



oddíl 3

Ř í z e n í



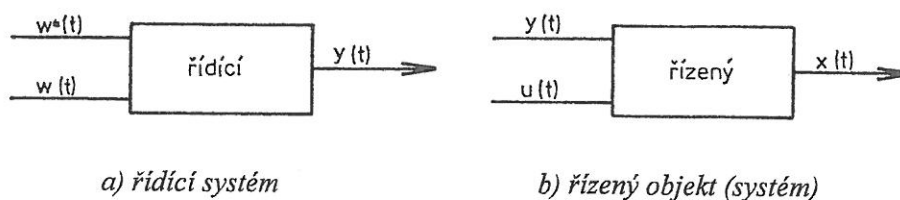
P o j m y, d e f i n i c e

kapitola 3.0

Řízení lze obecně definovat jako cílevědomé působení na řízený objekt tak, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot výstupních veličin řízeného objektu. V technickém a výrobním smyslu se pod pojmem řízení chápou technické postupy, při kterých jsou konkrétní stroje a výrobní zařízení ovlivňovány tak, aby jejich činnost vedla k žádanému cíli.

Řídicí systém je fyzikálně technickou realizací algoritmu řízení. Vstup tvoří soubor žádaných hodnot stavových veličin $w^*(t)$ a soubor stavových veličin $w(t)$. Výstupem je řídicí signál, který tvoří soubor řídicích veličin $y(t)$, shodných se vstupními veličinami řízeného systému. (Pozn.: případnému vstupu poruchových veličin do řídicího systému je třeba zamezit).

Řízený systém (řízený objekt) je přístroj, stroj nebo zařízení (jednoznačně vymezený celek), který je nutno řídit. Z hlediska řízení je charakterizován souborem vstupních, řídicích veličin $y(t)$ a souborem výstupních, řízených veličin $x(t)$. Dosažení žádaného průběhu jejich hodnot je cílem řízení. Mimo to je řízený systém vystaven působení nežádoucích poruchových veličin $u(t)$.

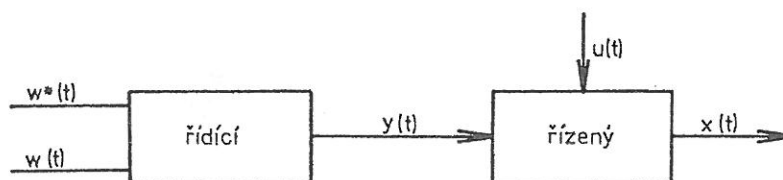


Obr. 3.0.1 - Řídicí a řízený objekt

Druhy a způsoby řízení lze posuzovat a též rozlišovat podle různých hledisek.

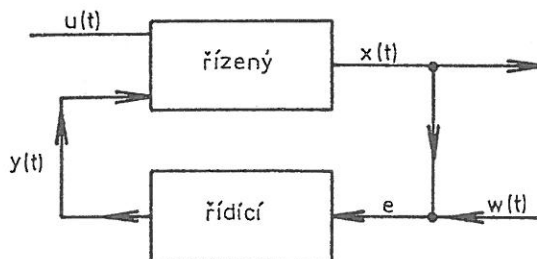
a) hledisko *způsobu toku informací* mezi řídicím a řízeným objektem:

Otevřený způsob řídí činnost pouze podle předem daného programu. Využívá tok informací pouze směrem od řídicího systému k řízenému bez zpětné kontroly výsledků řízení, tj. bez zpětné vazby. Předpokládá, že vnější podmínky jsou stálé a není tedy nutné získávat další informace o skutečné činnosti uzlu. Při změně podmínek (např. jakosti nebo rozměrů materiálu) na ně není schopen reagovat a bez zásahu člověka vyrábí zmetky, nedojde-li k poškození stroje. Otevřený způsob řízení je též často označován jako *ovládání*.



Obr. 3.0.2 - Struktura otevřeného způsobu řízení

Uzavřený (zpětnovazební) způsob využívá kontrolu výsledků řízení ke zpětnému působení těchto výsledků na řídicí systém a tak k ovlivňování výsledků řídicího procesu. Činnost uzlu se řídí také podle předem daného programu, ale změny podmínek řídicí systém předpokládá a je schopen na ně reagovat. Informace o skutečném průběhu procesu (x) získává měřením hodnot výstupních veličin. Ty po jejich zpracování porovnává s žádanými hodnotami (w), danými programem. Porovnáním vzniká *regulační odchylka* (e), na kterou reaguje *regulátor*. Ten vyvolá *regulační zásah* (y). Výsledek se projeví postupným snižováním regulační odchylky na nulovou hodnotu (v rámci tolerance). Tímto způsobem jsou vyrovnávány odchylky, vzniklé jak činností poruchových veličin (u), tak změnami požadovaných hodnot (w), danými programem, a to bez zásahu operátora.

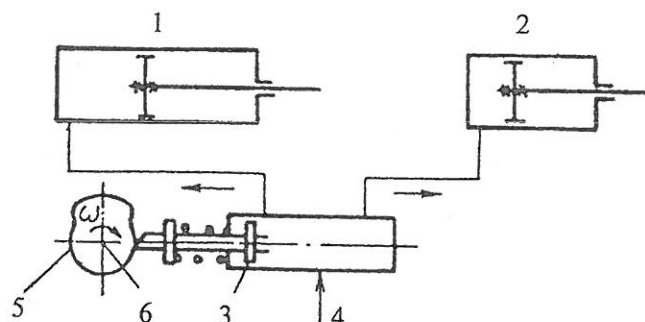


Obr. 3.0.3 - Struktura uzavřeného způsobu řízení

Žádný skutečný řídicí systém však není schopen snímat všechny teoreticky možné druhy poruch a reagovat na ně v neomezeném rozsahu. Proto je vždy nutný alespoň občasný dohled operátora. Uzavřený způsob řízení je též často označován jako *regulace*.

b) hledisko *parametru*, na kterém je závislý průběh řízení:

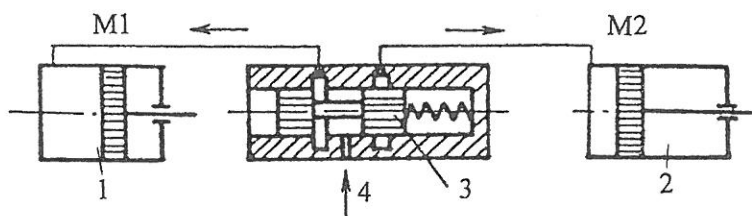
Časové řízení probíhá podle předem určeného časového programu. Jednotlivé jeho kroky trvají vždy zadaný čas bez kontroly, zda byl předchozí krok skutečně dokončen. Kolísání rychlosti prováděných úkonů i ostatní rušivé vlivy lze kompenzovat zavedením tzv. funkčních prodlev, které se však nepříznivě projeví nárůstem vedlejších časů v celkovém operačním čase. Proto nachází časové řízení uplatnění u pomalejších mechanicky řízených systémů, u ostatních (pneumatických, hydraulických, elektrických, kombinovaných) se užívá zřídka.



1, 2 - hydraulické válce, 3 - ventil, 4 - přívod, 5 - vačka = řídicí člen, 6 - hřídel rozvodu

Obr. 3.0.4 - Příklad řízení s časovou vazbou

Prostorové řízení zahajuje následující úkon až po skončení úkonu předcházejícího. Místo centrálního řídicího členu jsou na zařízení instalovány jednotlivé prvky (např. koncové spínače), které jsou aktivovány při ukončení předchozího děje. To lze provádět buď kontrolou funkce (následující pohyb začíná po skončení předcházejícího) nebo kontrolou výsledku (následný děj začne, až když výsledek děje odpovídá požadovanému stavu). Čas operace je tak závislý na rychlosti průběhu dílčích úkonů. Tento způsob řízení převažuje u pneumaticky, hydraulicky, elektricky nebo kombinovaně řízených strojů.



1, 2 - hydraulické válce, 3 - ventil, 4 - přívod,

Obr. 3.0.5 - Příklad řízení s prostorovou vazbou

Píst válce *M 1* se pohybuje vpravo a těsně před dosažením své krajní polohy přesouvá ventil 3 do polohy, která umožní zahájení pohybu pístu válce *M 2* též vpravo. Šoupátko představuje decentralizovaný řídicí člen.

Řízení podle určité veličiny je charakterizováno tím, že řízený člen sleduje proměnnou hodnotu předem zvolené veličiny (ventil vytápění teplotu, suport kopírovací frézy obrys šablony). Hodnoty řídicí, sledované veličiny lze též vyjádřit zadáním do programu číslicově řízených strojů.

c) hledisko *pružnosti řízení*, tj. schopnosti přijmout změnu výrobního programu:

Pevné řízení, s *neměnným programem* má pořadí i průběh dílčích úkonů a pracovní cyklus dán pevně strukturou řídicího systému. Případná změna je možná pouze úpravou nebo výměnou řídicího systému.

Volitelné řízení umožňuje volbu jednoho z určitého počtu předem pevně daných parametrů výroby - programů. Nastavení parametrů možné není (nebo jen ve velmi omezené míře).

Volné řízení umožňuje parametry i pořadí dílčích úkonů v určitém rozsahu volně nastavovat podle požadavků výroby.

d) Hledisko konstrukčních prvků řídicího systému (způsobu přenosu signálů):

Mechanické řídicí systémy, základem kterých jsou dorazy, narážky, vačky a pod., pohybující dalšími mechanickými prvky (páky, táhla, ...). Prvky často slouží nejen k přenosu informace, ale i k provedení příslušného úkonu (výkonový prvek).

Hydraulické řídicí systémy používají k přenosu řídicích signálů kapalinu. Výkonové prvky jsou většinou též hydraulické (válce, rotační hydromotory).

Pneumatické řídicí systémy používají k přenosu signálů plyn, hlavně vzduch. Vzduch slouží též k pohonu výkonových prvků.

Elektrické řídicí systémy využívají k přenosu signálů proud nebo napětí a ke zpracování elektrotechnické i elektronické prvky. Výkonové prvky přitom mohou být poháněny elektrickou energií, vzduchem i hydraulicky.

Kombinované řídicí systémy (pneumaticko - hydraulické, elektropneumatické nebo nejrozšířenější elektrohydraulické), používající k řízení kombinovaný způsob přenosu a zpracování signálů.

L i t e r a t u r a :

Švec, J. a kol. : Příručka automatizační a výpočetní techniky,
SNTL Praha 1974

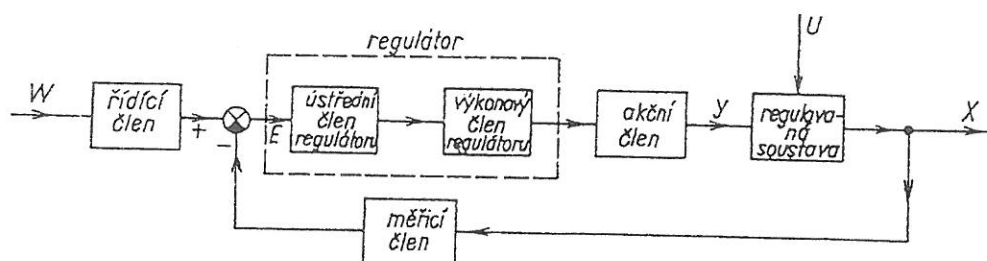
Chvála, B., Nedbal, J., Dunay, G.: Automatizace,
SNTL Praha - Alfa Bratislava 1987

Vavřín, P. a kol.: Malá encyklopedie elektrotechniky, Automatizační technika,
SNTL Praha 1983

Základní pojmy

Regulovaná soustava je jakékoli zařízení, jehož alespoň jedna veličina je regulována. Cílem automatické regulace je udržovat tuto veličinu na předem definované hodnotě i při měnících se podmínkách - odstraňovat vliv poruch. Regulační obvod proto obsahuje zpětnou vazbu, umožňující porovnávat stav, který je se stavem, který má být a podle případných regulačních odchylek provádět zásahy.

Regulační systém se zpětnou vazbou má obecně strukturu, uvedenou na obr. 3.1.1.



Obr. 3.1.1 - Struktura zpětnovazebního, tj. regulačního systému

Regulovaná veličina vystupuje z regulované soustavy - je její výstupní veličinou. Její hodnota je snímána snímacím členem, který ji převádí na měrný signál. Ten se v porovnávacím členu srovnává se signálem žádané hodnoty W . Rozdíl obou hodnot vytváří regulační odchylku E

$$E = W - X,$$

která má opačné znaménko než chyba měření ΔX

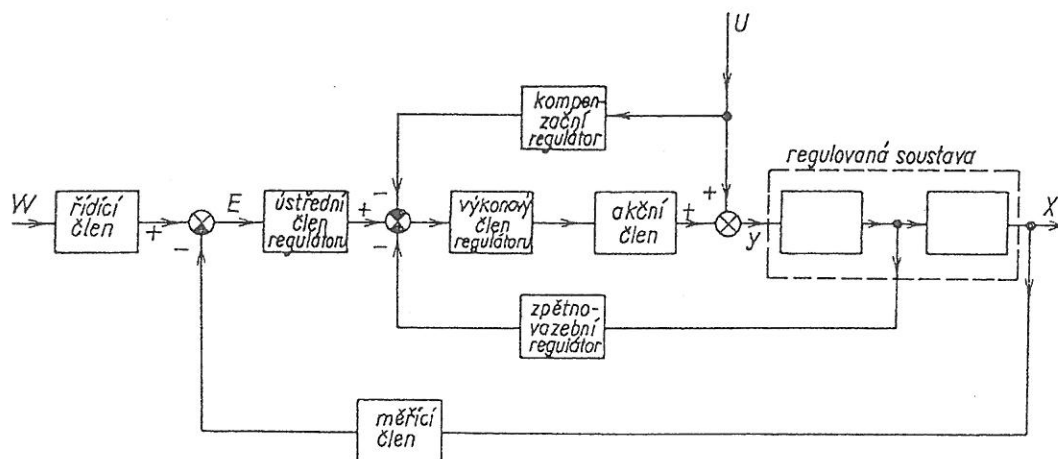
$$\Delta X = X - W = -E.$$

Signál regulační odchylky je zpracováván v regulátoru. Úprava spočívá ve změně úrovně (zesílení - útlum) a změně časového průběhu (zpoždění). Cílem je, aby akční člen, ovládaný výstupním signálem z regulátoru, řídil energii vstupující do regulované soustavy tak, aby regulační odchylka byla odstraněna.

Je-li žádaná hodnota W konstantní, způsobuje regulační odchylku pouze poruchová veličina U a úkolem soustavy je vliv poruch odstraňovat. Zpětnovazební systém se nazývá *automatická regulace*.

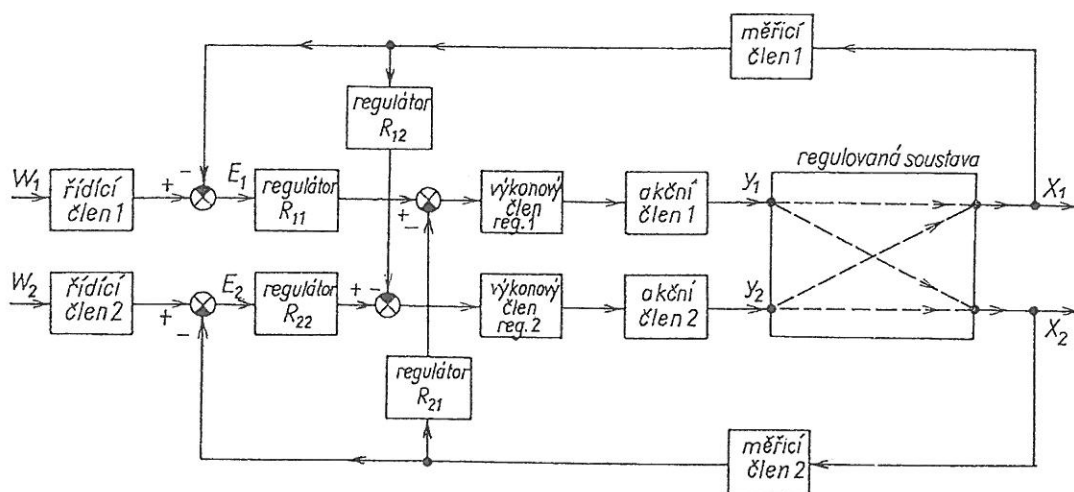
Mění-li se žádaná hodnota W podle předem daného programu, způsobuje regulační odchylku mimo poruchové veličiny U i změna žádané hodnoty. Úkolem soustavy potom je, aby odstraněním regulační odchylky sledovala skutečná hodnota regulované veličiny hodnotu žádanou bez vlivu poruch. Zpětnovazební systém se nazývá *automatické řízení*.

Jednoduchý regulační nebo řídicí obvod má své možnosti i omezení. Je-li třeba dosáhnout lepší výsledky, než které umožňuje, lze použít více regulátorů. Obvod se tím člení do více větví, přibývají další vazby, veličiny a signály s jejich hodnotami - vzniká rozvětvený složitý regulační obvod.



Obr. 3.1.2 - Příklad skladby složitého regulačního obvodu.

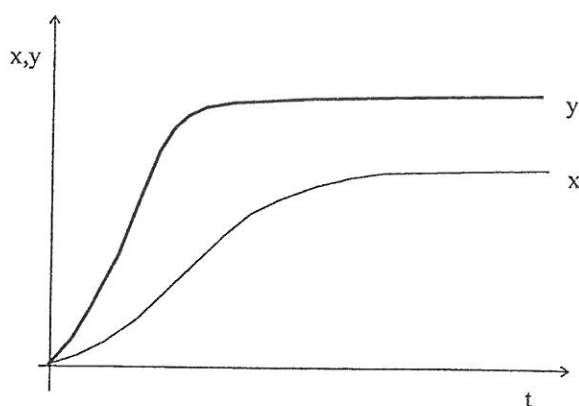
Často je třeba u jedné regulované soustavy současně regulovat nebo řídit více veličin. Příkladem takové soustavy je sušárna, u níž je třeba současně regulovat nejméně teplotu a vlhkost prostředí. Veličiny přitom nemusí být nezávislé (u sušárny nejsou), změna hodnoty jedné veličiny většinou vyvolává současně i změnu ostatních. V takovém případě jde o víceparametrový regulační nebo řídicí systém. Mimo regulátorů všech veličin je v něm třeba použít další regulátory a vazby, odstraňující nebo alespoň v podstatné míře omezující vzájemný vliv veličin a zajišťující tak autonomnost jednotlivých řídicích zásahů.



Obr. 3.1.3 - Příklad skladby dvojparametrového regulačního obvodu.

Vyjádření vlastností členů a soustav

Regulační pochod představuje chování regulačního obvodu v čase. Je charakterizováno časovým průběhem výstupních veličin jako odezvy na změnu hodnot veličin vstupních. Chování celého obvodu je dáno vlastnostmi jeho jednotlivých členů.

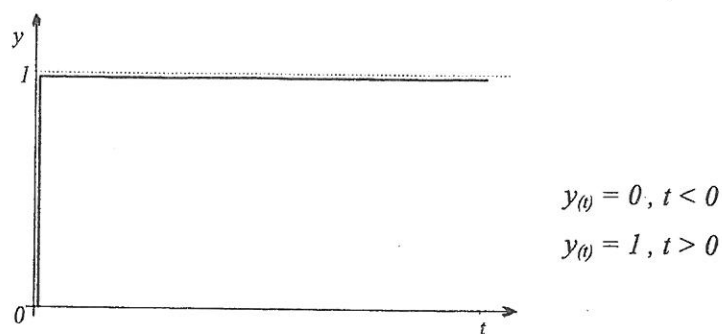


Obr. 3.1.4 - Průběh obecné vstupní (y) a výstupní (x) funkce

Vstupní funkce

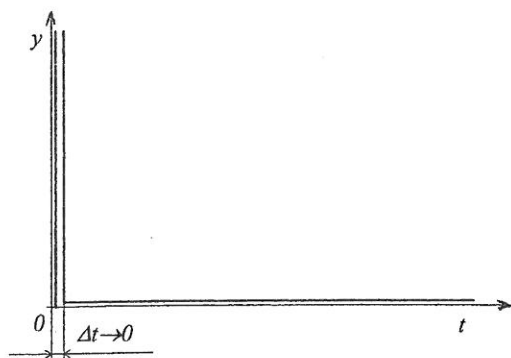
Analýza chování jednotlivých členů regulačního obvodu i soustavy jako celku je při obecném průběhu vstupní veličiny velmi náročná a současně nepřehledná. Proto se pro ni používají jednoduché, standardní průběhy vstupních funkcí. Základními průběhy jsou:

- a) *jednotkový skok* - skoková změna vstupní veličiny v čase t_0 , kterou bez ohledu na absolutní velikost rozdílu hodnot považujeme za jednotkovou. Je popsán již v kapitole 1.0 - vlastnosti snímačů.



