěn jeden nebo i více sériových komunikačních kanálů. Většina automatů disponuje s hodinami reálného času a kalendářem, tzn. že lze tyto údaje použít při tvorbě programu (ovládání zařízení v určitý den a hodinu).

Binární (digitální) vstupní jednotky.

Zajišťují tyto funkce :

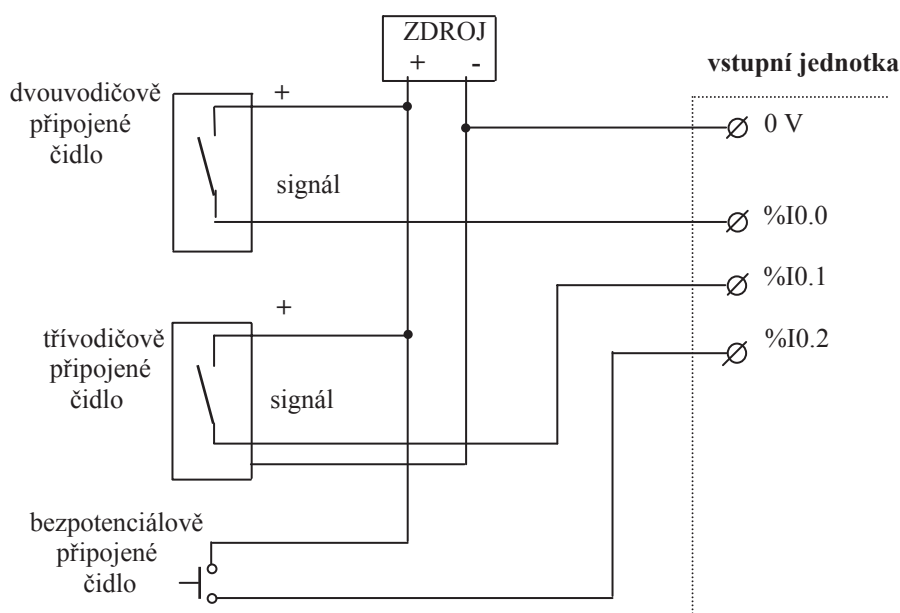
- ochranu všech vstupů programovatelného automatu před poškozením nebo zničením
- odfiltrování krátkodobých rušivých impulsů (např. pomocí zpoždění signálu)
- galvanické oddělení obvodů vstupního modulu od centrální jednotky (pomocí optočlenů)
- signalizaci stavu vstupů (pomocí LED)

Slouží k připojování prvků pro tvorbu vstupů s dvouhodnotovým charakterem výstupního signálu (tlačítka, přepínače, koncové spínače, senzory dotyku nebo přiblížení, dvouhodnotové senzory tlaku, teploty, hladiny atd.).

Napětové úrovně (nejpoužívanější) - ss : **5, 12, 24, 48 V**

stř : **24, 48, 115, 230 V**

Mají společný vodič pro zápornou i kladnou polaritu.



Obr.60. Různé způsoby připojení vstupní jednotky.

Binární (digitální) výstupní jednotky

Slouží k připojování různých akčních členů s dvouhodnotovým charakterem (cívky relé a stykačů, signalizační zařízení, solenoidové ventily, cívky pneumatických a hydraulických rozvaděčů, stupňovité řízení pohonů a frekvenčních měničů, atd).

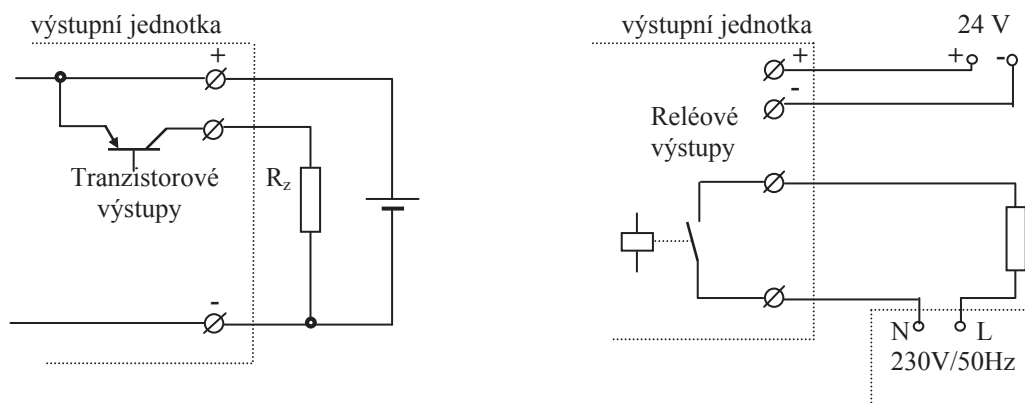
Plní tyto funkce - galvanické oddělení signálu přicházejícího z CPU od signálu předávaného z výstupní jednotky akčním členům (pomocí optočlenů)

- zesílení signálu na potřebnou úroveň
- ochrana výstupů před zkratem
- signalizace stavu výstupů (LED)

výstupní napětí - ss : 24, 48 V - tranzistorové spínací prvky NPN, PNP

- stř. : 24 - 250 V, 24 - 48 V, 115 - 230 V - triakové spínací prvky

- pro ss i stř. napětí (do 250 AC/60V DC) - reléové spínací prvky



Obr.61. Různé způsoby připojení výstupních jednotek.

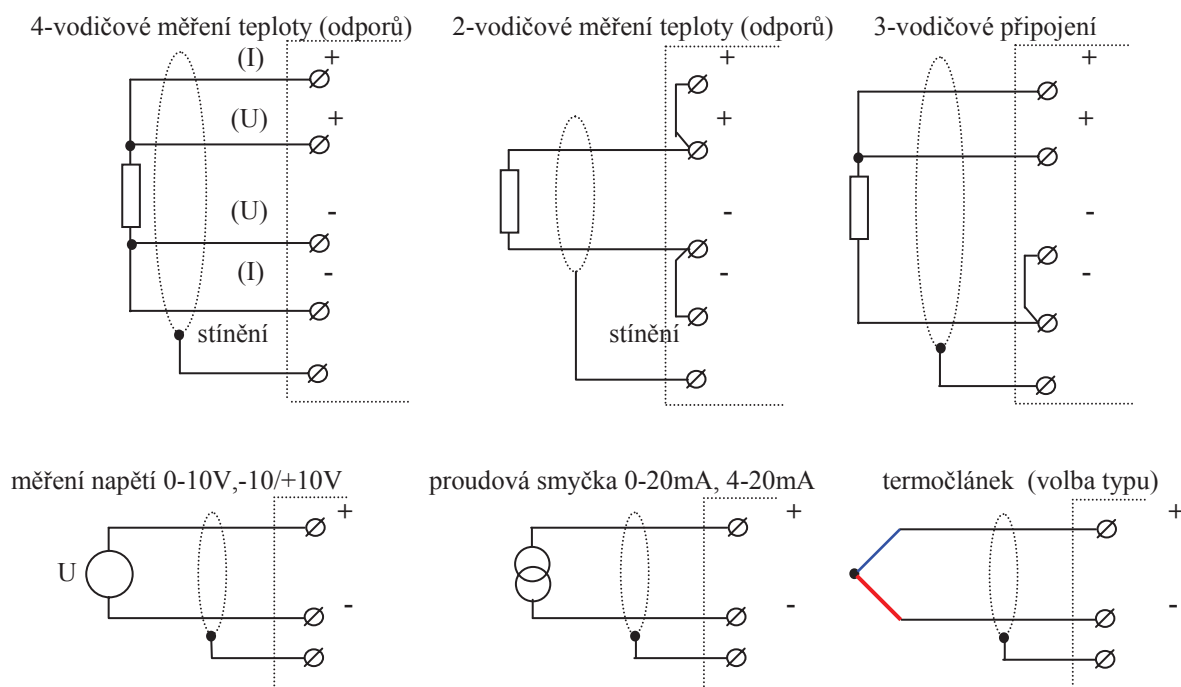
Analogové vstupní jednotky.

Zprostředkují kontakt programovatelného automatu se spojitým prostředím (měřené napětí nebo výstup z potenciometru, snímače teploty vlhkosti, rychlosti tlaku, síly, atd.).

Nejdůležitější součástí je A/D převodník, který převádí analogové napěťové nebo proudové signály na číselné hodnoty. Má rozsah 8 nebo 12 bitů (rozsah určuje přesnost převodu).

Existují analogové jednotky specializované pro určité typy čidel (termočlánky, odporové teplooměry ve čtyřvodičovém zapojení, atd.). Nejsou již univerzální, ale zato jsou optimálně přizpůsobeny svému určení a poskytují tak kvalitnější a levnější řešení.

Moduly s galvanickým oddělením dovolují zvýšit odolnost systému proti rušení.