Obr. 3.1.5 - Jednotkový skok

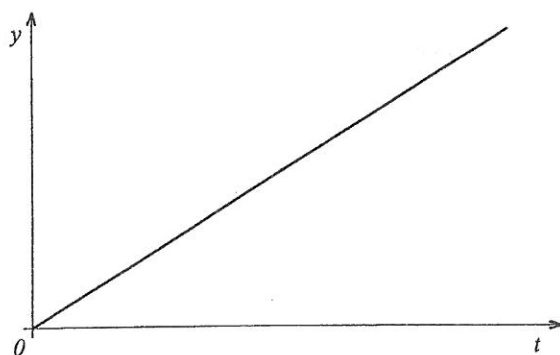
- b) *jednotkový impuls* - (Diracův impuls) derivace jednotkového skoku, tj. impuls v okamžiku t_0 , úrovní se v limitě blíží nekonečnu a dobou trvání nule.



$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \int_0^{\infty} y(t) dt = 1$$

Obr. 3.1.6 - Jednotkový impuls

- c) *jednotkový skok rychlosti* - integrál jednotkového skoku, tj. trvalý přírůstek hodnoty výstupní veličiny konstantní rychlostí od okamžiku t_0 .

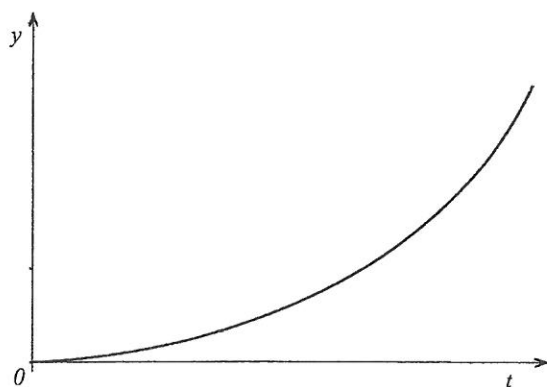


$$y(t) = 0, t < 0$$

$$y(t) = t, t > 0$$

Obr. 3.1.7 - Jednotkový skok rychlosti

- d) *jednotkový skok zrychlení* - integrál jednotkového skoku rychlosti, trvalý přírůstek rychlosti změny výstupní veličiny konstantním zrychlením od okamžiku t_0 .



$$y(t) = 0, t < 0$$

$$y(t) = t^2, t > 0$$

Obr. 3.1.8 - Jednotkový skok zrychlení

Vlastnosti členů a soustav lze popsat různými způsoby. Základní z nich jsou:

- diferenciální rovnice
- operátorový přenos
- přechodová charakteristika
- impulsní charakteristika
- frekvenční přenos
- frekvenční charakteristika.

Diferenciální rovnice

Spojité chování lze vyjádřit diferenciálními rovnicemi, určujícími závislost regulované veličiny na veličině poruchové nebo řídící. Je-li chování systému lineární, lze systém i všechny jeho prvky popsat lineárními diferenciálními rovnicemi s konstantními koeficienty. O tento jednodušší stav se snažíme i u nelineárních systémů, je-li možné jejich vlastnosti v oblasti pracovního bodu statické charakteristiky linearizovat s přijatelnou přesností. Odchylka je regulačním pochodem průběžně odstraňována, není tedy většinou velká a linearizace v malém pracovním rozsahu je většinou možná. Není-li to možné, je třeba pracovat s nelineárními rovnicemi.

Obecný tvar diferenciální rovnice, popisující závislost výstupní veličiny "x" na vstupní veličině "y" je

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 = b_m \frac{d^m y}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} y}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dy}{dt} + b_0$$

kde x - výstupní veličina, $x = f_1(t)$
 y - vstupní veličina, $y = f_2(t)$
 a, b - konstanty
 n - řád rovnice, $m \leq n$

Závislost změny výstupní veličiny "x" na změně vstupní veličiny "y" je dána poměrem těchto změn, který se nazývá *přenos*.

$$F_{(t)} = \frac{X_{(t)}}{Y_{(t)}}$$

Obecně je tedy přenos dán podílem dvou diferenciálních rovnic n-tého a m-tého řádu. Jejich přímé řešení by bylo velmi obtížné, nepřehledné a u vyšších řádů obecně nemožné. Výrazné zjednodušení řešení diferenciálních rovnic umožňuje operátorový počet, pomocí něhož lze převést diferenciální rovnice na mnohočleny.

Operátorový přenos

Obraz *Laplaceovy transformace* (L-transformace) časové funkce $f(t)$ pro $t > 0$ je vyjádřen integrálem

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt = F(p)$$

kde $p = c + j\omega$ a jehož jednotka je 1/s.

Takto definovaná transformace převádí diferenciální rovnici n -tého řádu na mnohočlen téhož stupně. Tím je provedeno žádané matematické zjednodušení. Rozměr obrazové funkce je však roven rozměru původní funkce násobené časem, což je z fyzikálního hlediska i pro přehlednost nevhodné.

Laplace-Wagnerova transformace (Laplace-Carsonova, LW) vytváří obraz p -krát větší. Platí pro ni tedy vztah

$$LW[f(t)] = p \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt = G(p)$$

kde $p = c + j\omega$ [1/s].

Koeficienty v takto vytvořené transformaci již mají ve standardním tvaru rovnice obrazového přenosu přímo svůj konkrétní fyzikální význam.

Obrazy funkcí v L i LW transformacích i zpětný převod obrazů na původní časové funkce lze získat poměrně pracným výpočtem integrálů, čímž se výhody operátorového počtu při tomto jeho využívání vytrácejí. Proto jsou sestaveny tabulky nejčastěji se vyskytujících funkcí, v nichž lze k danému originálu vyhledat příslušný obraz a naopak velmi rychle.

V operátorovém vyjádření je přenos roven poměru obrazů výstupní a vstupní veličiny. *Operátorový přenos* původní diferenciální rovnice má tvar

$$F(p) = \frac{X(p)}{Y(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}$$

I tento tvar je však poměrně složitý (i když vždy řešitelný) a nepřehledný - chování soustavy je popsáno při zcela obecném průběhu vstupní veličiny. Další zjednodušení přináší zavedení vstupní veličiny některého ze standardních průběhů, popsaných v předešlém.

Obecně mají rovnice operátorového přenosu tvar podílu dvou mnohočlenů. Pro přehlednost se upravují tak, aby jejich koeficienty přímo vyjadřovaly konstanty, které charakterizují danou soustavu (zesílení, zpoždění, tlumení, ...). Tomu nejlépe vyhovuje tvar, sestavený jako součin dvojčlenů (tj. mnohočlenů prvního stupně), jejichž absolutní člen je roven 1. Trojčleny, případně vyšší řády součinitelů jsou charakteristické pro složitější soustavy, kdy původní mnohočlen nelze na součin pouze dvojčlenů rozložit.

Jako příklad může sloužit jednoduchá soustava, charakterizovaná přenosem

$$F_{(p)} = \frac{X_{(p)}}{Y_{(p)}} = \frac{b_0}{a_1 p + a_0} = \frac{K}{Tp + 1}.$$

Absolutní členy b_0 a a_0 původního mnohočlenu udávají velikosti vstupního (a_0) a výstupního (b_0) signálu v ustáleném stavu. Ve výsledném standardním tvaru udává tedy koeficient $K = \frac{b_0}{a_0}$ zesílení členu nebo soustavy (kolikrát je úroveň výstupního signálu vyšší než

signálu vstupního) a $T = \frac{a_1}{a_0}$ je časová konstanta, charakterizující dobu zpoždění reakce výstupního signálu na změnu vstupního signálu. Stav znázorňuje též obr. 3.1.9, kde při jednotkové úrovni vstupního signálu (jednotkový skok) je $a_0 = 1$. Vlastnostmi členů a soustav se podrobněji zabývá následující samostatná kapitola.

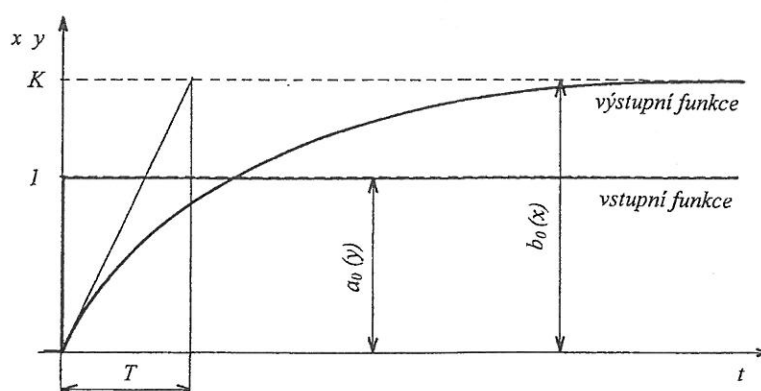
Přechodová charakteristika

Nejčastěji využívaným standardním průběhem vstupní veličiny je jednotkový skok. Jeho rovnicí je

$$Y_{(p)} = 1.$$

V rovnici přenosu tak jmenovatel při jednotkovém skoku zcela vypadává - je roven jedné. Rovnice vyjadřuje odezvu výstupní veličiny X na tento skok a nazývá se *přechodová funkce*. Její vyjádření může být ve formě časové funkce $X_{(t)}$ nebo v operátorovém tvaru $F_{(p)}$.

Přechodová charakteristika je grafickým vyjádřením přechodové funkce. Získá se vynesemím časového průběhu hodnot výstupní veličiny při jednotkovém skoku veličiny vstupní a přehledně znázorňuje dynamické vlastnosti prvku nebo systému.



$$\text{Soustava } F_{(p)} = \frac{K}{Tp + 1}, \text{ zesílení } K = \frac{b_0}{a_0}, \text{ při } a_0 = 1 \text{ je } K = b_0.$$

Obr. 3.1.9 - Přechodová charakteristika

Impulsní charakteristika

Impulsní charakteristiky jsou obdobou přechodových charakteristik. Graficky vyjadřují časový průběh hodnot výstupní veličiny, je-li vstupní veličinou jednotkový impuls. Jsou však méně přehledné a proto se využívají pouze ve zvláštních případech.

Frekvenční přenos

Často nelze z různých důvodů vyšetřovat dynamické vlastnosti členů nebo soustav jednotkovým skokem. V těchto případech se používá vstupní veličina, jejíž průběh se harmonicky mění. Vstupní veličina je charakterizována časovou funkcí

$$Y(t) = \cos \omega t$$

nebo v operátorové formě

$$Y(j\omega) = a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_1 j\omega + a_0.$$

Při jednotkové amplitudě vstupní veličiny se pro každou frekvenci ω zkoumá velikost amplitudy výstupní veličiny X a velikost jejího fázového posunu φ vzhledem ke vstupní veličině v ustáleném stavu. Rovnice přenosu za těchto podmínek se nazývá *frekvenční přenos* a je komplexní funkcí

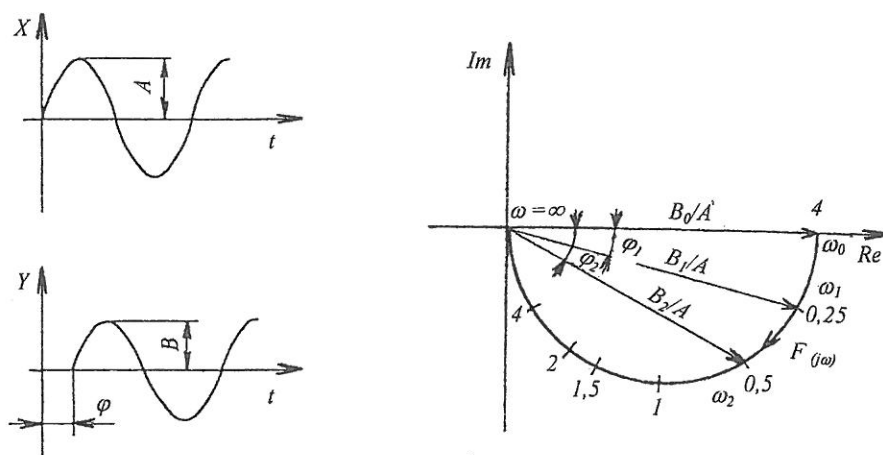
$$F(j\omega) = \frac{X(j\omega)}{Y(j\omega)} = \frac{b_m(j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \dots + b_1(j\omega) + b_0}{a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_1(j\omega) + a_0}$$

Frekvenční přenos dává širší přehled o dynamickém chování než přenos při jednotkovém skoku a je důležitý obzvláště při zjišťování stability soustav. Grafické vyjádření frekvenčního přenosu je *frekvenční charakteristika*.

Frekvenční charakteristika

Amplitudově fázová frekvenční charakteristika je grafické znázornění frekvenčního přenosu, vynesené v komplexní rovině. Křivka je spojnici koncových bodů vektorů, vnesených pro hodnoty ω v rozsahu od 0 do $+\infty$ nebo od $-\infty$ do $+\infty$. Úhel φ , který daný vektor svírá s reálnou osou představuje fázový posuv, délka vektoru představuje zesílení.

Frekvenční charakteristika má pro daný typ funkce typický tvar. Rozložení hodnot frekvence je však pro různé hodnoty konstant odlišné. Přehlednější proto je zobrazit zvlášť amplitudovou a zvlášť fázovou charakteristiku v závislosti na frekvenci.



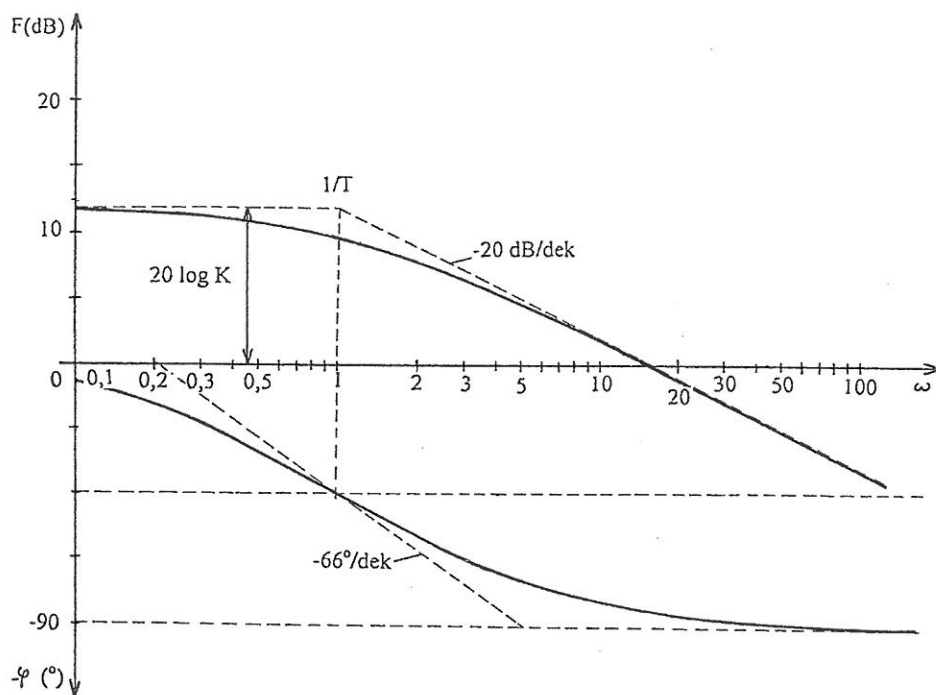
Soustava $F(p) = \frac{K}{Tp + 1}$, $K = 4$, $T = 1s$.

Obr. 3.1.10 - Frekvenční a fázová charakteristika soustavy v komplexní rovině

Logaritmické amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky (LAFF) jsou samostatným zobrazením amplitudové a fázové charakteristiky v závislosti na logaritmu úhlové frekvence. Amplituda se udává v decibelech (zesílení nebo útlum) vzhledem ke vstupnímu signálu, fáze se udává ve stupních $[\circ]$ nebo v radiánech $[\pi]$. Pak platí:

$$F[db] = 20 \log |F(j\omega)| = f_1(\log \omega)$$

$$\varphi[^\circ] = f_2(\log \omega)$$

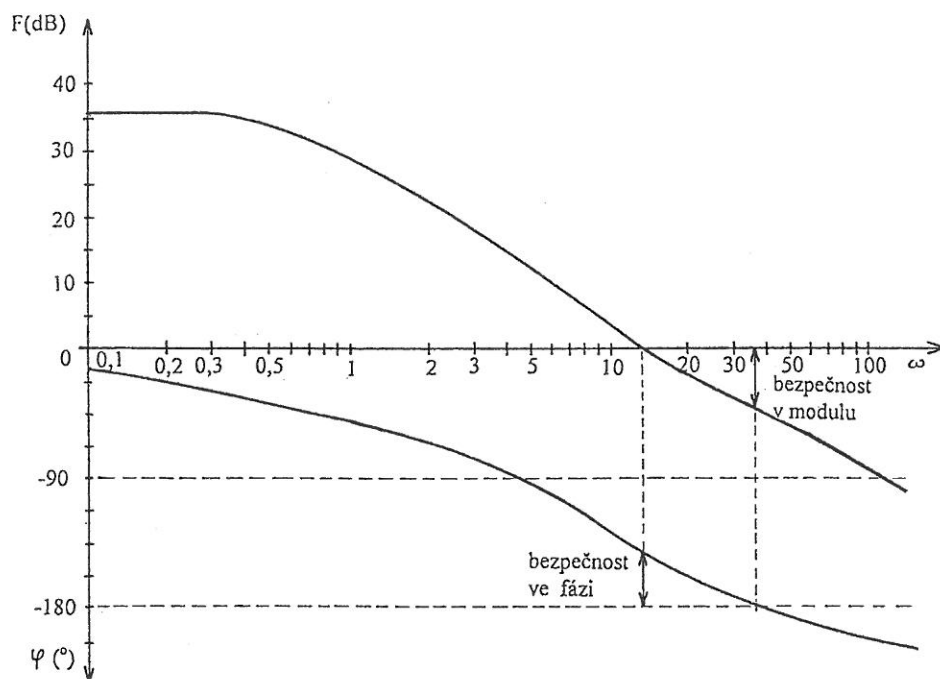


Obr. 3.1.11 - Tvar LAFF charakteristik soustavy, shodné s předchozím obrázkem.

Amplitudová charakteristika znázorňuje zesílení úrovně výstupní veličiny, které je konstantní až do frekvence vstupní veličiny $\omega = 1/T$. Od této hodnoty začíná zesílení klesat se spádem 20dB/dekádu, tzn. že při každém desetinásobném zvýšení frekvence vstupního signálu klesne zesílení o 20 dB = 10x. K jiným změnám v zesílení nedochází. Fázová charakteristika znázorňuje fázový posuv (zpoždění, hodnoty φ se proto pohybují v záporné oblasti) výstupní veličiny vzhledem ke vstupní v rozmezí od 0° při nejnižších frekvencích do $90^\circ (= \pi/2)$ při frekvencích nejvyšších. Při frekvenci $\omega = 1/T$ je fázový posuv $-\pi/4 = 45^\circ$, zvyšování úhlového zpoždění výstupní veličiny za vstupní je v okolí tohoto bodu nejvyšší - 66°/dek. Skutečný průběh je plynulý, čárkovaně vyznačeným asymptotám se pouze přibližuje.

Z hlediska *stability* regulované soustavy jsou důležité dva body, charakterizující její bezpečnost proti kmitání. Jsou odvozeny:

- od průsečíku amplitudové charakteristiky s nulovou osou ($20 \log K = 0$), tj. hodnoty úhlové rychlosti ω , kdy při dalším zvýšení frekvence vstupní veličiny dochází již k útlumu hodnoty výstupní veličiny (hodnoty logaritmu $K < 0$ jsou záporné)
- od průsečíku fázové charakteristiky s úrovní $-\pi$, tj. hodnoty úhlové rychlosti ω , kdy zpoždění je právě 180° . Při něm kmitá úroveň výstupní veličiny právě v protifázi změn vstupní veličiny. To je mezní, nežádoucí stav.



Obr. 3.1.12 - Bezpečnost soustavy proti kmitání.

Bezpečnost ve fázi je dána vzdáleností, udanou ve $[\circ]$, jakou má daná soustava od stavu protifáze při frekvenci, ve které je její zesílení rovno jedné ($20 \log K = 0$), tj. kdy amplitudová charakteristika protíná osu $\log \omega$.