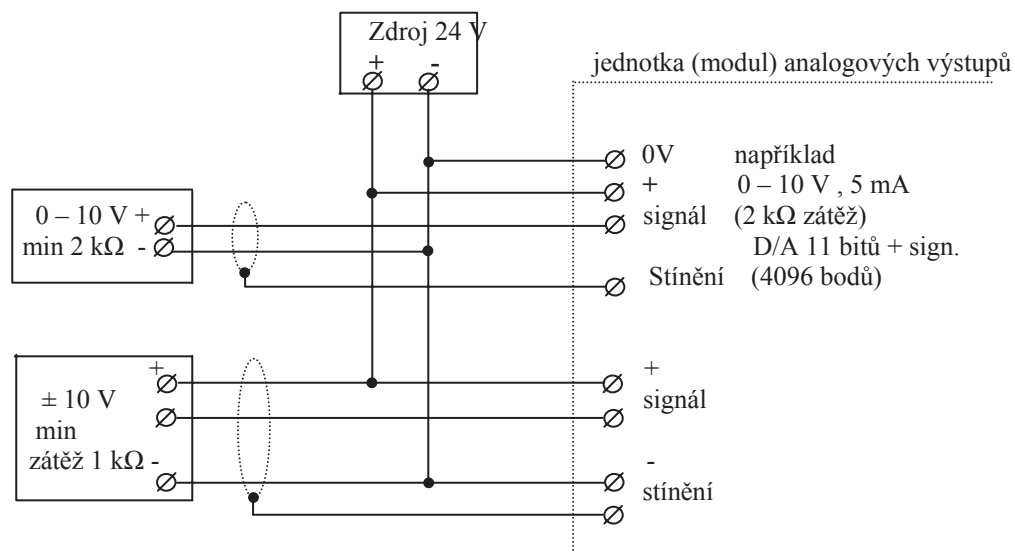
Obr.62. Různé způsoby připojení analogové vstupní jednotky.

Analogové výstupní jednotky

Slouží pro ovládání různých akčních členů či zařízení se spojitým charakterem vstupního signálu (servopohony, frekvenční měniče, ručkové měřicí přístroje, atd.).

Základ tvoří D/A převodník, zpravidla 8 nebo 12 bitový (na rozsahu závisí přesnost)

Analogové výstupy jsou buď napěťové nebo proudové (aktivní, pasivní).



Obr.63. Připojení akčních členů k napěťovým výstupům.

Komunikační jednotky.

Umožňují komunikaci se vzdálenými moduly vstupů a výstupů, s podsystémy, se souřadnými a nadřizenými systémy, s operátorskými panely a s jinými inteligentními přístroji, s počítači a jejich sítěmi a vytvářet tak distribuované systémy.

Většinou rozšiřují počet asynchronních sériových komunikačních kanálů.

K dispozici jsou i jednotky umožňující dálkové přenosy dat přes modem a telefonní síť nebo přes radiomodem.

Jednotlivé jednotky se liší podle počtu poskytovaných kanálů a podle použitého typu rozhraní (RS 232, RS 422, RS 485)

Speciální jednotky.

Moduly pro řešení regulačních úloh - PID regulátory, moduly s fuzzy logikou a fuzzy regulací.

Modul pneumatických výstupů - místo vodičů hadičky (pro výbušná prostředí).

Jednotka pro vstup z CCD kamery - obrazová informace z technologického procesu.

Čítačové jednotky.

Určeny k čítání pulsů, jejichž perioda je srovnatelná nebo kratší než je smyčka programu programovatelného automatu (inkrementální snímače).

Polohovací jednotky.

Určeny pro snímání polohy a řízení jedné nebo dvou souvislých os, případně pro řízení pohybu po naprogramované dráze. Parametry pohybu (dráha, koncová poloha, rychlost, zrychlení atd.) jsou zadávány z programovatelného automatu.

Programovatelný automat může realizovat obdobné úlohy, jako systémy CNC. To je významné zejména při řízení jednoúčelových strojů, měřicích strojů, manipulátorů s materiálem a pomocných mechanismů, kde je použití standardních CNC nevhodné a drahé.

3.2.2. Programové vybavení programovatelných automatů.

„Intelligence“ programovatelného automatu je soustředěna v centrální jednotce (CPU). Centrální jednotka realizuje soubor instrukcí a systémových služeb, zajišťuje i základní komunikační funkce s vlastními i vzdálenými moduly, s nadřazeným přístrojem a s programovacím přístrojem.

Protože programovatelné automaty byly původně určeny k realizaci logických úloh a k náhradě pevné logiky, obsahuje každý automat instrukce pro logické operace s bitovými operandy, instrukce paměťových funkcí a klopných obvodů, instrukce pro zápis výsledku a mezivýsledku na adresované místo, ale i instrukce čítačů, časovačů, posuvných registrů, krokových řadičů a jiných funkčních bloků. V souboru instrukcí současných PLC jsou obsaženy instrukce pro aritmetické operace s čísly, logické instrukce s číselnými operandy (paralelní operace s operandem v délce byte, slovo nebo delší), přenosy dat a instrukce pro realizaci programu (skoky v programu, cykly, volání podprogramů a návraty, atd.). Některé PLC poskytují i velmi výkonné instrukce pro komplexní operace (realizace regulátorů a jejich automatické seřizování, fuzzy logika a fuzzy regulace, operace s daty a datovými strukturami, atd.).

3.2.2.1. Vykonávání programu PLC

Program PLC je posloupnost instrukcí a příkazů jazyka. Typickým režimem jeho aktivace je cyklické vykonávání v programové smyčce. Na rozdíl od jiných programovatelných systémů se programátor PLC nemusí starat o návrat programu na začátek po jeho „doběhnutí“, to zajistí sys-

témový program. Naopak každé dlouhodobé setrvání programu v programové smyčce je chybou a systém ji hlásí jako „překročení doby cyklu“.

Program PLC je vykonáván v cyklu. Vždy po vykonání poslední instrukce uživatelského programu, je předáno řízení systémovému programu, který provede tzv. otočku cyklu. V ní nejprve aktualizuje hodnoty výstupů a vstupů (hodnoty uložené v paměti jako obrazy výstupů přepíše do registrů výstupních modulů a aktuální hodnoty ze vstupních modulů okopíruje do paměťových obrazů vstupů). Dále aktualizuje časové údaje pro časovače a systémové registry, ošetří komunikaci a provede ještě řadu režijních úkonů. Po otočce cyklu je opět předáno řízení první instrukci uživatelského programu. Pro program PLC je tedy typické, že nepracuje s aktuálními hodnotami vstupů a výstupů, ale s jejich paměťovými obrazy, uloženými (konzervovanými) v zápisníkové paměti (registry pro vstupy a registry pro výstupy). Tím je zajištěna synchronizace vstupních a výstupních dat během programu a je tak omezena možnost chyb způsobených nevhodným souběhem měnících se hodnot většiny systémových proměnných (například zpráv předávaných sériovou komunikací).

3.2.2.2. Tvorba uživatelských programů.

Před vlastním programováním je vhodné určitými prostředky vyjádřit požadovaný algoritmus chování řízeného systému. Pro vyjádření se používají různé prostředky. Pro kombinační logiku je nejvhodnější pravdivostní tabulka (popřípadě Karnaughova mapa). U sekvenčních systémů se podle typu úlohy používá krokový diagram, časová tabulka, stavový diagram nebo rozšířený vývojový diagram.

Vlastní uživatelské programy lze vytvářet pomocí samostatných programovacích přístrojů („programátorů“) nebo pomocí PC. Pro většinu PLC je k dispozici speciální programové vybavení pro tvorbu uživatelských programů na PC. V něm je možno konfigurovat celý systém, provádět vlastní zápis a editaci programu (většinou bývá možnost programovat ve více programovacích jazycích), editovat alokační tabulku proměnných, používat syntaktickou kontrolu programu po překladu jazyka do strojových instrukcí, u některých systémů je možnost odladování programu v simulačním režimu (bez PLC) a někdy je možno ladit program při jeho běhu (v režimu online).

Zároveň s programem je tvořena dokumentace programu - výpis programu, alokační tabulka (tabulka proměnných a jejich přiřazení), nastavení čítačů a časovačů, komentáře k programu atd.

3.2.2.3. Programovací jazyky PLC.

Jsou to jazyky navržené pro snadnou, názornou a účinnou realizaci logických funkcí. Jazyky systémů různých výrobců jsou podobné, nikoliv však stejné, takže je není možno přenášet mezi PLC. Mezinárodní norma IEC 1131 se snaží jazyka a zvyklostí různých výrobců co nejvíce sblížit. Tato norma definuje tyto typy jazyků :

Jazyk mnemokódů.

Instruction List (IL, německy Anweisungslist - AWL) je obdobou assembleru u počítačů a je také strojově orientován (každé instrukci PLC systému odpovídá stejně pojmenovaný příkaz jazyka). Tyto jazyky poskytují obvyklý „asemblerový komfort“ - aparát symbolického označení návěští pro cíle skoků a volání, symbolická jména pro číselné hodnoty, pro pojmenování vstupních, výstupních a vnitřních proměnných a jiných objektů programu, pro automatické přidělování paměti pro uživatelské registry a pro jiné datové objekty, pro jejich inicializaci, pro zadávání číselných hodnot v různých číselných soustavách.