Bezpečnost v modulu je dána útlumem, udaným v dB, jaký má daná soustava při frekvenci, ve které se dostala do stavu protifáze, tj. kdy fázová charakteristika protíná úroveň $-\pi$.

Charakteristické tvary frekvenčních charakteristik v komplexní rovině i v logaritmických souřadnicích jsou pro základní typy dynamických členů zpracovány do tabulek, kde je lze pro orientační účely vyhledat přímo (např. Švec, J. a kol.: Příručka automatizační a výpočetní techniky, SNTL Praha 1975). Jejich uspořádání je obdobné jako v tabulkách obrazových přenosů a přechodových charakteristik, uvedených v následující kapitole. Při řešení konkrétní soustavy je však třeba její přesné charakteristiky (přechodovou i frekvenční) sestavit na základě skutečných vlastností jednotlivých členů soustavy a způsobu jejich zapojení.

Druhy členů a soustav

Podle dynamických vlastností lze rozlišovat tři základní druhy soustav:

- a) *statické soustavy* - po jednotkovém skoku vstupní veličiny se změněná hodnota výstupní veličiny ustálí na konstantní úrovni $K > 0$. Statické soustavy tak hodnotu vstupní veličiny zesilují nebo zeslabují.
- b) *derivační soustavy* - po jednotkovém skoku vstupní veličiny se hodnota výstupní veličiny ustálí na původní, nulové úrovni. Soustavy tak hodnotu vstupní veličiny derivují.
- c) *integrační (astatické) soustavy* - po jednotkovém skoku vstupní veličiny se změněná hodnota výstupní veličiny neustálí na jedné úrovni, ale vykazuje stálý přírůstek rovnoměrnou rychlostí. Soustavy tak hodnotu vstupní veličiny integrují.

Po změně hodnoty vstupní veličiny může výstupní veličina nabýt svoji konečnou hodnotu okamžitě pouze u ideální, v praxi neuskutečnitelné soustavy. Průběh odezvy všech druhů reálných soustav je zatížen zpožděním. To je způsobeno jednak konečnou rychlostí šíření vzruchu v soustavě, jednak skutečností, že změna výstupní veličiny je podmíněna změnou materiálového nebo energetického stavu (úroveň hladiny, tlak, teplota a pod.). Soustava představuje z tohoto hlediska kapacitu, jejíž vliv nelze vyrovnat v nulovém čase. Změna hodnoty výstupní veličiny se tak začne projevovat s časovou prodlevou a podle velikosti kapacity soustavy se následně ustálí na konečné úrovni až za další časový interval.

Druh soustavy určuje tvar diferenciální rovnice. Řád rovnice charakterizuje průběh, daný zpožděním. Podle řádu diferenciální rovnice, která popisuje chování dané soustavy, se zpoždění soustavy nazývá zpožděním I., II., případně vyššího řádu a soustava se nazývá jedno-, dvoj-, případně vícekapacitní. V obrazové formě popisují toto chování soustav mnohočleny stejných stupňů.

Statické soustavy

U statických soustav se po jednotkovém skoku vstupní veličiny změněná hodnota výstupní veličiny ustálí na konstantní úrovni $K > 0$. Statické soustavy tak hodnotu vstupní veličiny zesilují nebo zeslabují. Rovnice statické soustavy má v parametrické formě v čitateli konstantu. Jmenovatel tvoří mnohočlen, jehož stupeň je roven řádu zpoždění dané soustavy.

Chování statické soustavy bez zpoždění je charakterizováno pouze poměrem velikosti výstupní a vstupní veličiny (signálu), tj. zesílením

$$F_{(p)} = \frac{X_{(p)}}{Y_{(p)}} = \frac{b_0}{a_0} = K \quad .$$

Chování statické soustavy se zpožděním I. řádu popisuje diferenciální rovnice I. řádu. Jí odpovídá obrazový přenos

$$F_{(p)} = \frac{X_{(p)}}{Y_{(p)}} = \frac{b_0}{a_1 p + a_0} = \frac{K}{Tp + 1}$$

kde $K = \frac{b_0}{a_0}$ = zesílení prvku (soustavy)

$T = \frac{a_1}{a_0}$ = časová konstanta, charakterizující velikost zpoždění.

Chování statické soustavy se zpožděním II. řádu, dvojkapacitní, popisuje diferenciální rovnice II. řádu. Jí odpovídá obrazový přenos

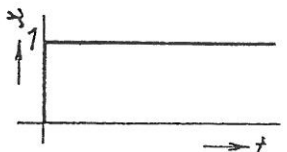
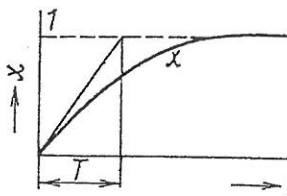
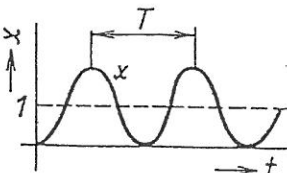
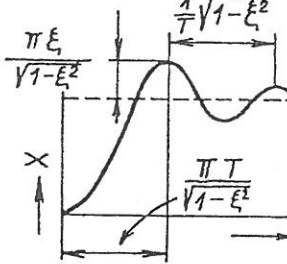
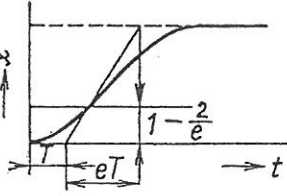
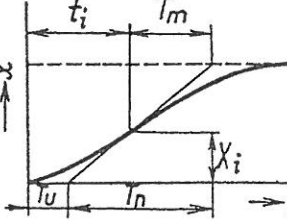
$$F_{(p)} = \frac{X_{(p)}}{Y_{(p)}} = \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$$

kde $K = \frac{b_0}{a_0}$ = zesílení prvku (soustavy)

$T = \sqrt{\frac{a_2}{a_0}}$ = časová konstanta = doba kmitu netlumeného systému

$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{a_1}{a_0}}$ = poměrné tlumení

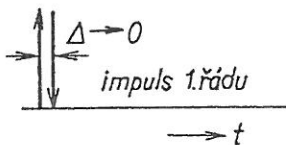
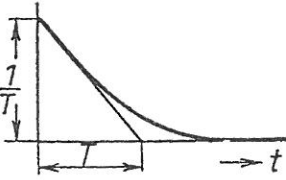
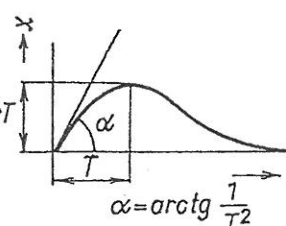
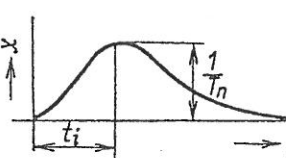
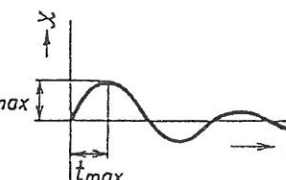
Tvar přechodové charakteristiky dvojkapacitní soustavy, tj. soustavy se zpožděním druhého řádu závisí na stupni jejího tlumení - na velikosti koeficientu ξ [ksi]. Přehled o přechodových charakteristikách statických soustav bez zpoždění až se zpožděním 2. řádu a tím i o průbězích přechodových dějů dává následující tabulka 3.1.1.

Funkce (statická)	Obrazový přenos $F(p)$	Přechodová charakteristika $X = f(t)$ při $y = 1$, pro $t \geq 0$
bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	1	
se zpožděním 1. řádu (časová konstanta $T > 0$)	$\frac{1}{Tp + 1}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$, bez tlumení - $\xi = 0$)	$\frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1} =$ $= \frac{1}{T^2 p^2 + 1}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$, tlumení ($0 < \xi < 1$))	$\frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$, tlumení $\xi = 1$)	$\frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1} =$ $= \frac{1}{(Tp + 1)^2}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$ a tlumení $\xi > 1$ nebo konstanty T_1 a $T_2 > 0$)	$\frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$ nebo $\frac{1}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$	

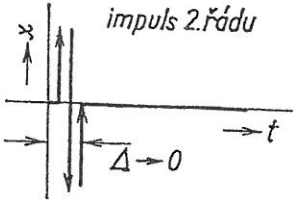
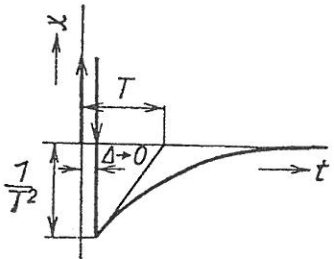
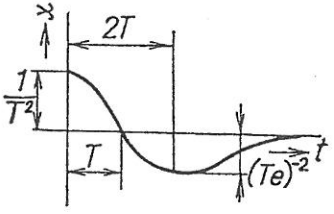
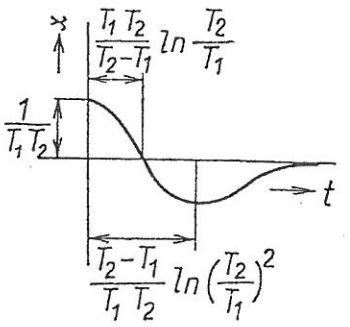
Tab. 3.1.1 - Přehled obrazových přenosů a přechodových charakteristik statických soustav

Derivační soustavy

Pro rovnice obrazového přenosu derivačních soustav je charakteristická přítomnost parametru p v čitateli. Při impulsu 1. řádu je parametr lineární, při impulsu 2. řádu je parametr kvadratický (= též druhého řádu). Zesílení je stejně jako u předchozích statických funkcí charakterizováno koeficientem K v čitateli (v tabulkách je $K = 1$), T je časová konstanta a v soustavách se zpožděním druhého řádu je ξ tlumení.

Funkce (derivační prvního řádu)	Obrazový přenos $F(p)$	Přechodová charakteristika $X = f(t)$ při $y = 1$, pro $t \geq 0$
bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	p	
se zpožděním 1. řádu (časová konstanta $T > 0$)	$\frac{p}{Tp + 1}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$, tlumení $(0 < \xi < 1)$)	$\frac{p}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$, tlumení $\xi = 1$)	$\frac{p}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} =$ $= \frac{p}{(Tp + 1)^2}$	
se zpožděním 2. řádu (časové konst. T_1 a $T_2 > 0$)	$\frac{p}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}$	

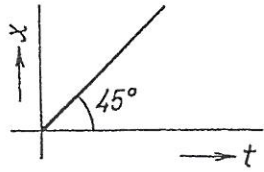
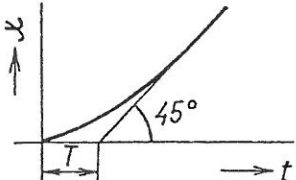
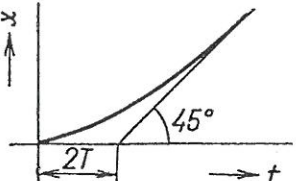
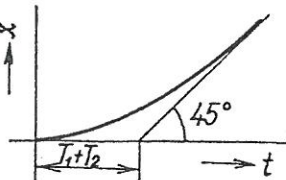
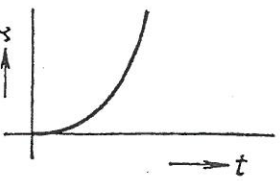
Tab. 3.1.2 - Přehled obrazových přenosů a přechodových charakteristik derivačních soustav 1. řádu.

Funkce (derivační druhého řádu)	Obrazový přenos $F(p)$	Přechodová charakteristika $X = f(t)$ při $y = 1$, pro $t \geq 0$
bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	p^2	 <p>impuls 2.řádu</p>
se zpožděním 1. řádu (časová konstanta $T > 0$)	$\frac{p^2}{Tp + 1}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$, tlumení $\xi = 1$)	$\frac{p}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} =$ $= \frac{p}{(Tp + 1)^2}$	
se zpožděním 2. řádu (časové konst. T_1 a $T_2 > 0$)	$\frac{p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$	

Tab. 3.1.3 - Přehled obrazových přenosů a přechodových charakteristik derivačních soustav 2. řádu.

Integrační soustavy

Pro rovnice obrazového přenosu integračních soustav je charakteristická nepřítomnost absolutního členu ve jmenovateli výrazu. Hodnota výstupní veličiny stoupá při těchto tvarech rovnic přenosu dané soustavy nad všechny meze - soustava není stabilní. Význam ostatních členů v následující tabulce je shodný s předešlými.

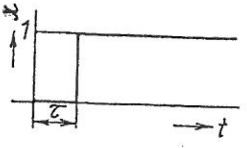
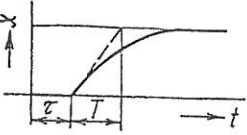
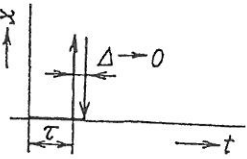
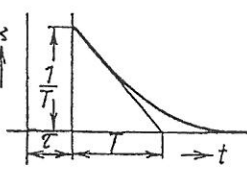
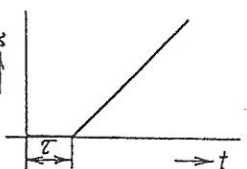
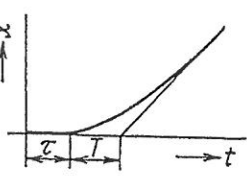
Funkce (integrační)	Obrazový přenos $F(p)$	Přechodová charakteristika $X = f(t)$ při $y = 1$, pro $t \geq 0$
bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	$\frac{1}{p}$	
se zpožděním 1. řádu (časová konstanta $T > 0$)	$\frac{1}{p(Tp + 1)}$	
se zpožděním 2. řádu (časová konstanta $T > 0$, tlumení $\xi = 1$)	$\frac{1}{p(T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1)} = \frac{1}{p(Tp + 1)^2}$	
se zpožděním 2. řádu (časové konstanty T_1 a $T_2 > 0$)	$\frac{1}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$	
druhého řádu bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	$\frac{1}{p^2}$	

Tab. 3.1.4 - Přehled obrazových přenosů a přechodových charakteristik integračních soustav

Soustavy s dopravním zpožděním

Na zpoždění změny výstupní veličiny za veličinou vstupní se mimo kapacity soustavy podílí též rychlost šíření změn (signálu) v dané soustavě. Tento vliv se projeví prodlevou mezi okamžikem změny vstupní veličiny a okamžikem začátku změny výstupní veličiny. Prodleva se nazývá dopravní zpoždění a označuje se τ [tau]. Rovnice obrazového přenosu soustavy s dopravním zpožděním má tvar

$$F(p) = e^{-\tau p}$$

Funkce (s dopravním zpožděním)	Obrazový přenos $F(p)$	Přechodová charakteristika $X = f(t)$ při $y = 1$, pro $t \geq 0$
statická bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	$e^{-\tau p}$	
statická se zpožděním 1. řádu (časová konstanta $T > 0$)	$\frac{e^{-\tau p}}{Tp + 1}$	
derivační bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	$p \cdot e^{-\tau p}$	
derivační se zpožděním 1. řádu (časová konstanta $T > 0$)	$\frac{p \cdot e^{-\tau p}}{Tp + 1}$	
integrační bez zpoždění (časová konstanta $T = 0$)	$\frac{e^{-\tau p}}{p}$	
integrační se zpožděním 1. řádu (časová konstanta $T > 0$)	$\frac{e^{-\tau p}}{p(Tp + 1)}$	

Tab. 3.1.5 - Přehled obrazových přenosů a přechodových charakteristik
vybraných soustav s dopravním zpožděním

Regulátory

Regulátory jsou prvky regulačních obvodů, které upravují signál regulační odchylky tak, aby výsledné působení následného akčního členu vedlo k žádanému stavu regulované soustavy, tj. aby regulační odchylka byla co nejdříve co nejmenší (v ideálním případě nulová).

Spojité regulátory zesilují, případně tlumí signál regulační odchylky (= signál své vstupní veličiny) a upravují jej tak, že k němu přidávají signál úměrný derivaci nebo integrálu původního signálu odchylky. Regulovaný proces udržuje v ustáleném stavu jednu žádanou hodnotu.

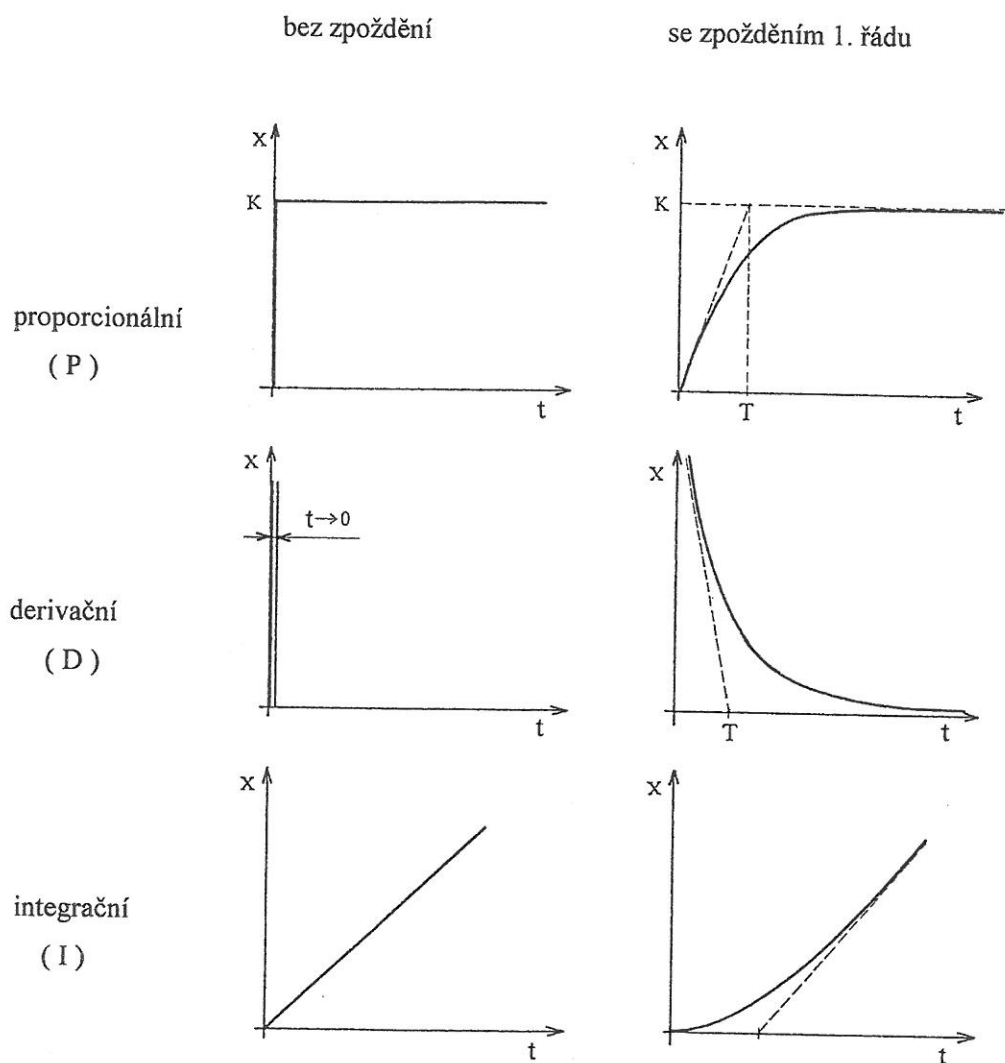
Nespojité regulátory nabývají pouze omezeného počtu hodnot, často dvou. Regulační odchylka působí potom přítomnost nebo nepřítomnost výstupního signálu z regulátoru (zapnuto - vypnuto) a regulovaný proces je i v ustáleném stavu kmitavý.

Impulsní regulátory reagují na regulační odchylku sérií impulsů. Akční člen se podle počtu a velikosti impulsů krokově dostává do stavu, ve kterém se regulovaná veličina udržuje v žádaném ustáleném stavu.