Jazyk kontaktních (reléových) schémat.

Ladder Diagram (LD, německy Kontaktplan - KOP) je grafický jazyk, který se základními logickými operacemi zobrazuje program ve formě obvyklé pro kreslení schémat s reléovými a kontaktními prvky (liniové schéma). Symboly pro kontakty a cívky jsou zjednodušeny, aby mohly být vytvářeny semigraficky. Instrukce, které nemají svou analogii v kontaktní symbolice, se obvykle zobrazují jako dvojice závorek nebo obdélníková značka s vepsaným mnemokódem instrukce.

Tento jazyk je výhodný při programování nejjednodušších logických operací a v případech, kdy s ním pracuje personál, který nezná tradiční počítačové programování. Je praktický při rychlém servisu, zvláště je-li možno zobrazit „vodivou cestu“ v režimu on-line. U složitějších aplikací (aritmetické instrukce, operace s vektorovými operandy, skoky a volání) se kontaktní schéma stává nepřehledným a ztrácí smysl.

Jazyk logických schémat.

Jazyk funkčních bloků (Function Block Diagram, německy FUP) je grafický jazyk, který základní logické operace popisuje obdélníkovými značkami. Výška značky je přizpůsobena počtu vstupů. Své značky mají i ucelené funkční bloky (čítače, časovače, posuvné registry, paměťové členy, aritmetické a paralelní logické instrukce).

Jazyk strukturovaného textu.

Structured Text (ST) je obdobou vyšších programovacích jazyků pro PC nebo mikrořadiče (Pascal, C). Umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů.

Grafický jazyk pro sekvenční programování.

(SFC, GRAFCET) tvoří nadstavbu nad popsávanými jazyky. K popisu struktury používá značky stavů přechodů a větvení. Chování v jednotlivých stavech nebo definování podmínek přechodů lze obvykle popsat prostředky kteréhokoliv z předchozích jazyků nebo dalším vnořeným sekvenčním grafem (podgrafem). Je velmi názorný a podporuje systémový přístup k programování.

3.3. Regulační technika.

3.3.1. Základní pojmy.

Regulace - její úlohou je nastavit určité veličiny např. teplota, tlak, otáčky, napětí atd. na předepsané hodnoty a udržovat je při působení poruch na požadovaných velikostech.

Regulovaná veličina - veličina, která je regulací upravována podle stanovených podmínek
- regulovanou veličinou může být například teplota, otáčky, napětí, výška, atd.

Akční veličina – veličina, pomocí které ovlivňujeme regulovanou veličinu

Příklad :

Chceme-li regulovat teplotu plynové pece, můžeme měnit množství přiváděného plynu (průtok). Teplota je v tomto případě regulovanou veličinou a je ovlivňována akční veličinou, v našem případě průtokem plynu.

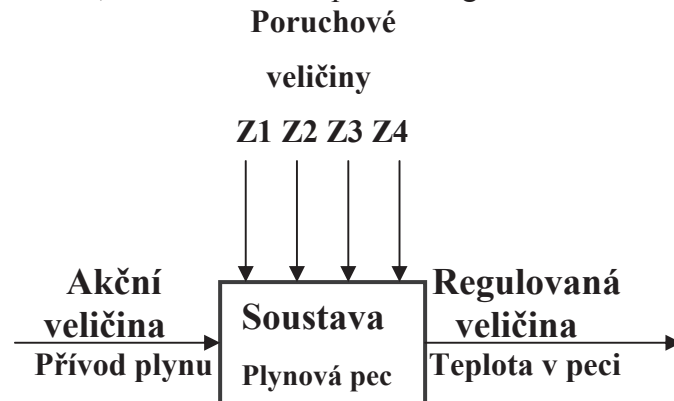
Regulaci potřebujeme tehdy, jestliže regulovaná veličina sama nezůstává na požadované hodnotě, ale působením vnějších poruch, poruchových veličin, má snahu měnit svoji hodnotu. Poruchové veličiny mohou být v tomto případě tyto : kolísání tlaku plynu

nestálá výhřevnost plynu
změna teploty okolí
kolísání odběru tepla z pece

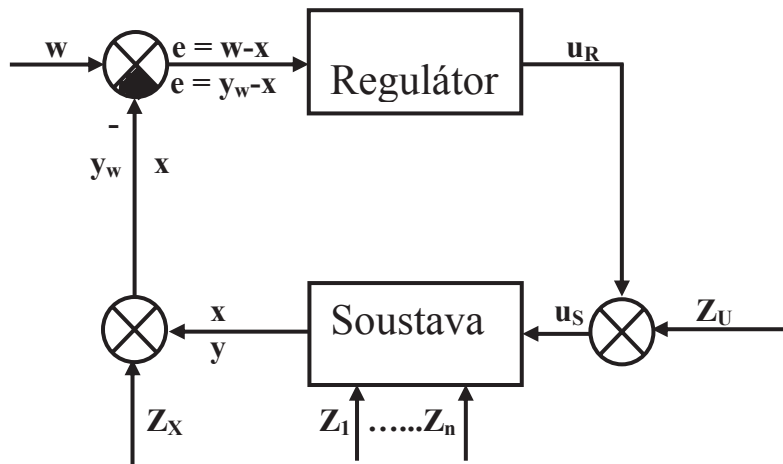
Na začátku každé úlohy zabývající se regulací si musíme nejprve ujasnit pojmy jako: *regulovaná soustava*, *regulovaná veličina*, *akční veličina*, *poruchová veličina*, jejich vlastnosti a vzájemné vztahy, které ovlivňují chování regulačního obvodu a tím i kvalitu regulace.

Regulovaná soustava

Regulovaná soustava je zařízení na kterém provádíme regulaci, nebo-li zařízení které regulujeme. Regulátor je zařízení, které samočinně provádí regulaci.



Blokové schéma regulačního obvodu.



X – regulovaná veličina – veličina, jejíž hodnota se regulací upravuje podle daných podmínek

U – akční veličina – výstupní veličina regulátoru a současně vstupní veličina regulované soustavy

W – řídicí veličina – veličina, která nastavuje žádanou hodnotu regulované veličiny

Z – poruchová veličina – $Z_1 \dots Z_n$ - poruchy, které působí na soustavu

Z_U – porucha působící v místě akční veličiny

Z_X – porucha působící v místě regulované veličiny

Y – skutečná hodnota – naměřená hodnota na výstupu soustavy

y_w – skutečná hodnota pro porovnání s žádanou hodnotou – skutečnou hodnotu regulované veličiny zjišťujeme měřením a porovnáváme ji s žádanou hodnotou

e – regulační odchylka – rozdíl mezi žádanou hodnotou regulované veličiny a skutečnou hodnotou regulované veličiny

- platí : $e = w - y_w$ nebo také $e = w - x$

MČ – měřicí člen – pro určení skutečné hodnoty regulované veličiny

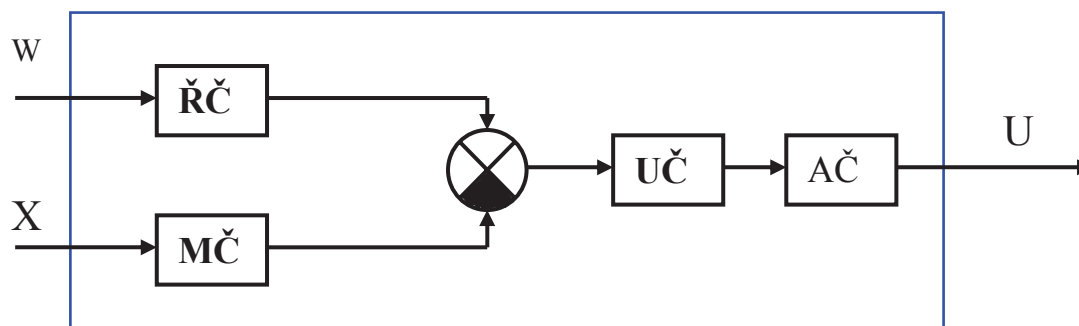
ŘČ – řídicí člen – pro nastavení žádané hodnoty

PČ – porovnávací člen – porovnává skutečnou hodnotu a žádanou hodnotu regulované veličiny

ÚČ – ústřední člen – zpracovává regulační odchylku e

AČ – akční člen – ovlivňuje akční veličinu, výkonný (působí na soustavu)

Blokové schéma regulátoru.



3.3.2. Regulované soustavy.

Regulovaná soustava je zařízení nebo jeho část, na kterém se provádí regulace a v němž se ovlivňuje regulovaná veličina. Vstupním signálem soustavy je akční veličina y , výstupním signálem je regulovaná veličina x . Dalšími vstupními veličinami jsou poruchy z , jejichž účinek na regulovanou soustavu má být regulací odstraněn. Většina soustav má tu vlastnost, že se po skokové změně akční veličiny regulovaná veličina sama ustálí. Tyto soustavy nazýváme *statické* na rozdíl od *astatických*, u nichž se po skokové změně akční veličiny regulovaná veličina trvale mění.

Vstupní veličinou (signálem) regulovaných soustav je akční veličina regulátoru u , výstupní veličinou regulovaná veličina x . Koeficienty diferenciální rovnice a přenosu budeme značit s .

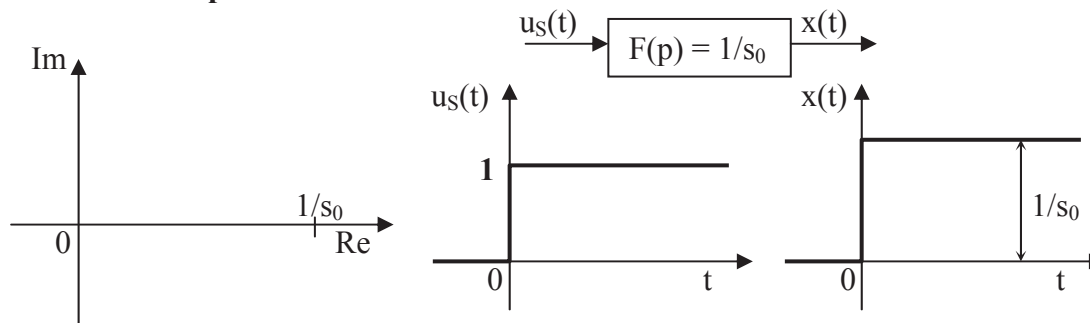


3.3.2.1. Statické regulované soustavy 0.řádu.

a) Diferenciální rovnice: $s_0 x = u_s$

b) Přenos: $F(p) = \frac{1}{s_0}$ $F(j\omega) = \frac{1}{s_0}$

c) Kmitočtová a přechodová charakteristika



Obr.64. Kmitočtová a přechodová charakteristika regulované soustavy 0.řádu .

Příkladem takovéto soustavy je ideální potenciometr nebo ideální zesilovač.

3.3.2.2. Statické regulované soustavy 1.řádu.

Diferenciální rovnice: $s_1 \frac{dx(t)}{dt} + s_0 x(t) = u_S(t)$ $s_1 x' + s_0 x = u_S$

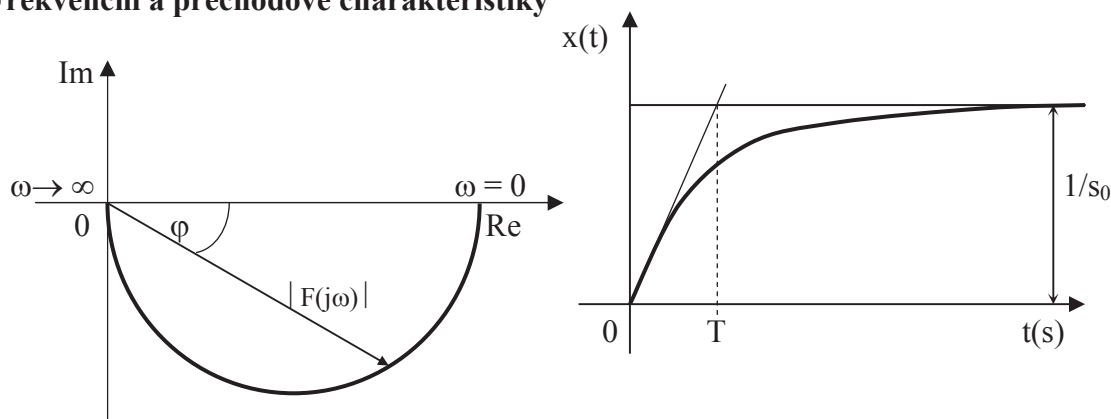
její obraz v transformaci L : $s_1 p x_2(p) + s_0 x(p) = u_S(p)$

Operátorový přenos: $F(p) = \frac{x(p)}{u_S(p)} = \frac{1}{s_1 p + s_0}$ nebo $F(p) = \frac{K}{Tp + 1}$

kde zesílení $K = \frac{1}{s_0}$ a časová konstanta $T = \frac{s_1}{s_0}$

Frekvenční přenos potom je: $F(j\omega) = \frac{1}{s_1 j\omega + s_0}$ $F(j\omega) = \frac{K}{j\omega T + 1}$

Frekvenční a přechodové charakteristiky



Obr.65. Frekvenční a přechodové charakteristiky statických regulovaných soustav 1.řádu.

Soustavou 1. řádu je například R-C člen nebo tlaková nádoba.

3.3.2.3. Statické regulované soustavy 2.řádu.

Diferenciální rovnice: $s_2 x'' + s_1 x' + s_0 x = u$

její obraz v transformaci L je: $s_2 p^2 x(p) + s_1 p x(p) + s_0 x_2(p) = u_S(p)$

Přenos: $F(p) = \frac{x_2(p)}{x_1(p)} = \frac{1}{s_2 p^2 + s_1 p + s_0} = \frac{\frac{1}{s_0}}{\frac{s_2}{s_0} p^2 + \frac{s_1}{s_0} p + 1}$

Jestliže vyjádříme: $\frac{a_2}{a_0} = T^2$ $\frac{a_1}{a_0} = 2\xi T$ $\frac{1}{a_0} = K$

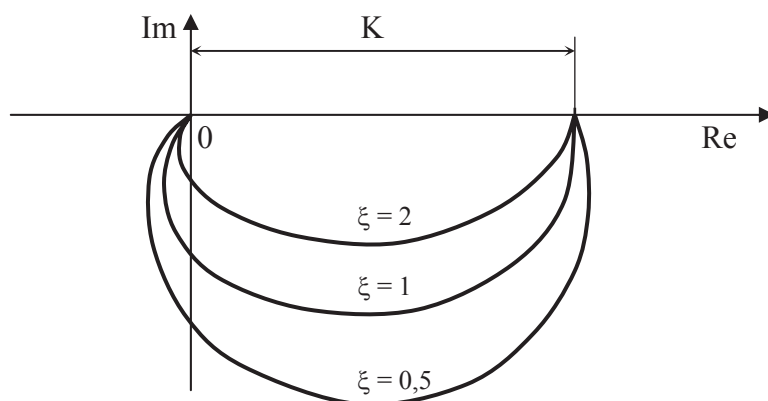
kde T je časová konstanta
 ξ je poměrné tlumení
 K je zesílení

můžeme operátorový přenos vyjádřit ve tvaru: $F(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$

$F(j\omega) = \frac{1}{s_2 (j\omega)^2 + s_1 j\omega + s_0}$

Frekvenční charakteristika v komplexní rovině

Průběh frekvenční charakteristiky závisí na hodnotě zesílení K , časové hodnoty T a na velikosti poměrného tlumení ξ . Protože je kmitavý člen vyjádřen diferenciální rovnicí 2.řádu, prochází frekvenční charakteristika dvěma kvadranty komplexní roviny.



Obr.66. Frekvenční charakteristika statické regulované soustavy 2.řádu v komplexní rovině.
Frekvenční charakteristiky v logaritmických souřadnicích

Průběh charakteristiky závisí na tlumení. Frekvence lomu získáme jako kořeny jmenovatele operátorového přenosu:

$$p_1 = -\frac{1}{T_1} \qquad p_2 = -\frac{1}{T_2}$$

Operátorový přenos pak můžeme zapsat ve tvaru:
$$F(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

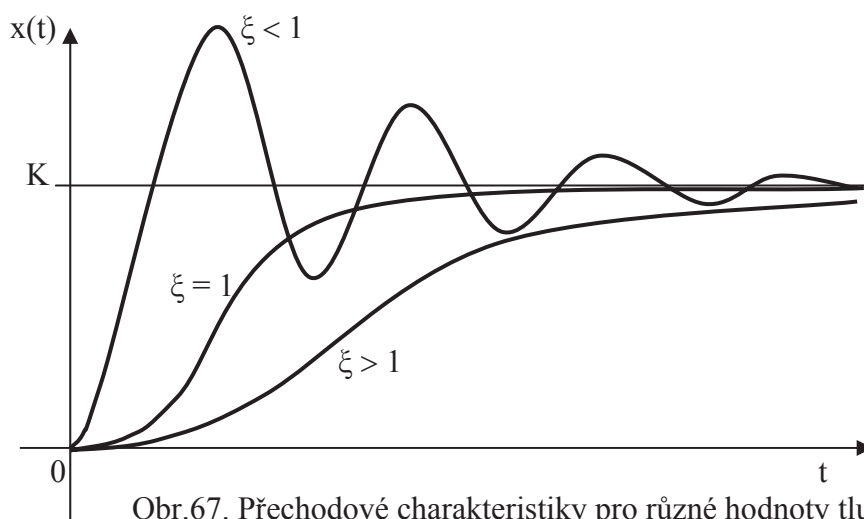
Frekvenční přenos pak analogicky:
$$F(j\omega) = \frac{K}{(j\omega T_1 + 1)(j\omega T_2 + 1)}$$

Odtud je zřejmé, že si můžeme soustavu 2.řádu představit i jako sériové spojení dvou soustav 1.řádu.