Spojité regulátory

Podle druhu působení rozeznáváme tři základní druhy spojitých regulátorů:

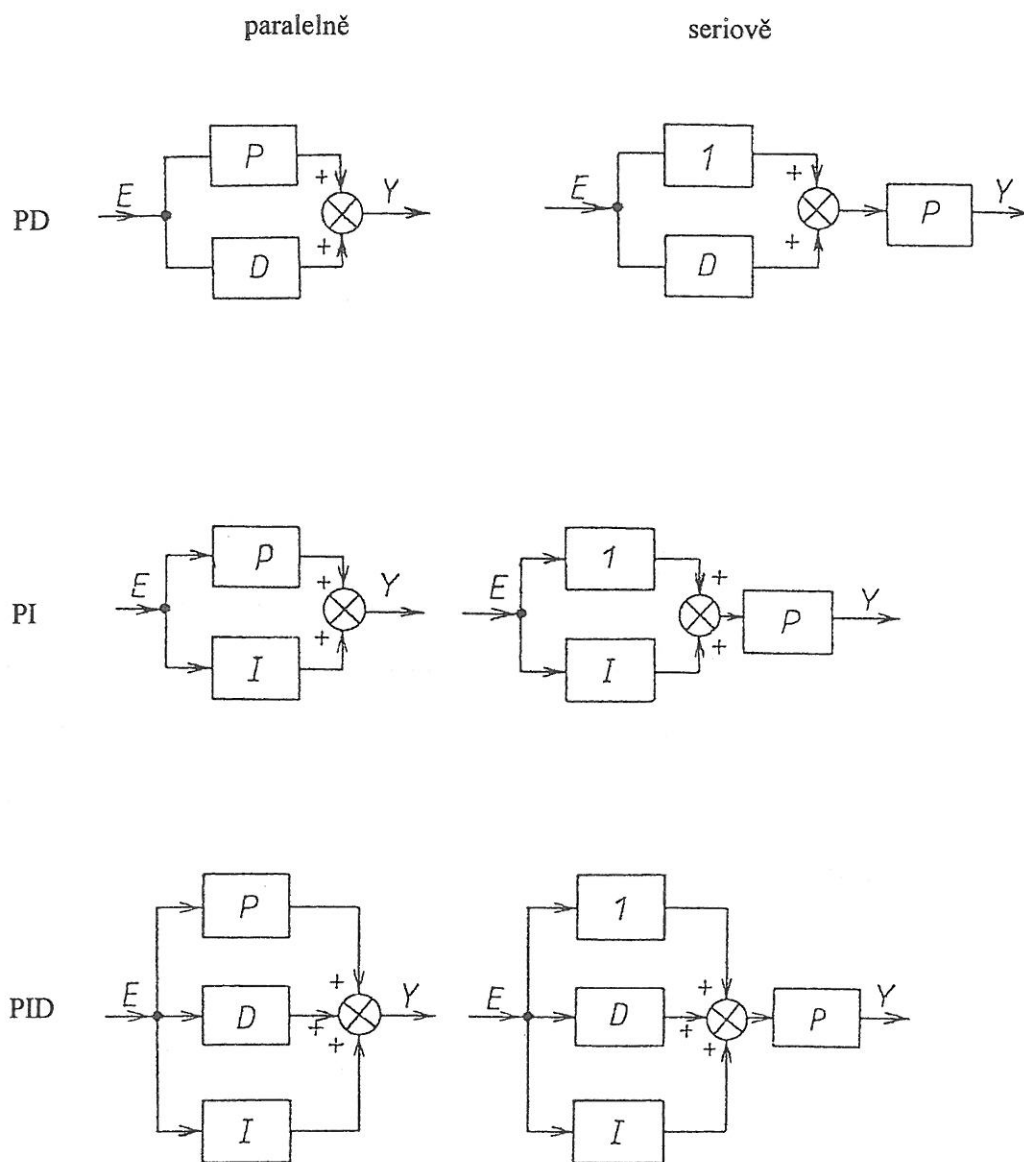
- *proporcionální*, označovaný P, je v podstatě statický člen nultého (bez zpoždění) nebo vyššího (se zpožděním) řádu. Působí po celou dobu trvání regulační odchylky a jeho úkolem je lineárně ji zesilovat, alespoň je-li v ustáleném stavu.
- *derivační*, označovaný D, je v zásadě derivační člen, který derivuje regulační odchylku ideálně nebo se zpožděním (setrvačností), úměrným jeho řádu. Projevuje se hlavně na počátku působení regulační odchylky - urychluje počátek regulace. Po ukončení změn regulační odchylky se ideální derivační člen neprojevuje, projev členu se zpožděním doznívá. Má tendenci stabilizovat průběh regulace.
- *integrační*, označovaný I, integruje regulační odchylku ideálně nebo se zpožděním (setrvačností), úměrným jeho řádu. Pro velké časové konstanty se jeho vliv projevuje hlavně na konci děje, pro malé již téměř od začátku a jeho působení trvá do doby další změny. Má tendenci urychlovat průběh regulačního procesu, současně však jej i destabilizovat.



Obr. 3.1.13 - Dynamické vlastnosti základních složek regulátorů

Žadany průběh regulačního procesu lze většinou dosáhnout ne samostatnou P, I nebo D složkou, ale jejich kombinací. Regulátor, složený ze dvou nebo třech základních částí obsahuje běžně vždy proporcionální člen, ke kterému je paralelně nebo sériově řazen člen D, I nebo oba - viz obr. 3.1.14.

Při paralelním řazení zesiluje člen P jen vlastní regulační odchylku, ostatní složky se přičítají až po jejím zesílení. Při sériovém řazení se zesiluje mimo odchylky (přenos přes jednotkový člen) i signál derivovaný, popř. integrovaný. Derivační člen samostatně nebo v sérii bez paralelního jednotkového členu ani použít nelze, neboť v ustáleném stavu ($E = k$) signál nepropouští ($k/dx = 0$). Samostatný integrační člen by zase vedl k nestabilitě regulace, neboť po vynulování regulační odchylky ($E = 0$) dále působí konstantním signálem ($\int 0 dx = k$).

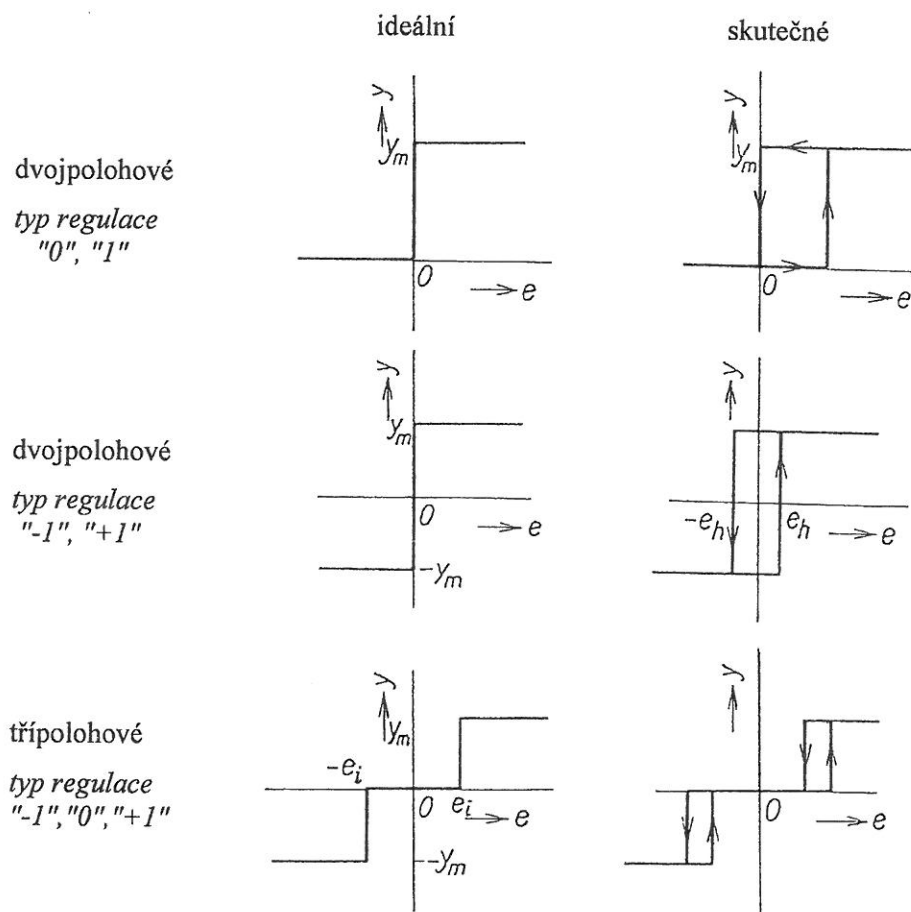


Obr. 3.1.14 - Bloková schemata regulátorů

Velikost vlivu jednotlivých složek regulátoru lze ovlivnit jejich konstantami. Proporcionální složka má nastavitelné zesílení K . Skutečný P regulátor má i zpoždění. To je však pokud možno minimální, protože se žádá co nejrychlejší odezva a tím kompenzace regulační odchylky. Derivační a integrační složky mají naopak nastavitelné časové konstanty T_D a T_I , kterými lze ovlivnit dobu působení (T_D) nebo jeho počátek (T_I). V praxi se konstanty nastavují přibližně ve výrobním závodě nebo při montáži na místě určení, přesně při záběhu nebo zkušebním provozu. Při běžném provozu není většinou potřeba jejich hodnoty měnit.

Nespojité regulátory

Nespojité regulátory (často též nazývané reléové) nemění svoji výstupní, akční veličinu spojitě, ale skokově v omezeném počtu hodnot. Časté jsou *dvojpolohové regulátory*, odpovídající dvěma stavům spínače, ovládajícího přívod energie do regulované soustavy. *Třípolohové regulátory* ovládají buď přívod energie ve dvou úrovních (vypnuto, poloviční výkon, plný výkon) nebo přívod a odvod energie (např. chlazení, vypnuto, topení).



Obr. 3.1.15 - Statické charakteristiky nespojitých regulátorů

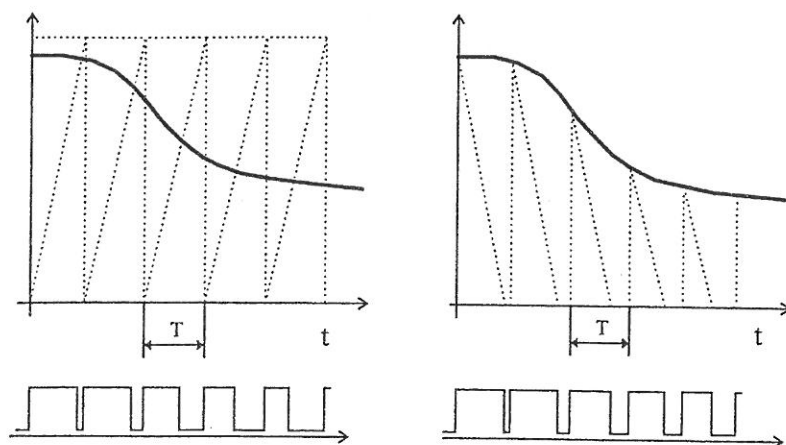
Ideální charakteristiky vyžadují, aby při mezní úrovni vstupní veličiny regulátor sepnul a při téže hodnotě i vypnul. To v praxi jednak není uskutečnitelné, jednak je nežádoucí - obvod by kmital v teoreticky nekonečně vysoké frekvenci. Stabilitě přispěje určité *pásmo necitlivosti* - rozsah hodnot vstupní veličiny, ve kterém regulátor po přechodu z jednoho stavu do druhého nereaguje a nepřechází při opačné změně zpět do původního stavu. U statických soustav (např. regulace teploty) toto pásmo způsobuje kmitavý průběh regulace při dané frekvenci a amplitudě kmitů, u nestatických soustav (např. polohové servomechanismy) způsobuje stálost polohy při dané nepřesnosti.

Nespojitými regulátory nelze dosáhnout takové jakosti regulace, jako spojitými. Přesto se však často používají pro svoji jednoduchost, nízkou cenu a provozní spolehlivost.

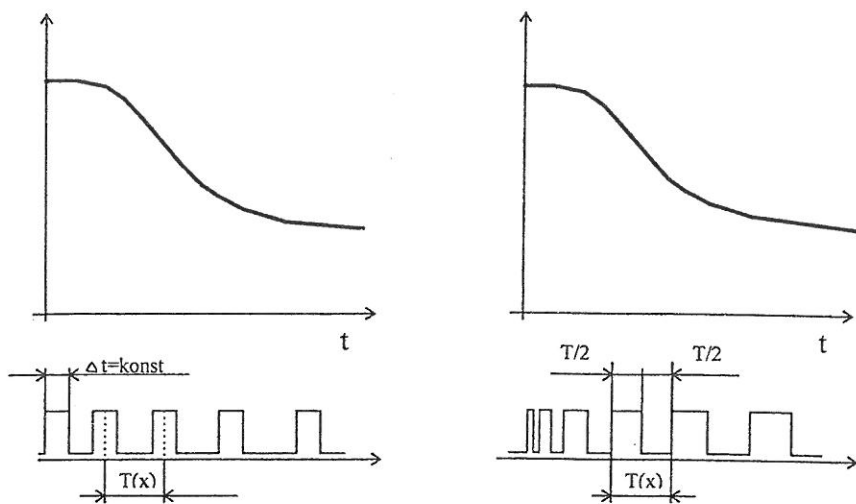
Impulsní regulátory

Impulsní regulační obvod nezpracovává vstupní signál průběžně, ale v určitých intervalech. Vzorkovač regulátoru odebírá vzorky (= snímá regulační odchylku) s danou frekvencí, např. 50-krát za sekundu, a jeho následné obvody převedou velikost této odchylky na řadu impulsů. Podle způsobu získání impulsů a tím i parametru, do kterého je přenášena hodnota zakódována, rozlišujeme modulaci:

- *šířkovou* - rozhodující je doba trvání jednotkové hodnoty impulsu, frekvence a úroveň je stálá (obr. 3.1.16 a), dva druhy kódování
- *hustotní* - rozhodující je časový interval mezi dvěma impulsy, doba trvání jednotkové hodnoty impulsu a úroveň je stálá (obr. b)
- *kmitočtovou* - rozhodující je frekvence impulsů, střída je 1:1, úroveň je stálá (obr. c)
- *amplitudovou* - rozhodující je úroveň impulsů, časový interval mezi dvěma impulsy a doba jejich trvání je stálá (obr. d)

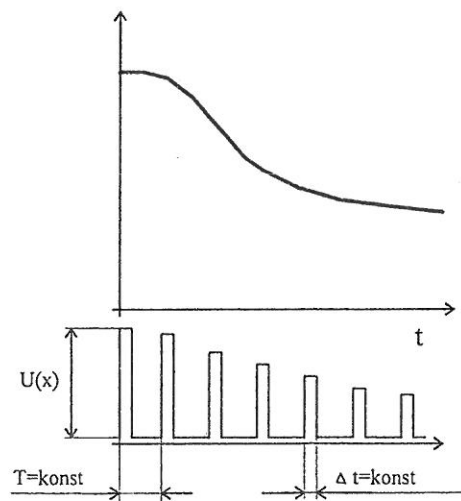


a) šířková modulace - 2 druhy kódování



b) hustotní modulace

c) frekvenční modulace

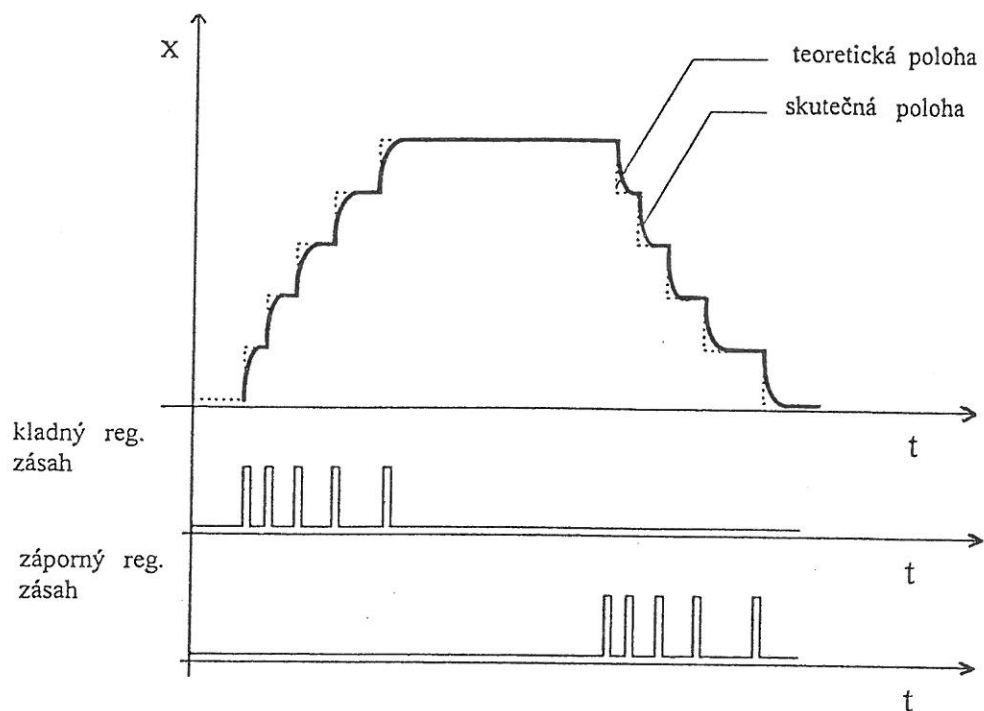


d) amplitudová modulace

Obr. 3.1.16 - Druhy modulace impulsního signálu

Výstupní veličina impulsních regulátorů má též často podobu impulsů. V tom případě jsou výstupy dva, jeden pro kladný a druhý pro záporný regulační zásah. Přes nespojité zpracování signálů je přesnost regulace často vyšší než u spojitých analogových regulátorů.

Vlastní regulátory jsou realizovány většinou číslicovými obvody, často mikropočítači. Chování - charakteristiku regulátoru lze definovat zapojením nebo programem (podle provedení).



Obr. 3.1.17 - Závislost polohy akčního členu na počtu impulsů

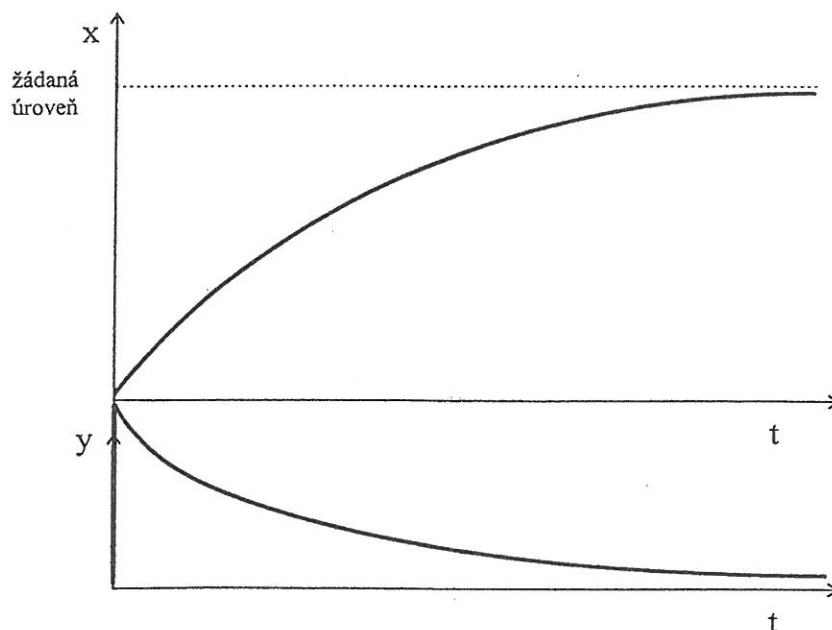
Průběh regulačního procesu

Průběh regulačního procesu je určen vlastnostmi všech prvků, začleněných v regulačním obvodu. Jsou-li všechny prvky spojité, je spojitý i průběh regulace. Obsahuje-li obvod jediný prvek s nespojitým průběhem (často regulátor), je celkový průběh nespojitý.

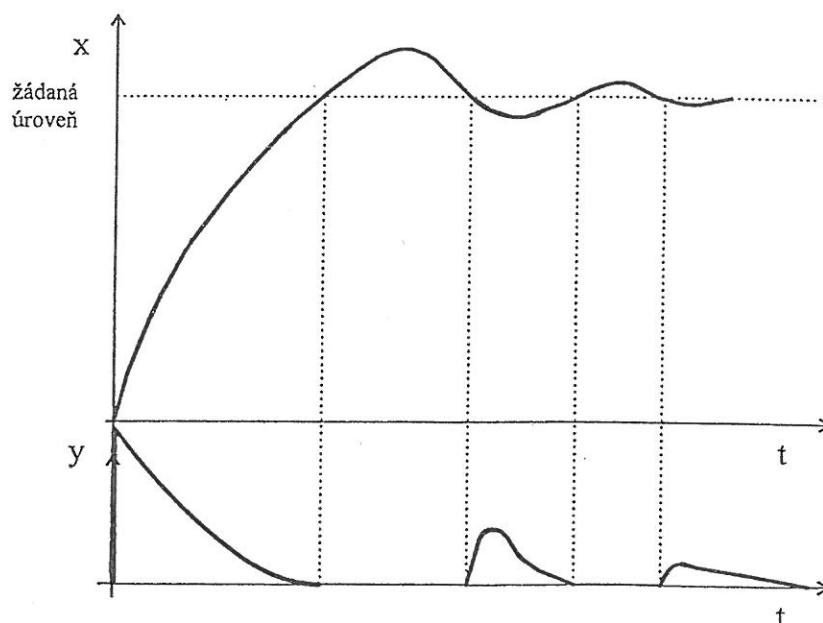
Základní podmínkou správné činnosti regulačního obvodu je jeho stabilita. Soustava nebo jakýkoli člen je stabilní tehdy, vrátí-li se po změně vstupní veličiny a po odstranění vzruchu výstupní regulovaná veličina do původního stavu. V regulačním obvodu mohou být jednotlivé jeho členy stabilní i nestabilní. Nutnou podmínkou však je, aby uzavřený regulační obvod byl za všech okolností stabilní. V opačném případě je soustava v praxi nepoužitelná.