Poměrné tlumení ξ může nabývat těchto hodnot:

- $\xi > 1$ - člen je *přetlumen* – nekmitá
- $\xi = 1$ - člen je na *mezi aperiodicity* – nekmitá
- $\xi < 1$ - člen tlumeně kmitá
- $\xi = 0$ - člen netlumeně kmitá (teoretický stav)

Přechodová charakteristika



Obr.67. Přechodové charakteristiky pro různé hodnoty tlumení.

Nejrychlejší ustálení kmitavého členu nastane, je-li člen na mezi aperiodicity.

3.3.2.4. Astatické soustavy 1.řádu

Astatická soustava se od statických liší tím, že nemají samoregulační schopnost. V jejich diferenciální rovnici a v přenosu chybí činitel s_0 . Je zřejmé, že astatická soustava 0.řádu neexistuje.

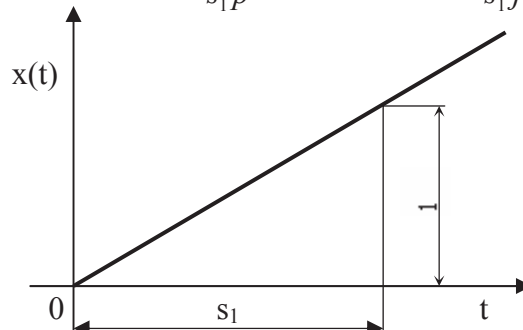
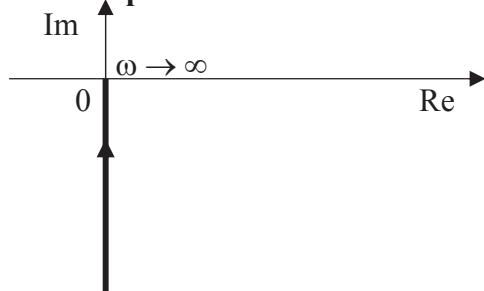
Diferenciální rovnice: $s_1 \dot{x} = u_s$

Přenos :

$$F(p) = \frac{1}{s_1 p}$$

$$F(j\omega) = \frac{1}{s_1 j\omega}$$

Frekvenční a přechodové charakteristiky.



Obr.68. Frekvenční a přechodová charakteristiky astatické soustavy 1.řádu.

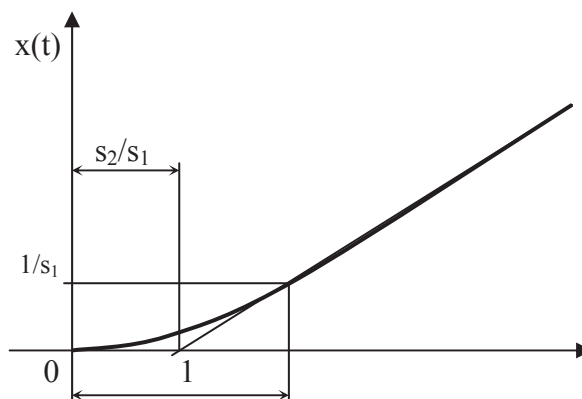
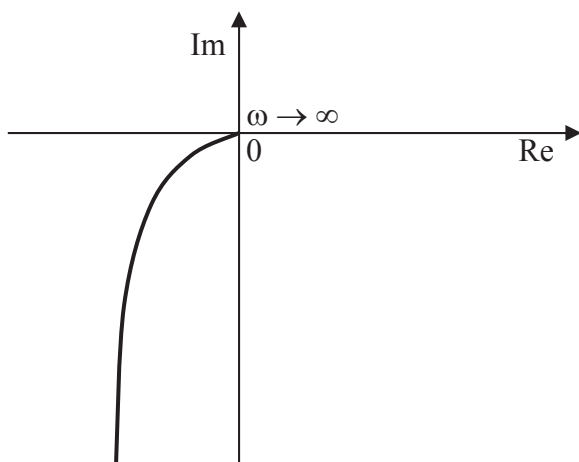
3.3.2.5. Astatické soustavy 2.řádu.

Diferenciální rovnice: $s_2 \ddot{x} + s_1 \dot{x} = u$

Přenos: $F(p) = \frac{1}{s_2 p^2 + s_1 p}$

$$F(j\omega) = \frac{1}{s_2 (j\omega)^2 + s_1 j\omega}$$

Frekvenční a přechodová charakteristika.



Obr.69. Frekvenční a přechodová charakteristika astatické soustavy 2.řádu a její příklad.

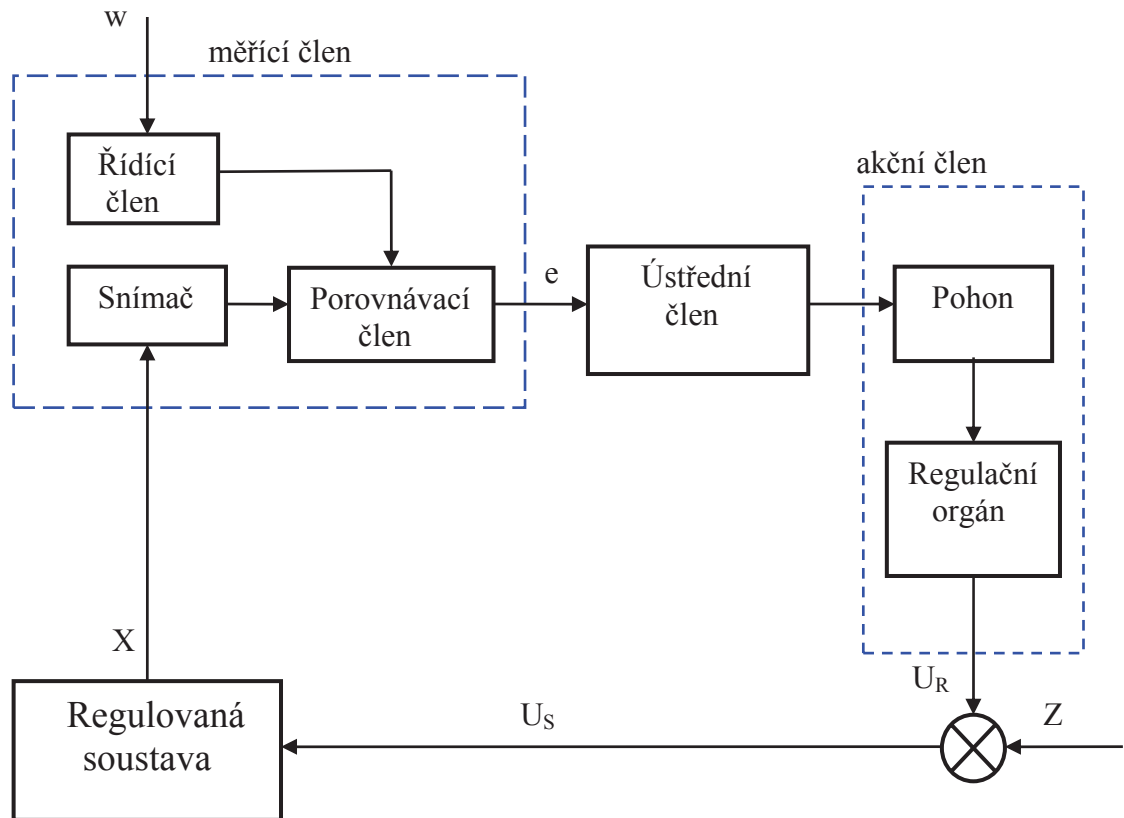
3.3.3. Regulátory.

3.3.3.1. Skladba regulátoru.

Regulátor se většinou skládá ze tří funkčních částí, které jsou více či méně od sebe funkčně i konstrukčně odděleny. Jsou to *měřicí člen*, *ústřední člen* a *akční člen*.

Snímač měřicího členu zjišťuje průběh regulované veličiny a mění jej na signál, vhodný ke zpracování v dalších členech regulátoru. Konstrukce snímače je dána druhem a velikostí regulované veličiny a druhem regulátoru. Výstupní signál snímače, úměrný okamžité hodnotě regulované veličiny, se v porovnávacím členu srovnává se žádanou hodnotou, nastavenou řídicím čle-

mem. Výstup porovnávacího členu, který je úměrný regulační odchylce, se zavádí do ústředního členu. To je hlavní část regulátoru, proto se často nazývá regulátor v užším slova smyslu. Skládá se zpravidla z několika funkčních celků, které provádějí vlastní řídicí funkce regulátoru. Jeho výstupní signál ovládá akční člen. Ten se skládá z pohonu a regulačního orgánu a řídí tok energie do regulované soustavy.



3.3.3.2. Rozdělení regulátorů.

Regulátory můžeme dělit podle jejich činnosti na několik skupin:

a) Dělení regulátorů **podle druhu energie**, s níž pracují.