Spojité regulace

Základní průběhy *spojitého regulačního procesu* jsou popsány přenosovými rovnicemi v diferenciálním a operátorovém tvaru a přechodovými charakteristikami, zobrazenými v části "Vyjádření vlastností členů a soustav" na obrázcích v tabulkách 3.1.1 až 3.1.5. Příklad aperiodického a periodického tlumeného průběhu regulačního procesu včetně průběhu regulačních zásahů je na následujících obr. 3.1.18 a 3.1.19.

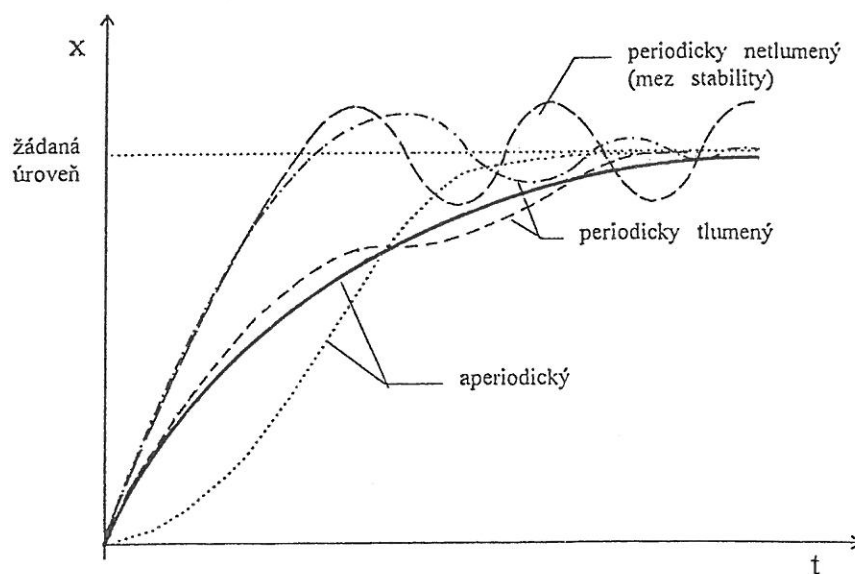


Obr. 3.1.18 - Průběh aperiodického regulačního procesu a průběh regulačních zásahů (jednokapacitní soustava, P - regulátor)

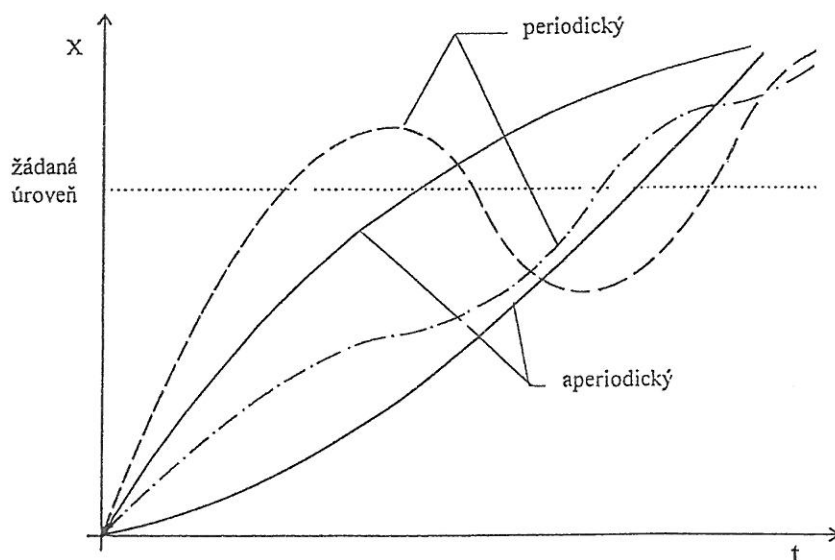


Obr. 3.1.19 - Průběh periodicky tlumeného regulačního procesu a regulačních zásahů (jednokapacitní soustava, PD regulátor)

Pro spojité soustavy byla odvozena řada kritérií stability regulačních procesů. Z těch s co nejobecnější platností lze jmenovat *Hurwitzovo* kritérium, které se týká lineárních systémů a užívá determinant, sestavený z koeficientů polynomu charakteristické rovnice soustavy. *Routh-Schurovo* kritérium je méně pracné, obzvláště u polynomů vyšších řádů a jeho podstata spočívá v postupném snižování řádu charakteristické rovnice. *Nyquistovo* kritérium je frekvenční, je použitelné i pro systémy s dopravním zpožděním a užívá se i pro řešení jakosti přechodového děje.



a) stabilní průběhy

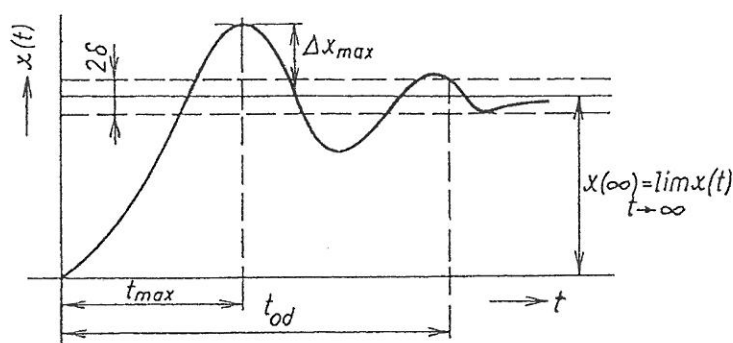


b) nestabilní průběhy

Obr. 3.1.20 - Průběhy spojitého regulačního procesu

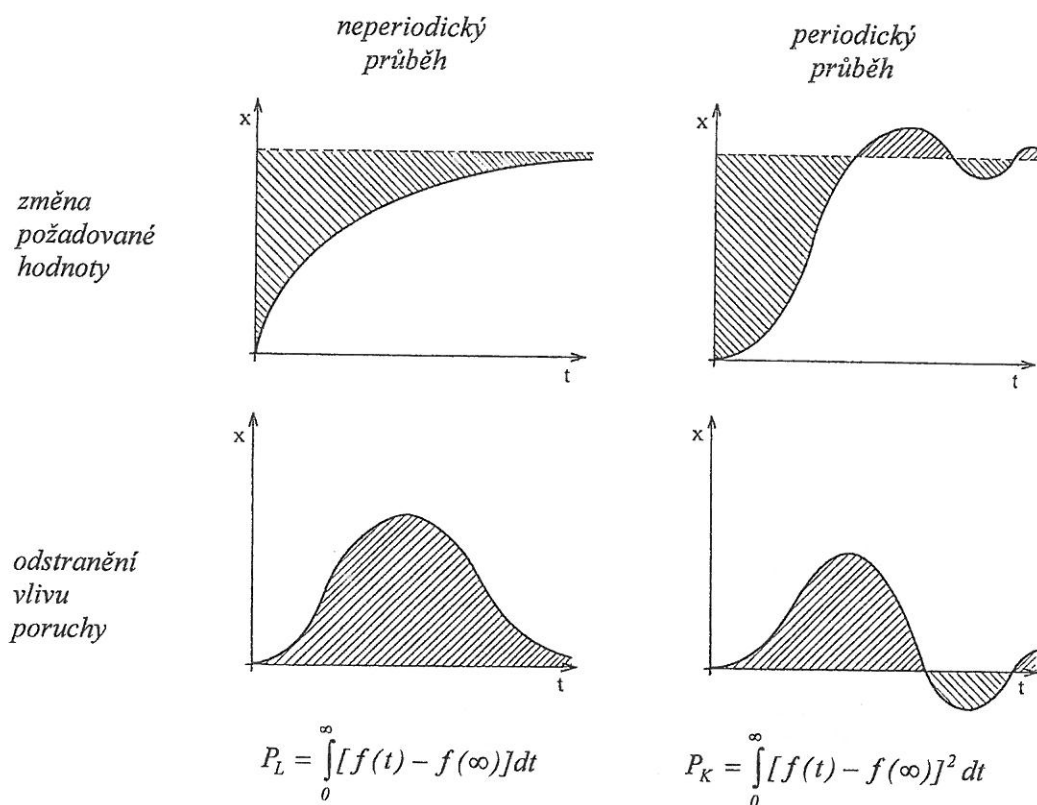
Podmínka *stability* je podmínkou nutnou, pro správnou činnost regulačního obvodu však ne podmínkou postačující. Dalšími a v mnoha aplikacích též rozhodujícími parametry jsou:

- *přesnost regulace* δ , udávající míru shody žádané a skutečné hodnoty regulované veličiny v ustáleném stavu. Vyjadřuje se buď v absolutních hodnotách odchylek (\pm , nemusí být z obou stran stejné) nebo častěji v %, též \pm .
- *doba odezvy* t_{od} , udávající, za jakou dobu se regulovaná veličina ustálí v rámci předem stanovené odchylky, většinou požadované přesnosti (1%, 2%, 5%).
- *charakter přechodového děje* - *aperiodický a periodický*. Aperiodický děj se blíží ustálenému stavu bez překmitu nad ustálený stav. U kmitavého průběhu se uvádí nejvyšší hodnota překmitu Δx_{max} (nejčastěji v procentech ustálené hodnoty výstupní veličiny) a čas, kdy k tomuto překmitu dojde.



Obr. 3.1.21 - Základní parametry kvality regulačního děje

Požadavky na přesnost, dobu odezvy a na velikost nejvyššího překmitu jsou často protichůdné. Je proto nutné řešit podmínky jakosti regulačního procesu kompromisně splněním alespoň dvou z nich (nejčastěji přesnosti a doby odezvy) a třetí zanechat na výsledku řešení.



Obr. 3.1.22 - Regulační plocha

K ohodnocení jakosti přechodného děje se používá *integrální kritérium kvality regulačního procesu*.

Velikost tzv. *lineární regulační plochy* P_L je dána vztahem

$$P_L = \int_0^{\infty} [f(t) - f(\infty)] dt.$$

Vyjadřuje skutečnou plochu mezi křivkou přechodové charakteristiky a ideálním průběhem veličiny a je vhodná pouze pro neperiodické děje. Při uplatnění tohoto postupu u dějů periodických by se plochy nad a pod ideálním průběhem odčítaly. Výpočet integrálu absolutní hodnoty průběhu dané veličiny, tj.

$$P_L = \int_0^{\infty} |f(t) - f(\infty)| dt$$

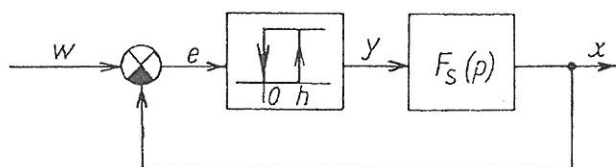
nedostatek sice odstraňuje, ale je velmi pracný. Proto se užívá jednodušší metoda - výpočet plochy kvadrátu průběhu dané veličiny, který je vždy kladný. Velikost *kvadratické regulační plochy* je dána vztahem

$$P_K = \int_0^{\infty} [f(t) - f(\infty)]^2 dt.$$

Vyjadřuje kvadrát skutečné plochy, který není na umístění dílčích ploch nad a pod ideálním průběhem závislý. Vzhledem k předchozímu sice nadhodnocuje velké a podhodnocuje malé plochy, ale jako porovnání jakosti různých průběhů regulačních pochodů, posuzovaných stejnou metodou je vhodný a odstraňuje pracný a jinak potřebný výpočet integrálu absolutní hodnoty.

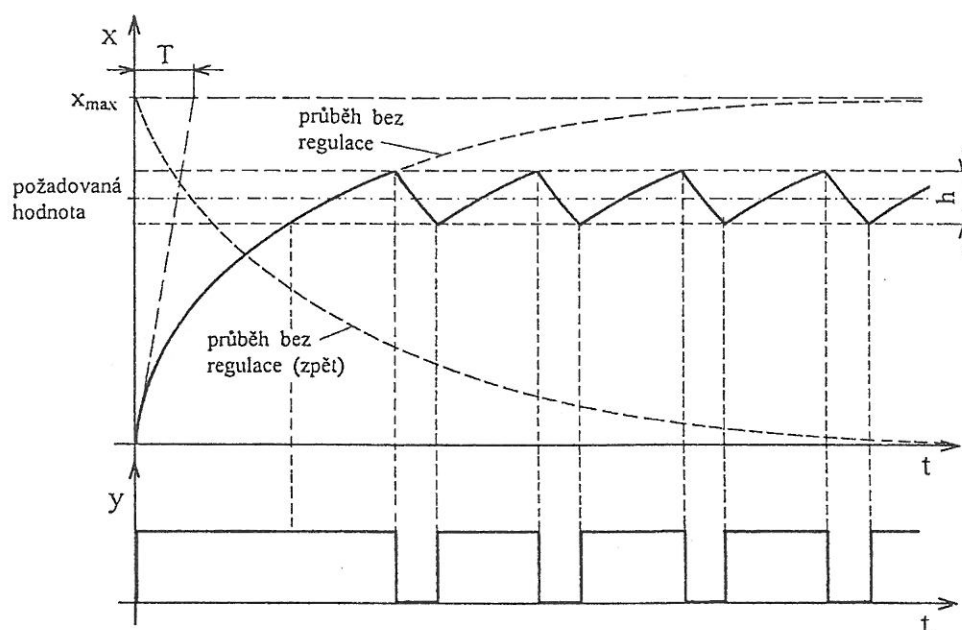
Nespojitá regulace

Nespojitý typ regulace je ve schématech regulačních obvodů označován podle obr. 3.1.23:

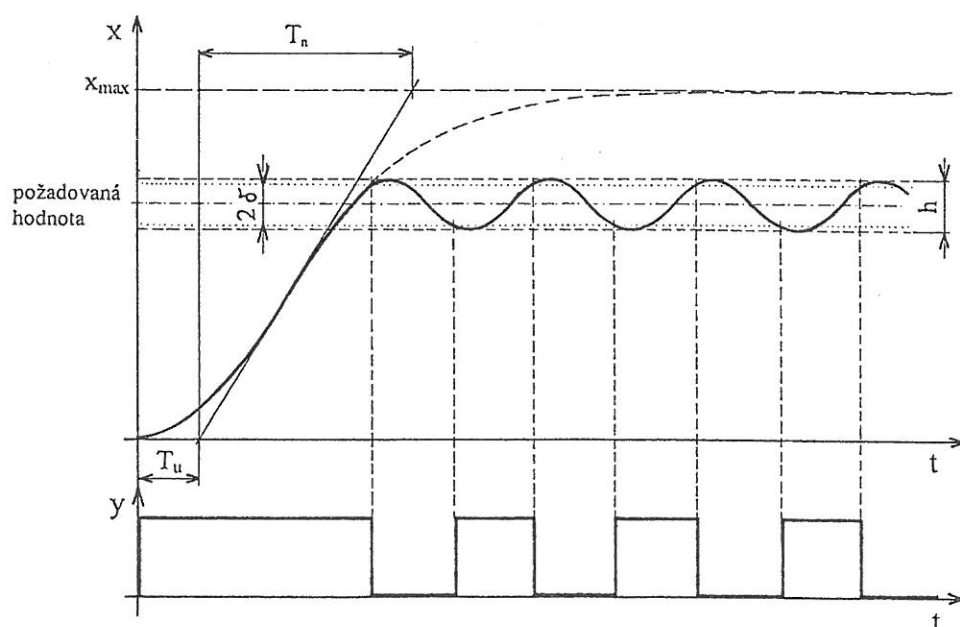


Obr. 3.1.23 - Blokové schéma regulačního obvodu s reléovým regulátorem a statickou soustavou

Průběhy nespojitého regulačního procesu jsou stejně jako spojitý průběhy popsány přenosovými rovnicemi a jim odpovídajícími přechodovými charakteristikami. Příklad průběhu nespojitého regulačního procesu jedno- a dvojkapacitní soustavy včetně průběhu regulačních zásahů je na následujících obr. 3.1.24 a 3.1.25.



Obr. 3.1.24 - Průběh nespojitého regulačního procesu a regulačních zásahů jednokapacitní soustavy



Obr. 3.1.25 - Průběh nespojitého regulačního procesu a regulačních zásahů dvojkapacitní soustavy

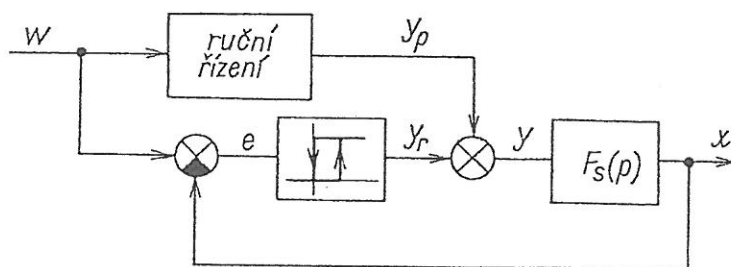
Pro sledování statických a dynamických vlastností obvodů s nespojitými regulátory se používá nejčastěji fázová rovina (prostor). Její řešení je náročné, analyticky většinou pro nespojitost funkce nemožné. Obdobně náročné je i řešení stability.

Mimo stability regulačního pochodu charakterizuje nespojitá soustava též

- přesnost regulace δ
- doba odezvy t_{od} .

Charakter přechodového děje je vždy periodický. Lze udávat periodu, amplituda odpovídá přesnosti regulace.

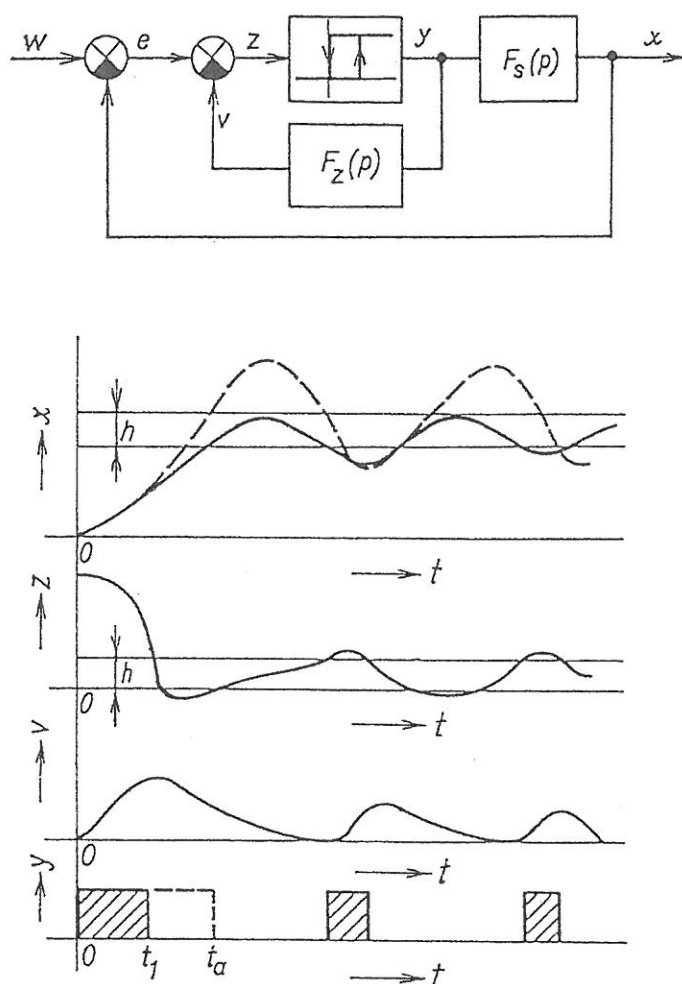
Kolísání regulované veličiny je pro nespojitou regulaci typické. Vychází-li větší, než určují požadavky, lze upravit strukturu obvodu.