Mechanické regulátory

- obsahují pouze mechanické členy (páky, převody, roztěžníky)
- nejsou příliš přesné ani rychlé, jsou rozměrné a jejich jedinou výhodou je jednoduchost a to, že mohou být snadno opraveny

Pneumatické regulátory

- vhodné v provozech, kde je realizován rozvod tlakového vzduchu
- vzhledem k velké poddajnosti vzduchu mají měkkou charakteristiku, která může být někdy výhodná.
- využívají ventilů, membrán, clonek, vzduchových válců atd.
- jsou provozně nenáročné, přesnost a rychlost vyhovuje pro méně náročné aplikace

Hydraulické regulátory

- vzhledem k nestlačitelnosti kapalin mohou mít velkou sílu a rychlost
- rozvod je realizován tlakovými hadicemi, různými ventily apod. - velké požadavky na těsnost
- hmotnost kapaliny a pohyblivých částí zhoršuje dynamické vlastnosti, přesnost regulace je většinou uspokojivá
- předností je spolehlivost a snadné provádění oprav, proto se používají v těžkých provozech

Elektrické regulátory

- dříve využívali regulační systémy různých elektrických strojů (dynam, točivých a magnetických zesilovačů – Ward-Leonardovo soustrojí)
- dnes se používají elektronické regulátory, pouze akční členy jsou elektromechanické (elektromagnety, servomotory, atd.)
- největší výhodou elektronických regulátorů je vysoká kvalita regulace (vysoká přesnost a rychlost), malé rozměry a malá hmotnost, vysoká energetická účinnost, čistý a bezhlučný provoz s minimální údržbou, dostupnost součástek a relativně nízká cena.
- nevýhodou je větší složitost, která komplikuje opravy, citlivost na elektromagnetické pole, někdy tyto regulátory samy produkují rušivé signály – nutnost důkladného odrušení
- s rostoucí spolehlivostí a dostupnost integrovaných obvodů i spolehlivost těchto systémů.

b) Dělení regulátorů podle způsobu napájení.

Přímé (direktivní) regulátory

Odebírají energii pro svou činnost z regulované soustavy. Jde o jednoduché, nejčastěji mechanické regulátory bez velkých nároků na kvalitu regulace (Wattův regulátor otáček u parních strojů, plovákový regulátor hladiny).

Zvláštní skupinu tvoří systémy s přepadem. Tento princip se používá při regulaci výšky hladiny, u tlakového hrnce, ale i u paralelních stabilizátorů napětí (stabilizační dioda).

Nevýhodou těchto regulátorů je ztráta části energie a proto i nízká účinnost. Výhodou je neobyčejná jednoduchost a velká spolehlivost. Tento způsob se používá s výhodou k jištění horních mezních hodnot různých veličin.

Nepřímé (indirektivní) regulátory

Odebírají energii pro svou činnost ze zvláštního napájecího zdroje (elektrického zdroje stejnosměrného napětí, rozvodu tlakového vzduchu, tlakového oleje atd.). Vyznačují se větší složitostí a tomu odpovídající vyšší kvalitou regulace. Podle přenosových vlastností (podle způsobu zpracování regulační odchylky e) je dělíme na proporcionální (P), integrační (I), derivační (D) a jejich kombinace PI, PD a PID.

c) Dělení regulátorů podle průběhu přenášeného signálu.

Spojité regulátory

Pracují se spojitými signály a proto jejich hlavními stavebními prvky jsou operační zesilovače. Kvalita regulace je vysoká, jejich návrh je poměrně snadný. Pro velké výkony je však nevýhodná jejich menší energetická účinnost.

Nespojité (impulsové) regulátory.

Pracují s nespojitými signály. Můžeme je dále rozdělit na regulátory nespojité v čase (diskrétní) a nespojité v amplitudě (dvou a vícepolohové). Díky spínacímu režimu aktivních prvků dosahují velmi vysoké účinnosti. Mohou být velmi jednoduché (při nižší kvalitě regulace) nebo složitější, je-li třeba dosahovat stejné kvality, jakou dosahují spojité regulátory (tzv. kvazispojité regulátory).

Nevýhodou nespojitých regulátorů je vznik rušení jako důsledek širokého frekvenčního spektra, způsobeného vyššími harmonickými signály, vznikajícími při spínání.

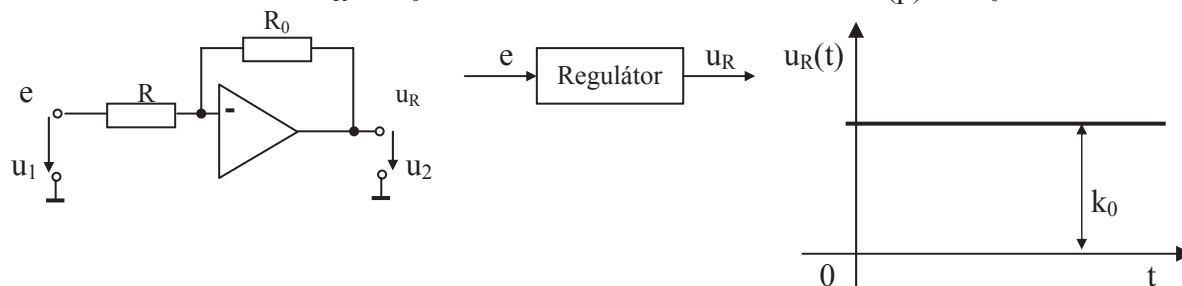
3.3.3.3. Vlastnosti regulátorů.

Proporcionální regulátor „P“

Proporcionální regulátor pouze zesiluje regulační odchylku e , přičemž zesílení je v širokém frekvenčním rozsahu konstantní. Teprve při vysokých frekvencích, které nejsou pro danou soustavu podstatné, jeho přenos vlivem setrvačnosti klesá. Jedná se tedy o proporcionální člen s konstantním reálným přenosem mnohem větším než jedna. Tento regulátor snadno vytvoříme stejnosměrným invertujícím zesilovačem (například pomocí operačního zesilovače).

Diferenciální rovnice: $u_R = k_0 e$

Přenos: $F(p) = k_0$



Obr.70. Základní zapojení proporcionálního regulátoru.

Výstupní napětí U_2 se potom rovná: $U_2 = -\frac{R_0}{R_1} \cdot U_1 = K \cdot U_1$.

Jestliže zdroj vstupního signálu nemá nulový odpor R_G , musíme jeho velikost přičíst k R_1 .

Potom :

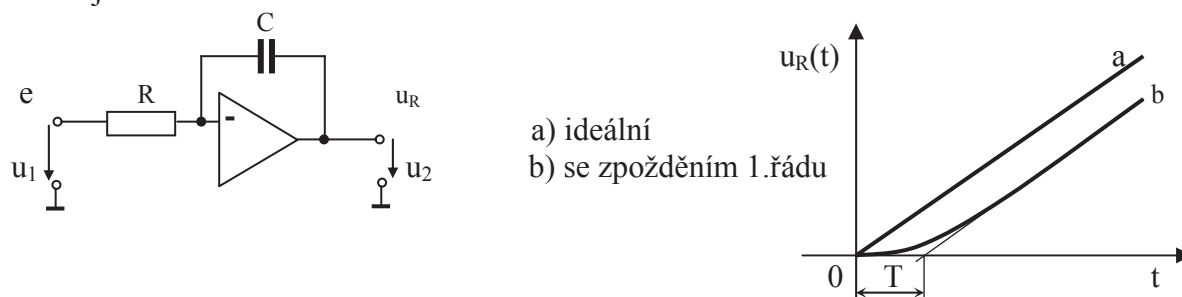
$$K = \frac{R_0}{R_1 + R_G}$$

Skutečné regulátory nemají přenos ideálně konstantní, tedy nezávislý na frekvenci. Proporcionální regulátor je velmi levný, jednoduchý a stabilní. Je však nevýhodný tím, že pracuje s trvalou regulační odchylkou. Tu nelze u proporcionálního regulátoru odstranit, můžeme však ovlivnit její velikost změnou zesílení (změnou pásma proporcionality – viz. dále). Zvětšením zesílení se sice zmenšuje trvalá regulační odchylka, ale zmenšuje se i stabilita obvodu.

Proporcionální regulátory nejsou vhodné pro regulované soustavy bez setrvačnosti, neboť již při malém zesílení je systém náchylný k vysokofrekvenčnímu kmitání. Tento nedostatek odstraňujeme zavedením setrvačnosti do soustavy. Dle jsou tyto regulátory nevhodné pro soustavy vyšších řádů s dobou průtahu T_u převyšující desetinu doby náběhu T_n a pro soustavy s dopravním zpožděním.

Integrační regulátor „I“.

Regulátor I jako jediný umožňuje úplné odstranění regulační odchylky e , neboť ta je regulátorem integrována. To znamená, že i ty nejmenší odchylky díky integraci narostou s časem a jsou po určité době „vynulovány“. Integrační regulátor lze též realizovat pomocí stejnosměrného invertujícího zesilovače.



Obr.71. Základní (zjednodušené) zapojení a charakteristiky integračního regulátoru.