Obr. 3.1.26 - By Pass regulace pro zmenšení amplitudy trvalých kmitů

Nejjednodušším zásahem je zmenšení regulované veličiny, které má za následek i zmenšení hodnoty x_{max} . Tento zásah však zmenší i rozsah regulace a velikost poruch, které je regulátor schopen kompenzovat. Aby nedošlo ke změně regulačního rozsahu, přichází větší část energie do soustavy obchvatem (by pass) bez regulace s konstantním nebo s ručním nastavením hodnoty y_p . Zbývající část, y_r , potřebnou k dosažení žádané hodnoty, spíná nespojitý regulátor podle hodnoty regulační odchylky e . Podmínkou ovšem je, aby množství energie, přicházející bez regulace přímo bylo vždy menší, než nejmenší celkové potřebné množství. V opačném případě by musel mít regulátor možnost i negativního zásahu, tj. musel by být i vícepolohový. Popsaný způsob regulace je běžný například u plynových nebo naftových hořáků, kde tím odpadá i složitá problematika zapalování hořáků a jisticích obvodů.

U soustav s velmi dlouhými časovými konstantami (např. klimatizace hal) lze výrazného zlepšení dosáhnout pomocnou zpětnou vazbou přes vlastní regulátor.



Obr. 3.1.27 - Blokové schéma a časový průběh veličin v obvodu s pomocnou zpětnou vazbou přes regulátor.

Velmi pomalá reakce soustavy vyvolává i dlouhé regulační zásahy, které při řešení bez pomocné zpětné vazby způsobují velké překmány regulované veličiny - viz čárkový průběh.

Zapojíme-li pomocnou zpětnou vazbu, odečítá se od regulační odchylky signál $v(t)$ a regulátor spíná v závislosti na velikosti rozdílu těchto dvou hodnot, tj. $z(t)$. Reakce pomocné zpětné vazby a tedy i jejího signálu $v(t)$ je mnohem rychlejší, než reakce celé soustavy, představovaná signálem $x(t)$. Regulátor tak vypne již v čase t_1 , kdy regulovaná veličina ještě zdaleka nedosáhla vypínací úrovně. Po vypnutí veličina $v(t)$ klesá, $x(t)$ však vlivem setrvačnosti soustavy stále ještě roste. Při správně nastavené konstantě pomocné zpětné vazby se obě změny vyrovnávají a regulátor zůstává ve vypnutém stavu do doby, kdy regulovaná veličina $x(t)$ poklesne na vypínací úroveň. Popsané ideální nastavení takto konstruovaného obvodu je však možné pouze pro jednu hodnotu vstupní veličiny, v ostatních případech není regulační děj tak dokonalý. Je-li rozsah požadovaných vstupních hodnot velký (např. sušárna řeziva), je vhodnější použití vícepolohového regulátoru.

Identifikace vlastností soustav

Pro vyšetření vlastností soustav, uvedených v předchozí části, lze použít :

- matematický rozbor fyzikálně - chemických zákonů (vhodné hlavně pro lineární soustavy)
- adaptivní modelování (i pro nelineární spojité soustavy)
- deterministické metody (hlavně pro jednoparametrové soustavy)
- statistické metody (hlavně pro složité soustavy, nedovolující užití standardních vstupních signálů).

Matematické vyšetřování vlastností soustav je velmi náročné na teoretické znalosti a vyžaduje užití zjednodušujících postupů (např. linearizace). To vnáší do složitějších soustav nepřesnosti a proto se hodí pouze pro soustavy jednoduché, hlavně lineární jednoparametrické. Při řešení je obvyklý následující postup:

- sestavení technického a funkčního schematu celého regulačního obvodu nebo jeho částí
- označení všech prvků a veličin a smysl působení jejich signálů
- zápis fyzikálních zákonitostí závislosti výstupních (závislých) veličin na vstupních (nezávislých)
- sestavení blokového schematu skladby obvodu s vyznačením závislostí do jednotlivých bloků
- výpočet přenosu jednotlivých bloků a podle vyznačených vazeb přenosu celé soustavy.

Výpočty přenosové funkce se provádí převodem lineárních diferenciálních rovnic Laplaceovou nebo Laplace - Wagnerovou transformací do parametrického tvaru. Graficky se přenosové vlastnosti znázorňují frekvenční a fázovou charakteristikou.

Při vyšetřování vlastností pomocí *adaptivního modelu* se měří současně vstupní a výstupní veličiny skutečné soustavy i jejího modelu. Vlastnosti modelu se přitom nastavují pomocí prvků, odpovídajících koeficientům předpokládaného tvaru přenosové funkce tak, aby se soustavě blížily s požadovanou přesností. Identifikace se provádí odečtením polohy prvků na modelu. Používají se při ní standardní signály vstupních, řídicích veličin a měří se jejich odezva na výstupní, řízené veličiny.

Deterministické metody jsou založeny na měření skutečných jednoparametrových nebo víceparametrových soustav, ve kterých se jednotlivé parametry vzájemně neovlivňují. Pokud nejsou časové konstanty soustavy příliš velké, měří se její frekvenční charakteristika. Na vstup se přivádí sinusová veličina a za ustáleného stavu se měří poměr amplitudy výstupní a vstupní veličiny a rozdíl jejich fází. U soustav s dlouhými časovými konstantami se měří lépe přechodová charakteristika jako odezva na jednotkový skok vstupní veličiny. Podmínkou užití těchto metod je možnost přivést na jejich vstupy standardní veličiny, což většinou představuje vyřazení soustavy z běžného provozu.

Statistické metody slouží pro zpracování údajů, naměřených na celých technických zařízeních. U technologických zařízení totiž většinou nelze soustavy měřit použitím vhodných předem stanovených vstupních signálů. Měřené veličiny bývají mimo to zatíženy poruchovými veličinami, jejichž výskyt nelze předem předpokládat a jejichž amplituda svoji úrovní měřené veličiny překrývá. Při aktivním postupu se na vstup soustavy přivádějí registrované náhodné signály (v mezích technologických a výrobních parametrů) a měří se jejich odezva na regulované veličiny na výstupní straně, při pasivním postupu se měří odezva pouze běžných provozních vstupních signálů ve spektru odpovídajícím potřebám. V obou případech se jejich závislost, tj. přenosová funkce a charakteristiky identifikované soustavy, zjišťuje zpracováním statisticky dostatečně významného množství naměřených údajů.

L i t e r a t u r a :

- Švec, J. a kol. : Příručka automatizační a výpočetní techniky,
SNTL Praha 1974
- Kubík, S., Kotek, Z., Šalamon, M.: Teorie regulace I a II,
SNTL Praha 1969
- Vavřín, P. a kol.: Malá encyklopedie elektrotechniky, Automatizační technika,
SNTL Praha 1983
- Maršík, A. : Automatizační technika,
SNTL Praha 1986
- Zajac, E. : Základy automatizácie a technickej kybernetiky,
VŠLD Zvolen 1988

Logický systém

Systém je soubor objektů a jejich vzájemných vztahů, který jako celek vykazuje určitou funkci nebo chování. *Logický systém* je systém, jehož chování lze popsat soustavou logických veličin, vzájemně vázaných logickými vztahy. *Logická veličina* v obecném smyslu slova může nabývat konečný počet hodnot. V prakticky užívaných řídicích systémech se jiná než dvojhodnotová logika používá zcela výjimečně. V dalším popisu se proto omezíme pouze na ni a termín "logický" budeme chápat ve smyslu "dvojhodnotový, binární".

Systém je navrhován pro řešení dané úlohy, pro vykonávání určité činnosti. Činnost systému je definována jeho reakcí na podněty. *Podnět* je soubor okamžitých hodnot vstupních proměnných, *reakce* je soubor okamžitých hodnot výstupních proměnných při daném podnětu. Závislost reakcí na podnětech je *chování* systému. Okamžitá reakce systému často není jednoznačně určena jen okamžitým podnětem z okolí, ale též jeho vnitřním stavem. Vnitřní stav systému je určen stavem hodnot vnitřních proměnných (paměti), které uchovávají důležité stavy systému z jeho předchozí činnosti. Např. prvním stisknutím tlačítka dojde k zapnutí stroje. Při opětovném stisknutí téhož tlačítka může dojít k vypnutí stroje jen proto, že si systém pamatuje stav, dosažený v předchozím kroku, tj. že stroj byl v zapnutém stavu. Okamžité vnější podněty a vnitřní stav určují celkový (totální) stav systému.

Souhrn vlastností, které systém pro žádané chování musí mít, nazýváme *organizace systému*. Předpis pro vytvoření organizace, vhodné pro řešení dané úlohy v daném systému je *algoritmus*.

Organizace systému má dvě základní části:

- strukturu, která je pevná, neměnná
- program, který je v čase proměnný.

Při návrhu systému se provádí:

- analýza
- syntéza.

Při *analýze* systému je dána jeho struktura, počáteční vnitřní stav a možné kombinace hodnot vstupních veličin (přípustná vstupní aktivita). Zkoumá se chování existujícího systému, tj. závislost hodnot výstupních veličin na hodnotách veličin vstupních. Přesto že je analýza často pracná, je principiálně jednoduchá a vždy existuje její jednoznačné řešení.

Při *syntéze* je dáno chování systému a soubor typů logických členů, které jsou k dispozici. Cílem je sestavit takovou strukturu systému (obvodu), která má zadané chování a skládá se ze zadaných prvků. Řešení je podstatně složitější než analýza, není vždy jednoznačné (existuje více než jedno), při nevhodném výběru prvků ale nemusí existovat vůbec.

Návrhy logických systémů a obvodů lze provádět při dostatečných znalostech a zkušenostech bez matematických prostředků úvahou. Tento postup však nezaručuje nejspolehlivější a nejjednodušší řešení, v mezích případech ani správnou funkci. Proto jsou pro složitější obvody používány matematické postupy, prováděné dnes většinou pomocí počítačů.

Dosud jsme předpokládali, že všechny reakce systému byly v každém okamžiku jednoznačně určeny okamžitým podnětem a vnitřním stavem. Takto pracující systémy jsou *systémy deterministické* a výhradně těmito systémy se budeme v dalším zabývat. Mimo ně existují *systémy stochastické*, ve kterých nabývají výstupní funkce svoji hodnotu podle zákonů pravděpodobnosti.

V ý r o k o v á l o g i k a

Výrok je libovolné tvrzení (věta), o kterém můžeme prohlásit, je-li pravdivé nebo ne. Věta "Pojďme na pivo!" výrokem není, protože otázka: Je pravda, že "Pojďme na pivo!?" nemá smysl. Věta "Jdeme na pivo." však již výrokem je. Na *jednoduchý výrok* je možná jedna odpověď "Ano" nebo "Ne". Je to současně nejmenší možné množství informace - *elementární informace*, vyjádřené hodnotou 1 *bit* (binary digit, binární jednotka). Z jednoduchých výroků lze pomocí výrokovtvořných částic (funktorů) sestavovat různé *výroky složené*. Odpovědi na ně lze sestavovat do tzv. pravdivostních tabulek. Jednoduché výroky tvoří vstupní podmínky (funkce), funktoři vytváří druh závislosti a složené výroky tvoří funkce výstupní. Celkové množství informací, *informační hodnota* zprávy je dána počtem nezávislých výroků, jejichž pravdivostní hodnoty tato zpráva jednoznačně určuje.

Příklad : výrok v_1 - venku prší (jednoduchý)
 výrok v_2 - jsem v práci (jednoduchý)

funktor - jen když, tak
 výrok v_3 - když v_1 , tak v_2 (složený)

funktor - buď - nebo
 výrok v_4 - buď v_1 nebo v_2 (složený)

v_1	v_2	v_3	v_4
0	0	I	0
0	I	0	I
I	I	I	0

0 = ne, výrok není pravdivý
 I = ano, výrok je pravdivý

Tab. 3.2.1 - Pravdivostní tabulka výroků v_3 a v_4 .

Booleova algebra

Logikou a hlavně výrokovým počtem se v minulém století zabýval anglický matematik *George Boole* (1815 - 1864). Pro možnost matematického řešení výrokového počtu vytvořil v r. 1847 algebru dvojhodnotových veličin, dnes známou jako Booleova algebra. Zjednodušeně a z pohledu našich potřeb ji můžeme charakterizovat jako algebraickou strukturu, jejíž prvky mohou nabývat pouze dvě hodnoty - "0" nebo "1". Pro prvky (veličiny) jsou definovány operace logického součinu, součtu a negace.

Logický součin se označuje "." a platí při něm, že výsledná proměnná y nabývá hodnotu "1" tehdy a jen tehdy, mají-li všechny vstupní proměnné současně hodnotu "1".

Logický součet se označuje "+" a platí při něm, že výsledná proměnná y nabývá hodnotu "1" tehdy a jen tehdy, má-li alespoň jedna ze vstupních proměnných hodnotu "1".

Negace se označuje " \bar{x} " (tj. pruhem nad symbolem negovaného prvku nebo nad zápisem vztahu) a platí při ní, že výsledná proměnná y nabývá hodnotu opačnou.

Logická funkce $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ je předpis, který definuje jednoznačné přiřazení logických hodnot závisle proměnné veličiny y ke kombinacím, případně i sledu hodnot určitého počtu nezávisle proměnných veličin x_1 až x_n .

Podle počtu vstupních, nezávisle proměnných veličin se rozlišují funkce jedné, dvou nebo více proměnných. Při počtu n nezávisle proměnných veličin a dvou možných stavech jejich hodnot ("0" nebo "1") je počet kombinací vstupních stavů 2^n . Je-li přiřazení hodnot výstupní, závislé veličiny definováno v celém rozsahu, jedná se o logickou *funkci úplnou*. Není-li tomu tak, jedná se o logickou *funkci neúplnou*.

Všechny funkce lze jednoznačně definovat slovním předpisem, tabulkou nebo matematickým vztahem, složeným z logických operací. Podle nich lze definovat i základní logické funkce :

Logický součin neboli *AND* neboli *konjunkce* je takovou funkcí dvou nebo více nezávisle proměnných veličin, kdy závisle proměnná veličina y nabývá hodnoty "1" pouze tehdy, kdy mají hodnotu "1" současně všechny nezávisle proměnné veličiny x_1 až x_n .

Logický součet neboli *OR* neboli *disjunkce* je takovou funkcí dvou nebo více nezávisle proměnných veličin, kdy závisle proměnná veličina y nabývá hodnoty "1" tehdy, kdy má hodnotu "1" alespoň jedna z nezávisle proměnných veličin x_1 až x_n .

Negace je takovou funkcí jedné nezávisle proměnné veličiny, kde má závisle proměnná veličina y vždy opačnou hodnotu, než nezávisle proměnná veličina x .

Běžné jsou však i další funkce, jejichž závislost lze z předchozích odvodit :

Shefferova funkce neboli *NAND* (*negované AND*) je takovou funkcí dvou nebo více nezávisle proměnných veličin, kdy závisle proměnná veličina y nabývá hodnoty "0" pouze tehdy, kdy mají hodnotu "1" současně všechny nezávisle proměnné veličiny x_1 až x_n .

Pierceova funkce neboli *NOR* (*negované OR*) je takovou funkcí dvou nebo více nezávisle proměnných veličin, kde závisle proměnná veličina y nabývá hodnoty "0" jen tehdy, kdy má hodnotu "1" alespoň jedna z nezávisle proměnných veličin x_1 až x_n .

Ekvivalence je takovou funkcí dvou nebo více nezávisle proměnných veličin, kde závisle proměnná veličina y nabývá hodnoty "I" jen tehdy, kdy jsou si hodnoty všech vstupních veličin x_1 až x_n rovny, tj. všechny mají hodnotu "I" nebo "0".

Antivalence neboli *EXCLUSIVE OR* neboli *XOR* je takovou funkcí dvou nebo více nezávisle proměnných veličin, kdy závisle proměnná veličina y nabývá hodnoty "I" jen tehdy, nejsou-li si hodnoty vstupních veličin x_1 až x_n rovny.

Identita je takovou funkcí jedné nezávisle proměnné veličiny, kde má závisle proměnná veličina y vždy tutéž hodnotu, jako nezávisle proměnná veličina x .

Nulová funkce zachovává hodnotu závisle proměnné funkce y rovnu nule bez ohledu na hodnoty funkcí nezávisle proměnných x_1 až x_n .

Jednotková funkce zachovává hodnotu závisle proměnné funkce y rovnu jedné bez ohledu na hodnoty funkcí nezávisle proměnných x_1 až x_n .

Počet různých funkcí jedné veličiny, závisle proměnné na n nezávisle proměnných veličinách, je 2^{2^n} (= dvě na druhou na n -tou), protože každé kombinaci hodnot nezávisle proměnných lze přiřadit též 2^n kombinací hodnot závisle proměnné. Jejich přehled se nazývá úplný soubor funkcí. Úplný soubor funkcí, které lze vytvořit např. z jedné nebo ze dvou nezávisle proměnných, obsahuje $2^{2^1} = 4$, resp. $2^{2^2} = 16$ různých funkčních závislostí.

Funkce	V y j á d ř e n í		
	slovní	tabulkou	vztahem
identita	je pravda, že	$\begin{array}{cc} x & y \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{array}$	$y = x$
negace	není pravda, že	$\begin{array}{cc} x & y \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array}$	$y = \bar{x}$
nulová	není	$\begin{array}{cc} x & y \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array}$	$y = 0$
jednotková	je	$\begin{array}{cc} x & y \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array}$	$y = 1$

Tab. 3.2.2 - Úplný soubor funkcí jedné nezávisle proměnné x

Pro více proměnných se úplný soubor funkcí stává velmi rozsáhlý, nepřehledný a mimo to nemá definování všech jeho funkcí praktický význam. Proto se běžně používají pouze základní funkce, jejichž pomocí lze libovolnou potřebnou závislost sestavit.

Funkce	V y j á d ř e n í																	
	slovní	tabulkou	vztahem															
logický součin AND	„a“, „i“	<table><tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$y = x_1 \cdot x_2$
x_1	x_2	y																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
logický součet OR	„nebo“	<table><tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$y = x_1 + x_2$
x_1	x_2	y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
Shefferova funkce NAND	opak „i“	<table><tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$
x_1	x_2	y																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
Pierceova funkce NOR	„ani“	<table><tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$y = \overline{x_1 + x_2}$
x_1	x_2	y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																
Ekvivalence	„shodnost“	<table><tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$y = x_1 \equiv x_2$
x_1	x_2	y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
Antivalence XOR	„rozdílnost“	<table><tr><td>x_1</td><td>x_2</td><td>y</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x_1	x_2	y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$y = x_1 \oplus x_2$
x_1	x_2	y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

Tab. 3.2.3 - Základní soubor funkcí dvou nezávisle proměnných x_1 a x_2 .

Pro práci s operacemi a úpravy funkčních závislostí vyvodil G. Boole soubor následujících axiomů (zákonů):

Z á k o n	N á z e v
$x + I = I,$ $x \cdot 0 = 0$	agresivnost prvků 0 a I
$x + 0 = x,$ $x \cdot I = x$	neutrálnost prvků 0 a I
$x_1 + x_2 = x_2 + x_1,$ $x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1$	komutativní
$x_1 + (x_2 + x_3) = (x_1 + x_2) + x_3,$ $x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3) = (x_1 \cdot x_2) \cdot x_3$	asociativní
$x_1 + x_2 \cdot x_3 = (x_1 + x_2) \cdot (x_1 + x_3),$ $x_1 \cdot (x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3$	distributivní
$x + x = x,$ $x \cdot x = x$	idempotence
$x_1 + x_1 \cdot x_2 = x_1,$ $x_1 \cdot (x_1 + x_2) = x_1$	absorbce
$x_1 + \bar{x}_1 \cdot x_2 = x_1 + x_2,$ $x_1 \cdot (\bar{x}_1 + x_2) = x_1 \cdot x_2$	absorbce negace
$\bar{\bar{x}} = x$	dvojitě negace
$x + \bar{x} = I,$ $x \cdot \bar{x} = 0$	vyloučení třetího
$\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2,$ $\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$	De Morganovy zákony

Tab. 3.2.4 - Základní zákony Booleovy algebry

V Booleově algebře platí *princip duality*. Dva booleovské výrazy (tj. logické výrazy Booleovy algebry) f_1 a f_2 jsou duální, platí-li, že z f_1 dostaneme f_2 (a opačně) následující záměnou symbolů (všech, jsou-li ve výrazu použity):

$$\begin{array}{ll} 0 \rightarrow I & + \rightarrow \cdot \\ I \rightarrow 0 & \cdot \rightarrow + \end{array}$$

Jsou-li dva booleovské výrazy f_1 a g_1 ekvivalentní, pak jsou ekvivalentní i výrazy k nim duální f_2 a g_2 a naopak. Dvojice zákonů, uvedených pod stejnými názvy v předešlé tabulce, jsou duální. Kombinováním těchto zákonů, které jsou nezávislé a využitím zákona substituce lze odvodit další, v Booleově algebře platné vztahy.

Dnes se zákony Booleovy algebry využívají mimo výrokového počtu v teorii množin a logických obvodů.

Logické obvody

Ve skutečném logickém systému nebo při jeho realizaci musí být nositelem hodnot "0" nebo "1" logických veličin nějaká fyzikální veličina (el. napětí, proud, tlak vzduchu, ...). Jestliže tomu tak je, nazýváme tuto veličinu *signálem*. Přitom je nutné, aby hodnotám fyzikální veličiny byly určitým způsobem vzájemně jednoznačně přiřazeny hodnoty elementární informace. Způsob přiřazení se nazývá *kód*.

Fyzikální a technickou realizaci vztahů mezi veličinami představují *logické obvody*. Veličiny, které do obvodů vstupují, informace přináší - jsou nezávisle proměnné, veličiny, které z obvodů vystupují, informace podávají - jsou závisle proměnné. Mezi vstupními a výstupními veličinami je žádaná funkční závislost.

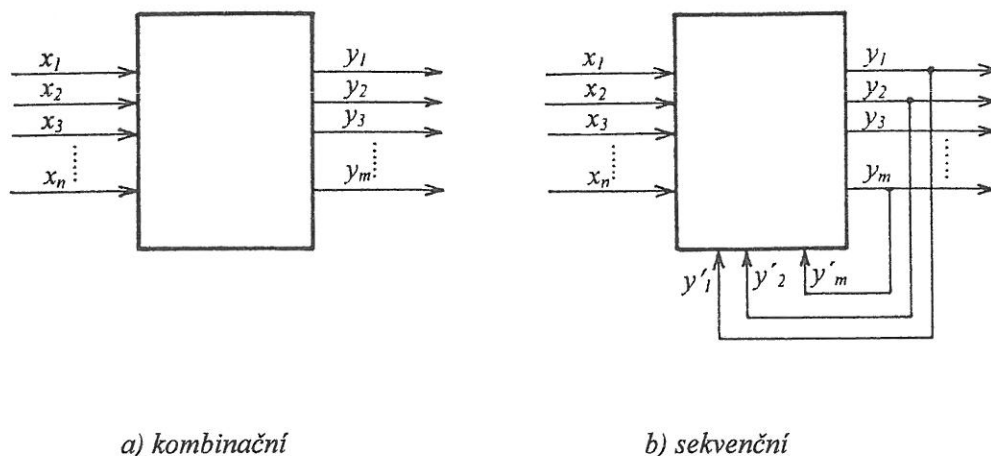
Druhy logických obvodů

Podle základního chování se rozlišují logické obvody:

- kombinační
- sekvenční.

U *kombinačních* logických obvodů jsou okamžité hodnoty jejich výstupních proměnných dány pouze okamžitými hodnotami jejich vstupních proměnných (jejich kombinacemi).

U *sekvenčních* logických obvodů jsou okamžité hodnoty jejich výstupních proměnných dány nejen okamžitými hodnotami jejich vstupních proměnných, ale i jejich hodnotami v předchozích krocích a sledem kroků - sekvencí. Ta vedla k nastavení hodnot vnitřních proměnných do určitého stavu - vnitřního stavu systému. Stav je uchováván v paměťové části, kterou čistě kombinační obvod nemá.



Obr. 3.2.1 - Schema logických obvodů

Podle způsobu činnosti se rozlišují logické obvody:

- asynchronní
- synchronní.

Asynchronní logické obvody reagují na podněty ihned. Změny hodnot výstupních proměnných nastávají tedy ve stejných okamžicích (se zpožděním, daným rychlostí obvodů), kdy nastávají změny hodnot vstupních proměnných.

U *synchronních* logických obvodů probíhají všechny změny (změny vnitřních stavů i změny výstupních proměnných) pouze v okamžicích příchodu synchronizačních impulsů na zvláštní vstup obvodu. Tím je zajištěn stejný pracovní rytmus všech částí a je vyloučen vznik hazardních stavů vlivem nestejné rychlosti různých částí obvodů. To vede ke zvýšení provozní spolehlivosti zařízení.

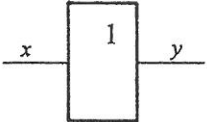
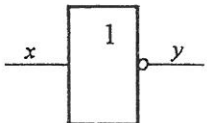
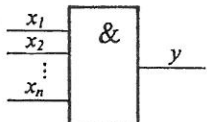
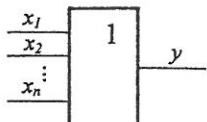
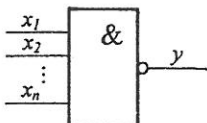
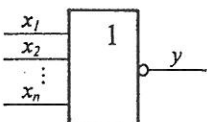
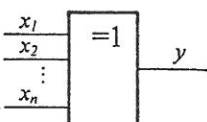
Logické obvody uskutečňují libovolné logické funkce. Teoreticky mohou mít obvody požadované vlastnosti přímo, z výrobního hlediska je však výrazně výhodnější je sestavovat ze standardních jednotek, které vykonávají základní, elementární logické funkce - z logických členů. Soubor základních logických funkcí, realizovaných logickými členy, musí umožnit sestavení libovolné výsledné funkce obvodu. Soubor těchto vlastností se nazývá úplný.

Minimální *úplný soubor logických členů* je založen na úplném souboru základních logických funkcí. Podle zákonů Booleovy algebry však lze funkce mezi sebou přepočítávat. Úplný minimální soubor logických členů může tedy vytvářet jen jediný člen, např. NAND, který umožní sestavení všech kombinačních i sekvenčních funkcí. Pro zjednodušení výsledných obvodů tvoří v praxi základní soubor (ne minimální) více členů. Funkce jsou přitom voleny tak, aby při zvoleném způsobu realizace (např. tranzistory) umožnily i nejjednodušší konstrukci členů.

Mimo kombinačních obvodů obsahuje stavebnicový soubor logických členů i vybrané *sekvenční členy*. Jsou to členy paměťové a časové. Oboje jsou též označovány jako *klopné obvody*.

Kombinační členy

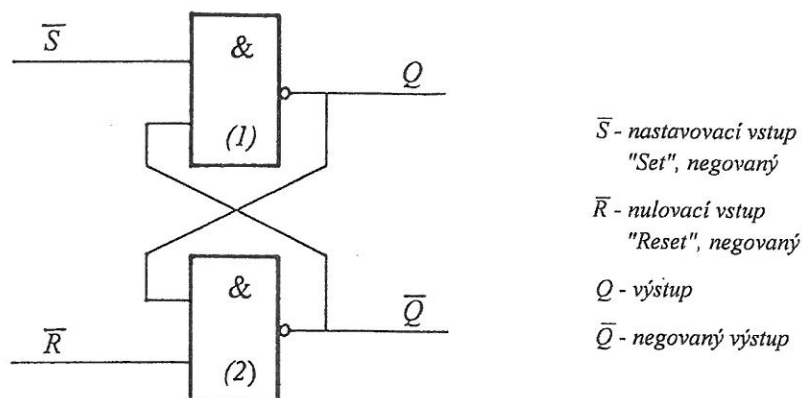
Kombinační členy realizují všechny základní funkce Booleovy algebry tj. logický součet (OR), logický součin (AND) a negace, a to pro jednu (negace a identita), dvě i více vstupních veličin. Každý člen má své označení, které umožňuje sestavení schemat zapojení obvodů.

Název členu	Funkce	Značka
opakovač	$y = x$	
negátor	$y = \overline{x}$	
AND, součinnový (2 až 4 vstupy)	$y = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$	
OR, součtový (2 až 4 vstupy)	$y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$	
NAND, Shefferův (2, 3, 4 a 8 vstupů)	$y = \overline{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$	
NOR, Pierceův (2 až 4 vstupy)	$y = \overline{x_1 + x_2 + \dots + x_n}$	
XOR, antivalence (2 až 4 vstupy)	$y = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n$	

Tab. 3.2.6 - Obvyklý úplný soubor kombinačních logických členů

Paměťové členy

Základní paměťový člen je člen RS. Jeho nejjednodušší verzi tvoří zpětnovazební propojení dvou členů NAND. Nastavovací (S - set) i nulovací (R - reset) vstupy, podle jejichž označení se člen i nazývá, jsou v této verzi negované, aktivní úroveň signálu = log 0.



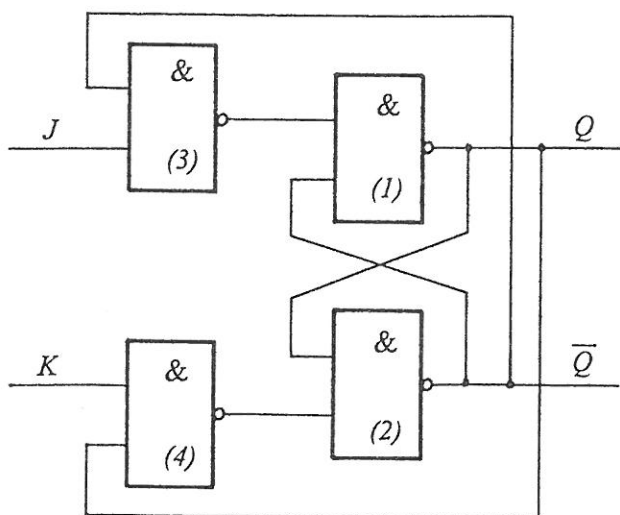
Obr. 3.2.2 - Paměťový člen (obvod) typu RS

Základní stav obvodu je $\bar{S} = 1$, $\bar{R} = 1$, $Q = 0$, $\bar{Q} = 1$. Přejde-li na vstup \bar{S} signál v podobě log 0, objeví se na výstupu prvního NAND členu Q log 1. Zpětnou vazbou se tato úroveň objeví i na prvním vstupu druhého NAND členu. Protože na jeho druhém vstupu je také úroveň log 1, změní se úroveň jeho výstupního signálu z log 1 na log 0. Tato úroveň se objeví i na druhém vstupu prvního NAND členu. Na jeho prvním vstupu zatím ale trvá signál log 0, úroveň log 1 na jeho výstupu se tedy nezmění. Po skončení signálu log 0 na vstupu \bar{S} obvodu log 0 na druhém vstupu prvního NAND členu zůstává, stav na jeho výstupu se nemění. Výsledné chování obvodu je tedy takové, že si pamatuje přítomnost vstupního signálu na vstupu \bar{S} i po ukončení jeho trvání. Přejde-li za tohoto stavu obvodu signál log 0 na jeho vstup \bar{R} , změní se stav výstupu druhého NAND členu na log 1 (na jeho prvním vstupu je log 1). Tím se tato úroveň objeví i na druhém vstupu prvního NAND členu a jeho výstup, tj. Q , se přemění na log 0. Úroveň log 0 se objeví i na prvním vstupu druhého NAND členu, který tak změní úroveň svého výstupu na log 1. V tomto stavu obvod zůstane i po skončení trvání signálu log 0 na vstupu \bar{R} . Obvod se tak vrátil do výchozího stavu, vynuloval.

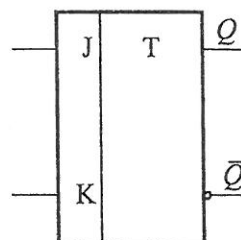
Přechodům obvodu z jednoho stavu do druhého se běžně říká *překlápění*. Podle toho se i uvedený obvod nazývá *klopný*. V každém ze svých stavů zůstává libovolně dlouho (do příchodu impulsu, vyvolávajícího opačný stav), v obou je stabilní. Obvod RS je proto *klopný obvod bistabilní*.

Obvody RS však nejsou součástí souboru sekvenčních členů. Jednak se dají jednoduše získat z dvojice kombinačních členů NAND, hlavně však zaujímají nestabilní stav v případě, že se na oba jejich vstupy dostanou signály log 0. Ty vnutí oběma výstupům současně stav log 1 (což už samo o sobě je v rozporu s jejich povahou) a tento stav skončí jedním ze stabilních stavů podle toho, který ze signálů bude mít delší dobu trvání. To je příklad hazardního chování obvodu, kterému je třeba se vyhýbat.

Vhodnější vlastnosti má obvod JK.



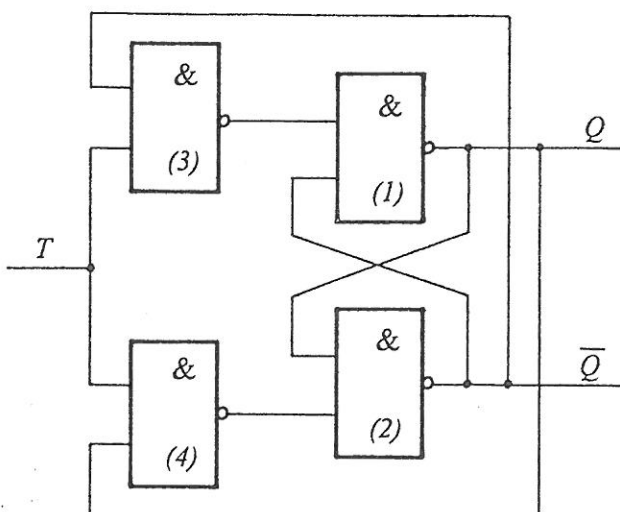
a) struktura



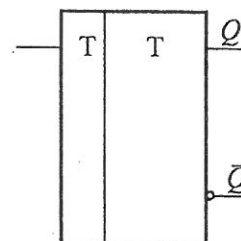
b) značka

Obr. 3.2.3 - Paměťový člen typu JK J - nastavovací vstup, K - nulovací vstup,
 Q - výstup, \bar{Q} - negovaný výstup

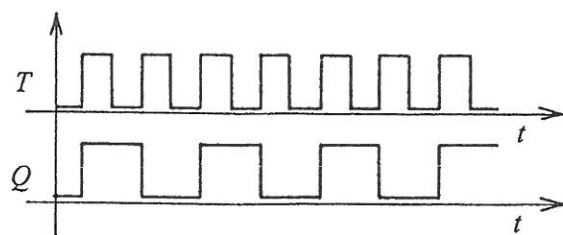
Jedná se v podstatě o obvod RS, jehož nastavovací a nulovací vstupy jsou zablokovány pomocnými NAND členy. Je-li obvod ve stavu $Q = \text{log } 0$, vylučuje tento signál výskyt úrovně log 0 na druhém vstupu druhého členu NAND. Aby se na výstupu členu (4) objevila log 0, musela by úroveň log 1 být na obou jeho vstupech, což za tohoto stavu není možné. Opačně, log 0 na \bar{Q} blokuje pomocí členu (3) příchod log 0 na první vstup členu (1). Mimo to tento obvod JK reaguje na signály o úrovních log 1, ne negované. Tento obvod již běžnou součástí souborů sekvenčních členů je. Jeho označení představuje obr. 3.2.3 b).



a) struktura



b) značka

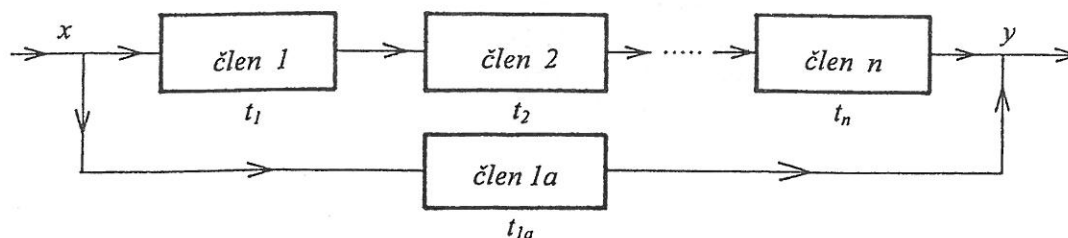


c) funkce

Obr. 3.2.4 - Člen typu T. T - nastavovací vstup, Q - výstup, \bar{Q} - negovaný výstup

Obvod typu T má tu vlastnost, že každý impuls, který přijde na jeho vstup, změní stav na jeho výstupu. Celkový počet impulsů na jeho výstupu je tedy poloviční, než na jeho vstupu - pracuje jako *dělič dvěma*. Je proto základní částí děličů a čítačů. Lze jej vytvořit z obvodu typu JK spojením obou jeho vstupů v jeden - viz předchozí obr. 3.2.3 a).

Složitější obvody obsahují řadu základních členů. Každý člen zpracovává signál daným způsobem a potřebuje na to určitou dobu - dobu průchodu signálu. Ta způsobuje zpoždění výstupního signálu vzhledem k signálu vstupnímu. Při zpracování signálu více cestami souběžně vzniká v každé cestě zpoždění, závislé na počtu členů v dané větvi a jejich době průchodu - viz obr. 3.2.5.

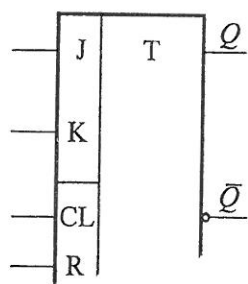


Obr. 3.2.5 - Vznik rozdílného zpoždění signálů

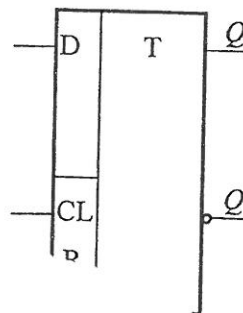
Mají-li větve spolupracovat, je nutné, aby se na jejich koncích vyskytovaly žádané signály v žádaný časový okamžik. To lze nejpřesněji zajistit *synchronním způsobem práce* všech členů. Členy nezpracovávají vstupní signály (= údaje) v okamžiku jejich příchodu na vstupy, ale až v okamžiku příchodu jednotného *synchronizačního impulsu* na *zvláštní vstup*. Impulsy se podle jejich synchronizační funkce nazývají též hodinové a stejně je označen i jejich vstup - CL - *clock*, *hodiny*. Frekvence synchronizačních impulsů může být nejvýše taková, aby doba průchodu nejpomalejším členem byla kratší, než doba mezi dvěma následujícími synchronizačními impulsy. Tím je zajištěno, že v době příchodu impulsu budou již údaje jednotlivými členy zpracovány a budou připraveny na vstupech dalších členů k následné operaci. Složitější, hlavně sekvenční členy již samy obsahují více prvků, které zpracovávají signál postupně. Ty potom pracují na několik synchronizačních impulsů a podle toho rozeznáváme *obvody jedno-, dvoj-, tří- nebo vícefázové*. Není-li synchronní pracovní režim nutný, lze synchronizační část členů nevyužívat. Opačný postup, tj. synchronizovat práci asynchronního členu, však většinou možný

není. Úplný soubor logických členů se proto skládá z členů asynchronních (jednodušší, kombinační členy) a synchronních (ostatní). Asynchronní a synchronní členy jinak stejné funkce se v souborech nevyskytují.

Správnou práci sekvenčních obvodů podmiňuje jejich jednoznačný *počáteční stav*. Po zapnutí zařízení (po ustálení poměrů), ale i při jeho práci může vzniknout situace, kdy je třeba počáteční stav obvodů nastavit nebo obnovit. Tomu slouží *zvláštní vstupy* těchto obvodů, označené *S* a *R* (Set a Reset). Signály, přivedené na tyto vstupy, mají před všemi ostatními přednost a nepodléhají režimu synchronizace.



a) člen typu JK



b) člen typu D

Obr. 3.2.6 - Synchronní členy

Člen D je vlastně synchronní podobou opakovače. Na jeho výstupu *Q* se objeví si shodné úrovně jako na vstupu, ovšem až v okamžiku příchodu synchronizačního impulsu. Do té doby trvá předchozí stav. Tento člen je základní součástí registrů.

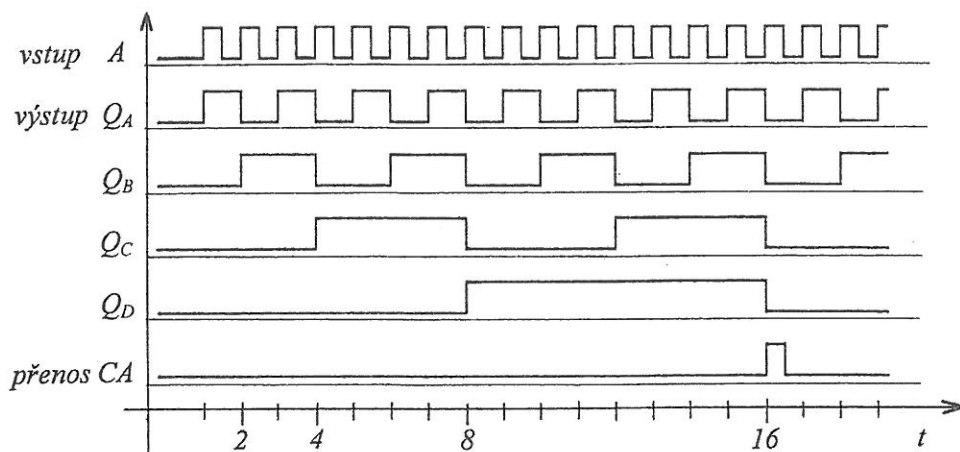
Složitější paměťové obvody souboru logických členů, už zmíněné čítače, registry, převodníky kódů a další se z uvedených RS, JK, T a D, ale i kombinačních členů skládají. Vlastní zapojení těchto členů je věcí jejich vnitřní struktury. Z hlediska uživatele jdou podstatnější jejich vlastnosti a funkce.