I zde můžeme vyjádřit přenos jako poměr zpětnovazební impedance a vstupního odporu.

Potom přenos:
$$F(p) = -\frac{1}{\frac{pC}{R}} = -\frac{1}{pCR} = \frac{k_{-1}}{p}$$
 Diferenciální rovnice:
$$u = k_{-1} \int edt$$

Činnost tohoto integračního regulátoru je velmi uspokojivá. Parazitní setrvačnosti se uplatňují až při vyšších frekvencích, kdy je přenos regulátoru I již stejně velmi malý. Amplitudová frekvenční logaritmická charakteristika má v oblasti nízkých frekvencí sklon -20 dB/dek a protíná úroveň 0 dB při frekvenci $\omega = 1/RC$. Fázovou frekvenční charakteristikou je přímka v úrovni -90° . Přechodová charakteristika je přímka z počátku, jejíž strmost je nepřímo úměrná časové konstantě RC .

Integrační regulátor je i v kombinacích s jinými typy regulátorem, který umožňuje (za určitou dobu) zcela odstranit regulační odchylku. Nevýhodou je pokles zesílení se zvyšující se frekvencí, takže regulátor pomalu odstraňuje poruchy. Regulátor I je velmi vhodný pro statické regulované soustavy bez setrvačnosti, jeho zesílení může být velmi vysoké bez nebezpečí rozkmitání. Je nejvhodnější, ze všech ostatních typů pro regulaci statických soustav s dopravním zpožděním. U těchto soustav nejvíce hrozí rozkmitání regulačního obvodu a proto musíme nastavit menší zesílení regulátoru. Je méně vhodný pro regulaci soustav vyšších řádů, u nich se lépe uplatní regulátor PI.

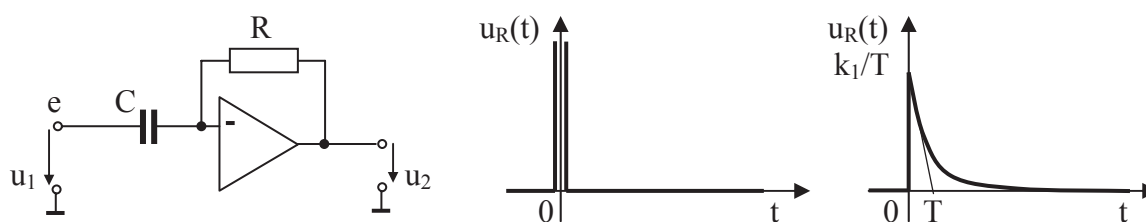
Nelze jej použít u astatických soustav, neboť by takovýto regulační obvod byl nestabilní.

Derivační regulátor „D“.

Ideální regulátor D nelze realizovat. Způsobují to parazitní setrvačnosti, které potlačují přenos při vysokých frekvencích. Ideální přenos určuje opět poměr odporu ve zpětné vazbě a impedance ve vstupu :

$$F(p) = -\frac{R}{\frac{1}{pC}} = -pCR = -pT_D = k_1 p \quad \text{Diferenciální rovnice: } u = k_1 \frac{de}{dt}$$

kde $T_D = k_1 = RC$ je derivační časová konstanta.



Obr.72. Základní (zjednodušené) zapojení a charakteristiky derivačního regulátoru.

Pokud bychom chtěli vyjádřit přenos skutečného derivačního členu, musíme výraz vynásobit přenosem parazitního setrvačného členu s časovou konstantou T .

Z charakteristik vyplývá, že derivační regulátor má při konstantním vstupu (ss signál) nulový přenos. Samotný derivační regulátor nezesiluje regulační odchylku, a musí být proto vždy kombinován s proporcionálním regulátorem. V této kombinaci derivační regulátor zrychluje regulaci a zvyšuje stabilitu, což má velký význam pro odstranění krátkodobých a četných poruch.

Kombinace základních typů

Tyto kombinace realizujeme v podstatě třemi způsoby.

Paralelním řazením regulátorů výchozích typů – dosahuje se tak nejlepších výsledků, je však nutný velký počet zesilovačů.

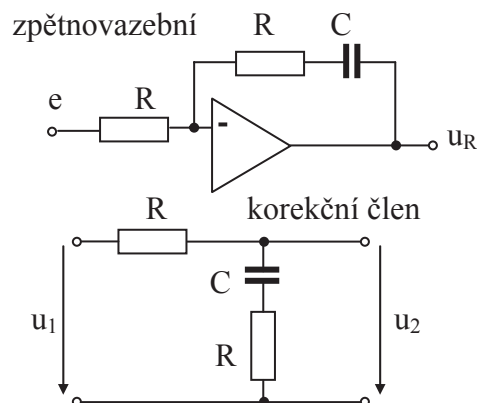
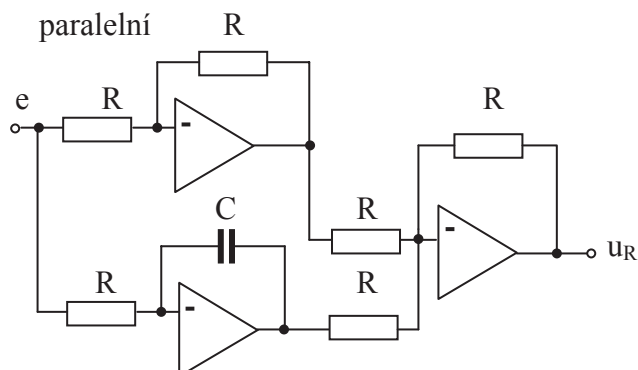
Použitím korekčních členů – využívají zpravidla pouze jeden zesilovač, kvalita je však nižší.

Zpětnovazebním zapojením – využívají zpravidla pouze jeden zesilovač, kvalita je vyhovující.

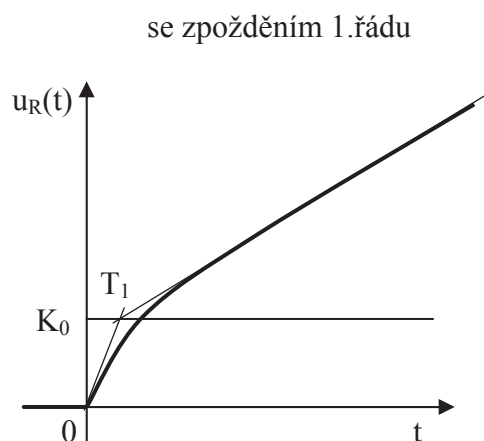
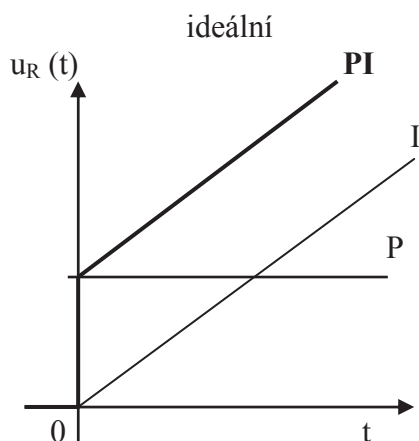
Proporcionálně integrační regulátor „PI“

Diferenciální rovnice: $u = k_0 e + k_{-1} \int e dt$

Přenos: $F(p) = k_0 + \frac{k_{-1}}{p} = k_0 + \frac{1}{T_i p}$



Obr.73. Různé způsoby realizace regulátoru PI (zjednodušeně)



Obr.74. Charakteristiky regulátoru PI.

Přechodová charakteristika vznikne součtem obou dílčích přechodových charakteristik.

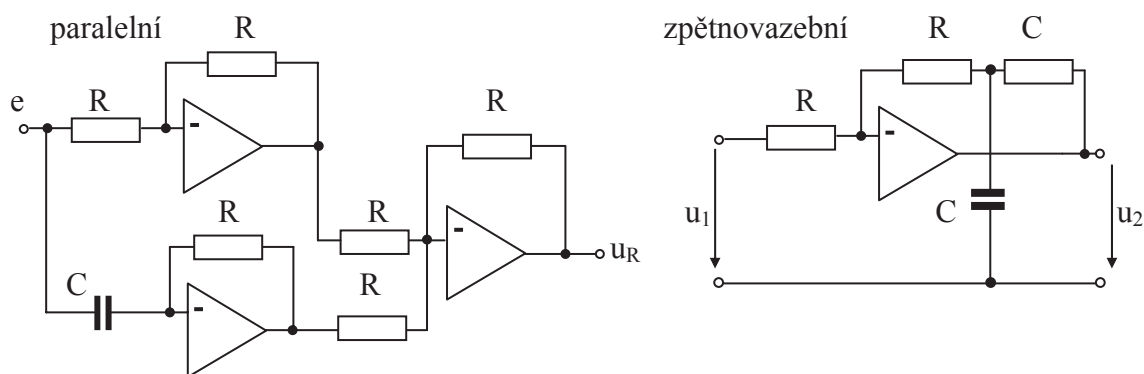
Proporcionálně integrační regulátory mají oproti integračnímu regulátoru větší přenos na vyšších frekvencích, takže rychleji odstraňují nárazové poruchy. Jsou nejrozšířenějšími kombinovanými regulátory, neboť mají téměř univerzální použití a nejsou příliš složité. Úplně odstraňují regulační odchylku, zpravidla vyhovujícím způsobem odstraňují poruchy vstupující do regulované soustavy a ve většině případů zlepšují stabilitu regulačního obvodu.

Nejvíce se používají při regulaci kmitavých soustav druhého i vyšších řádů. Čím je řád soustavy vyšší, tím více musíme zmenšovat zesílení k_0 , popřípadě zmenšovat konstantu k_{-1} . Pro statické soustavy s dopravním zpožděním je lepší než regulátor I.

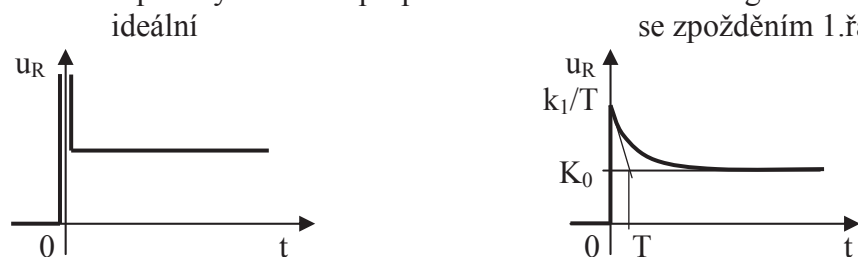
Proporcionálně derivační regulátor „PD“.

Diferenciální rovnice: $u = k_0 e + k_1 \frac{de}{dt}$

Přenos: $F(p) = k_0 + k_1 p = k_0 + T_d p$



Obr.75. Různé způsoby realizace proporcionálně derivačního regulátoru (zjednodušeně).

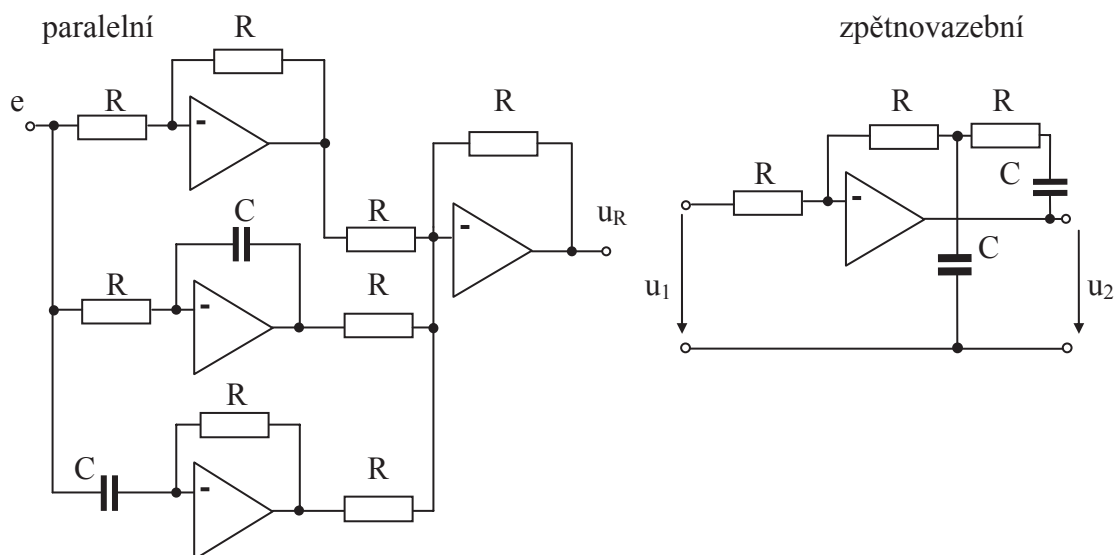


Obr.76. Charakteristiky proporcionálně derivačního regulátoru.

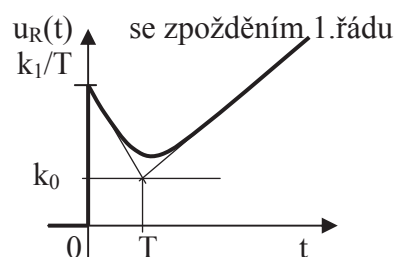
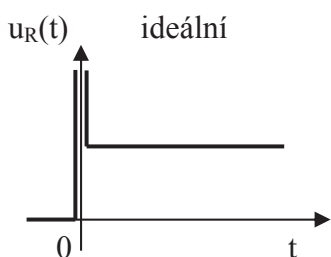
Jsou vhodné všude tam, kde vyhovuje regulátor P . Proporcionálně derivační regulátory mají oproti proporcionálním větší přenos na vyšších frekvencích. Používají se při četných poruchách, protože velmi rychle potlačují tlumené kmity vznikající v regulovaných soustavách vyšších řádů. Neodstraňují zcela regulační odchylku, pouze ji zmenšují.

Proporcionálně integračně derivační regulátor „PID“.

Diferenciální rovnice: $u = k_0 e + k_1 \int e dt + k_1 \frac{de}{dt}$ **Přenos:** $F(p) = k_0 + \frac{k_{-1}}{p} + k_1 p = k_0 + \frac{1}{T_i p} + T_d p$



Obr.77. Různé způsoby provedení proporcionálně integračně derivačního regulátoru.



Obr.78. Charakteristiky PID regulátoru.

Pro větší složitost se používají v případech, kdy chceme úplně odstranit trvalou regulační odchylku a zároveň rychle kompenzovat poruchy nebo vlastní kmity soustavy.

Jsou vhodné všude tam, kde vyhovují regulátory PI. Oproti nim jsou rychlejší, takže tlumí rychlé překmity regulované veličiny.

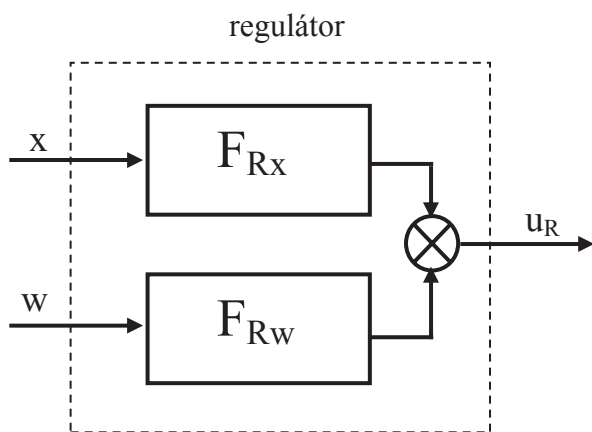
3.3.4. Regulační obvody se spojitými regulátory.

3.3.4.1. Vlastnosti uzavřeného a otevřeného regulačního obvodu.

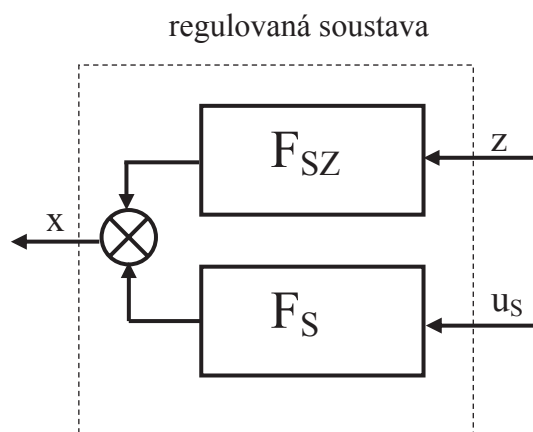
Z předchozích kapitol víme, že regulační obvod je tvořen regulovanou soustavou a regulátorem, a že časový průběh regulované veličiny po změně rovnovážného stavu se nazývá regulační pochod. Průběh regulačního pochodu je závislý na tom, jaký signál způsobil změnu rovnovážného stavu. Vzhledem k tomu, že do regulačního obvodu vstupují z vnějšku dva signály, řídicí veličina a porucha, musíme je obě při vyšetřování uvažovat.

Pro regulátor jsou vstupními signály regulovaná a řídicí veličina, výstupem je akční veličina. Pro sestavení rovnic regulátoru je proto rozdělujeme na dva bloky, přičemž jedním vyjadřujeme závislost akční veličiny na regulované, druhým závislost akční veličiny na řídicí veličině. Dostaneme tak dva přenosy.

Podobně i blok regulované soustavy rozdělíme na dva. Jedním vyjadřujeme závislost regulované veličiny na veličině akční, druhým závislost regulované veličiny na poruše.



Obr.79. Blokové schéma regulátoru.



Obr.80. Blokové schéma regulované soustavy.

Přenosy regulátoru:

$$F_{Rx} = \frac{u_R}{x} \quad \text{při } w = \text{konst}$$

$$F_{Rw} = \frac{u_R}{w} \quad \text{při } x = \text{konst}$$

Přenosy regulované soustavy:

$$F_s = \frac{x}{u_s}$$

$$F_{Sz} = \frac{x}{z}$$