Čítače jsou obvody, které mění stav svých výstupů postupně s impulsy, přicházejícími na jejich vstup. Stav výstupů tak vytváří ve dvojkové soustavě číslo, udávající počet impulsů, které se na vstupu objevily od výchozího stavu obvodu. Počet výstupů udává počet bitů výstupního slova. Nejrozšířenější základní obvody čítačů jsou čtyřbitové.

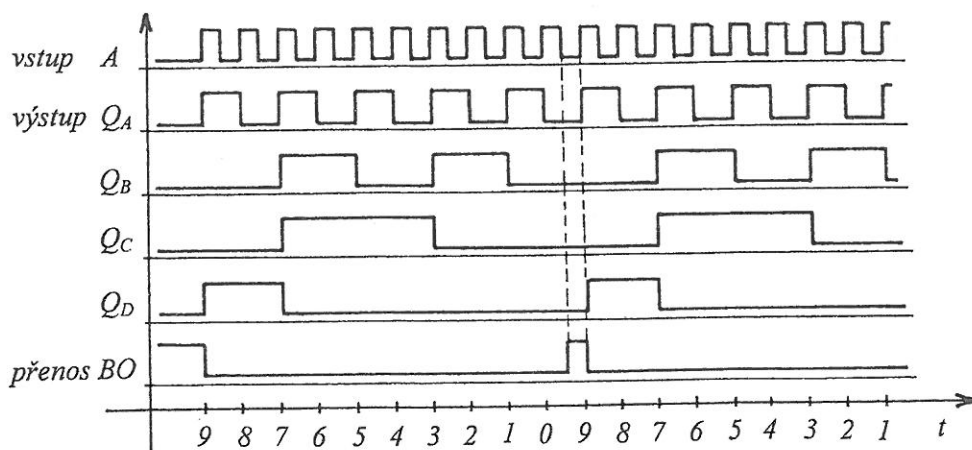
Počet bitů je určující pro nejvyšší číslo, které je čítač schopen udávat nebo na které je nastaven. Nejběžnější čítače jsou *dvojkové*. Ty využívají všechny stavy svých výstupů. Nejvyšší číslo, do kterého může dvojkový čtyřbitový čítač čítat je $16 = "F"$ - jeden řád hexadecimální soustavy. *Desítkové* čítače, užívané hlavně pro potřeby práce s čísly v dekadické soustavě, se po dosažení stavu 9 vrací do nuly a čítají znovu - viz obr. 3.2.7.

Směr čítání. Postupuje-li čítač při čítání od nuly do nejvyšší hodnoty, je dopředný, čítá-li od nejvyšší hodnoty do nuly, je zpětný. Obousměrné čítače umožňují čítání vpřed i vzad. Pro každý směr čítání má obvod samostatný vstup impulsů.

Přenos je signál v podobě impulsu, který se objeví na zvláštním výstupu v okamžiku zaplnění čítače, tj. kdy čítač přechází z nejvyššího stavu do nuly při čítání vpřed nebo z nuly do nejvyššího stavu při čítání vzad. Připojením přenosu na vstup dalšího čítače lze získat další dekadický nebo hexadecimální řád (= 4 řády binární). U vratných čítačů jsou tyto výstupy samostatné pro přenos nahoru (pro čítání vpřed) i dolů (pro čítání vzad).



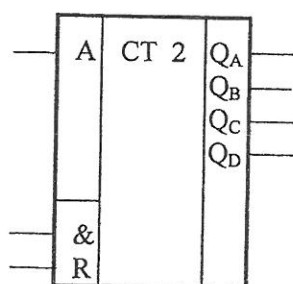
a) čítání vpřed - dvojkový čítač



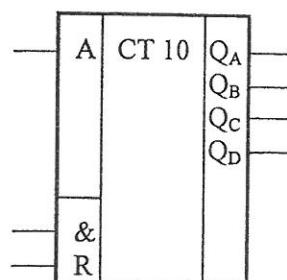
b) čítání vzad - desítkový čítač

Obr. 3.2.7 - Princip čítání

Předvolba umožňuje nastavit výchozí stav výstupů (= číslo, od kterého čítání začne). Nastavuje se vstupy předvolby, jejichž počet je stejný jako počet výstupů. Stav vstupů předvolby se na výstupy přenesou v okamžiku příchodu signálu na zvláštní vstup "nastavení předvolby".

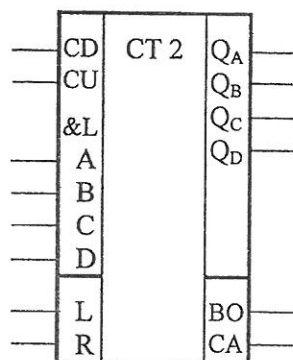


a) dvojkový čítač



b) desítkový čítač

Obr. 3.2.8 - Základní provedení čítačů



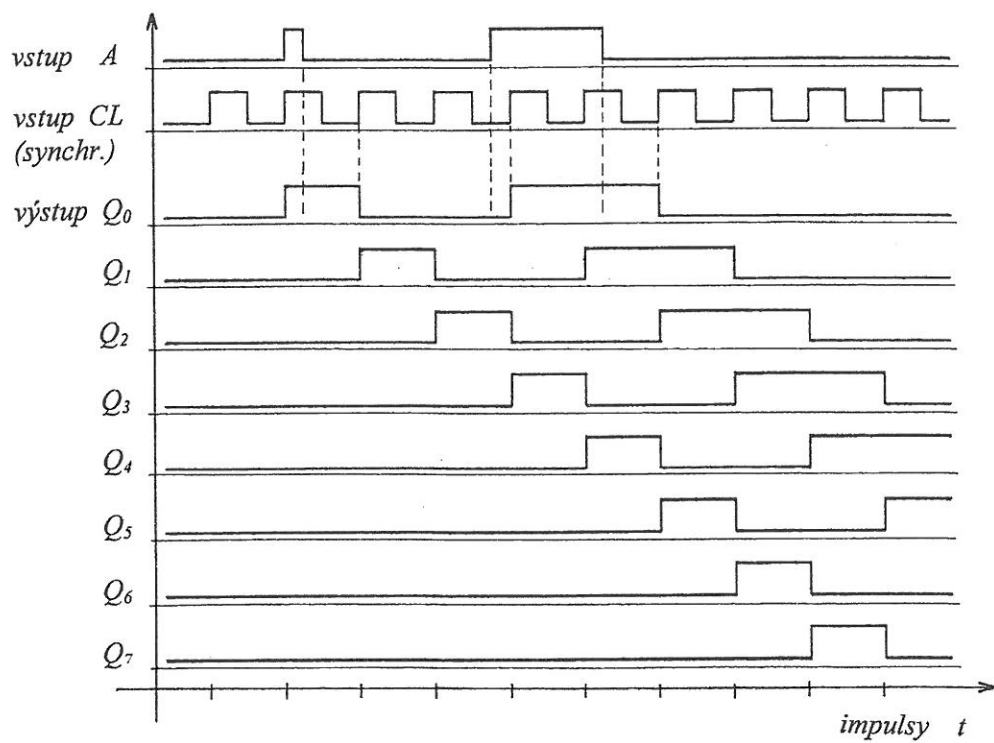
CD - vstup čítání zpět (count down)
CU - vstup čítání vpřed (count up)
A, B, C, D - vstupy předvolby
L - nastavení předvolby
R - vstup nulování
QA, QB, QC, QD - výstupy
BO - výstup přenos dolů
CA - výstup přenos nahoru

Obr. 3.2.9 - Binární vratný čítač s předvolbou a nulováním

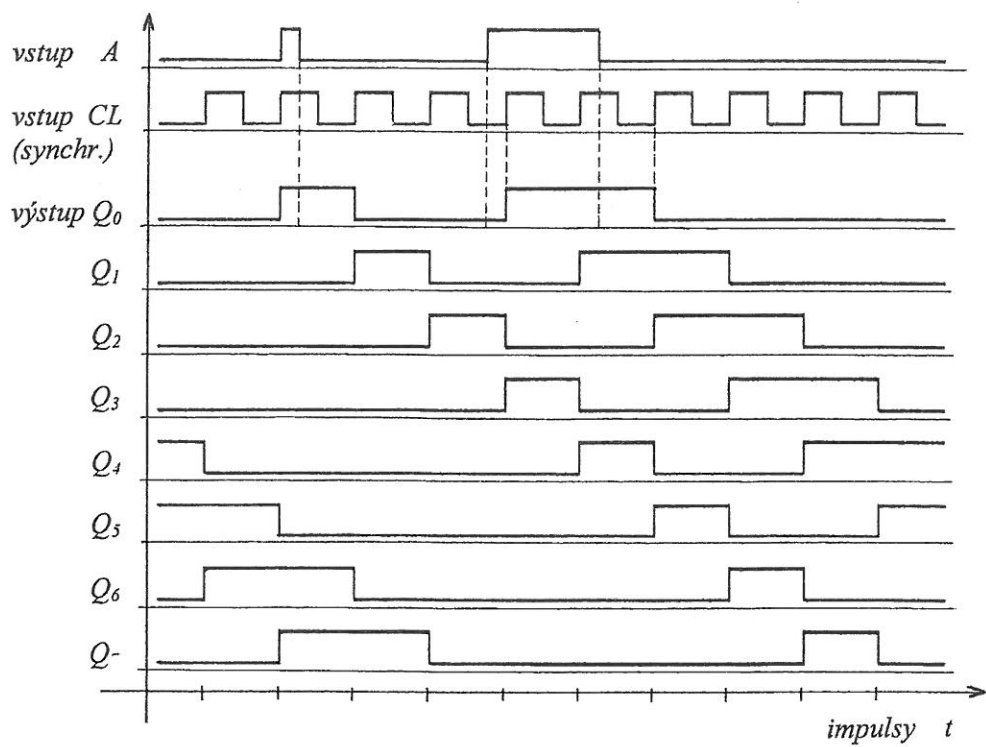
Registry jsou obvody, které stav na svém vstupu přenesou v okamžiku příchodu synchronizačního impulsu na svůj první výstup (zaregistrují ho) a s příchodem dalších synchronizačních impulsů tento stav posouvají postupně po jednotlivých výstupech.

Posuvný registr stav log I (= informaci) po posunu z posledního výstupu ztrácí. *Kruhový registr* přenáší informaci zpět na první vstup - informace tak krouží po výstupech až do doby, kdy je vynulována signálem na zvláštním nulovacím vstupu. Každý typ registru lze kdykoliv celý vynulovat signálem R (reset).

Registry mohou být vybaveny nastavovacím vstupem pro paralelní zadání výchozího stavu obdobně, jako čítač na obr. 3.2.9. Jejich pomocí lze např. převádět paralelní signál na sériový a pod.

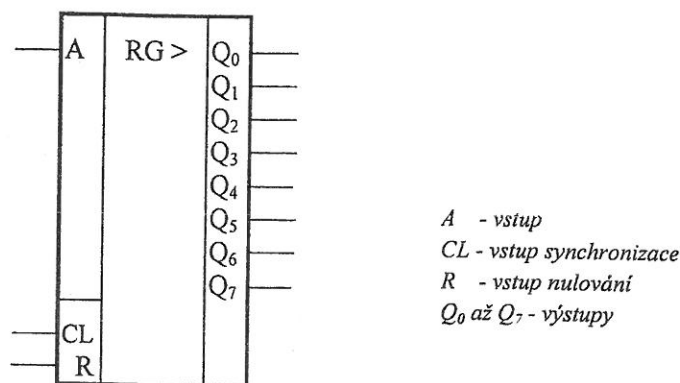


a) posuvný registr



b) kruhový registr

Obr. 3.2.10 - Princip činnosti registrů



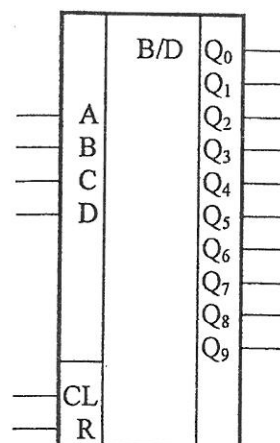
Obr. 3.2.11 - Posuvný registr 8 bitů s nulováním

Převodníky kódů převádí signál z jedné formy, ve které je, na jinou, která je pro danou operaci vhodnější. Podle směru převodu se dělí na *kodéry* a *dekodéry*. Jako příklad lze použít výše uvedený posuvný registr. Může být základní částí převodníku signálu z paralelního kódu, který je vhodný k rychlému zpracování údajů na kód sériový, vhodný k přenosu po vedení. Na přijímací straně může jako dekodér sloužit čítač (zjednodušeně).

Při zobrazování údajů je převod kódů nutný téměř vždy. Hexadecimální signál je nutno převést na jednotlivé řády dekadické soustavy (tj. na kód BCD - binary coded decimal, 8421), kód BCD je třeba upravit podle typu zobrazovací jednotky. Pro digitrony na kód 1 z 10 (každé číslici odpovídá jedna svítící anoda), pro sedmisegmentové displeje na kód sedmisegmentového displeje (číslici zobrazuje 2 až 7 segmentů). Pro převodník BCD/1 z 10 platí následující funkční tabulka:

Vstupy				Výstupy
A	B	C	D	(ve stavu I)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	2
1	1	0	0	3
0	0	1	0	4
1	0	1	0	5
0	1	1	0	6
1	1	1	0	7
0	0	0	1	8
1	0	0	1	9
0	1	0	1	žádný
1	1	0	1	žádný
0	0	1	1	žádný
1	0	1	1	žádný
0	1	1	1	žádný
1	1	1	1	žádný

a) funkční tabulka

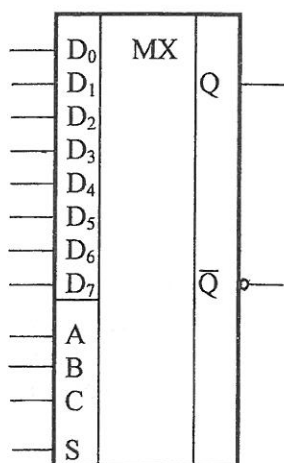


b) značka

Obr. 3.2.12 - Převodník kódu BCD na 1 z 10

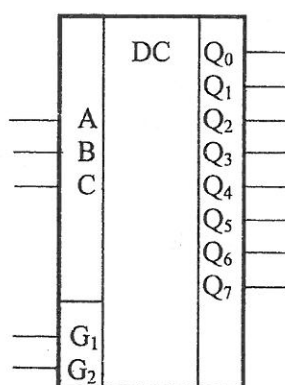
Kodéry a dekodéry mohou být obvody kombinační (předchozí) i sekvenční různého stupně složitosti. Pro nejpoužívanější typy převodů jsou v souboru logických členů převodníky v podobě integrovaných obvodů.

Multiplexory slouží k postupnému přepínání více signálů na jednu přenosovou cestu. Signál se volí adresou na adresovacích vstupech, adresa je aktivována přítomností signálu na vybavovacím vstupu. Demultiplexory jsou určeny k opaku - přepínání signálu z jedné přenosové cesty na původní počet nebo různá místa. Principiálně je demultiplexor shodný s převodníkem kódu BCD na 1 z n (zde 1 z 8).



D_0 až D_7 - vstupy dat
 S - vybavovací vstup
 Q - výstup
 A, B, C - adresovací vstupy

a) multiplexor



G_1, G_2 - vybavovací vstupy
 Q_0 až Q_7 - výstupy
 A, B, C - adresovací vstupy

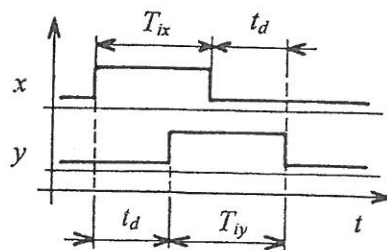
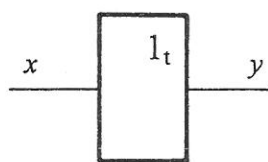
b) demultiplexor

Obr. 3.2.13 - Osmikanálový multiplexor a demultiplexor

Časové členy

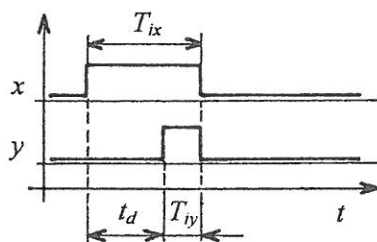
Časové členy mají svůj výstupní signál závislý na čase. Rozdělují se do dvou základních skupin podle toho, je-li časem vymezena doba trvání jednoho nebo obou stavů jejich výstupních signálů.

Monostabilní klopné obvody mají jeden stav (0 nebo 1) svého výstupního signálu stabilní, ve kterém v klidovém stavu setrvávají, druhý je časově omezený a dostávají se do něj příchodem vstupního impulsu. Používají se pro posunutí (zpoždění) začátku nebo konce vstupního impulsu (případně obojího) nebo úpravu doby jeho trvání.

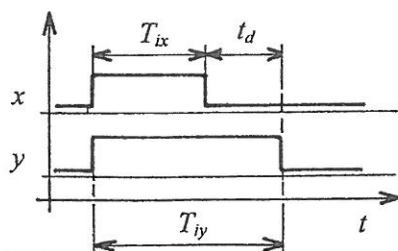


x - vstupní signál T_{ix} - doba trvání (délka) vstupního impulsu
 y - výstupní signál T_{iy} - doba trvání (délka) výstupního impulsu
 t_d - doba zpoždění (time delay)

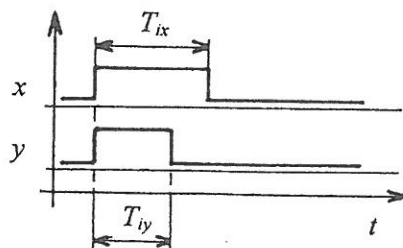
- a) zpoždění impulsu (začátku i konce), délka impulsu je zachována. Při zpoždění delším než doba trvání impulsu záleží na provedení obvodu, zůstane-li délka výstupního impulsu zachována nebo se výstupní impuls neobjeví vůbec.



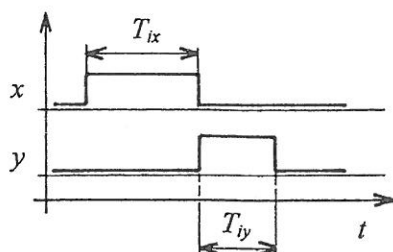
- b) zpoždění začátku výstupního impulsu o zvolenou hodnotu, konec je shodný se vstupním. Je-li vstupní impuls kratší než zpoždění, impuls na výstupu se neobjeví vůbec.



- c) zpoždění konce výstupního impulsu o zvolenou hodnotu, začátek je shodný se vstupním.



- d) výstupní impuls zvolené délky, začátek je shodný se začátkem impulsu vstupního (zapínací impuls). Vstupní impuls může být kratší nebo delší než výstupní.



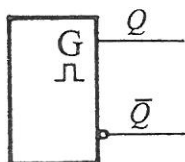
x - vstupní signál T_{ix} - doba trvání (délka) vstupního impulsu
 y - výstupní signál T_{iy} - doba trvání (délka) výstupního impulsu

- e) výstupní impuls zvolené délky, začátek je shodný s koncem impulsu vstupního (vypínací impuls). Vstupní impuls může být kratší nebo delší než výstupní.

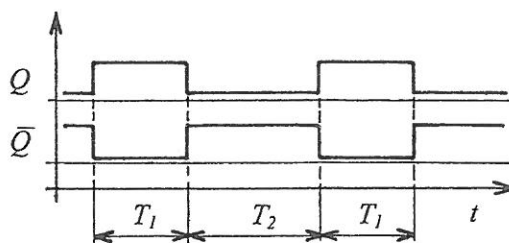
Obr. 3.2.14 - Příklady monostabilních klopných obvodů a jejich vlivu na výstupní signál

Z monostabilních klopných obvodů lze vytvářet zapojení, upravující výstupní signál prakticky libovolným způsobem. Jako samostatné konstrukční jednotky (nejen elektrické) jsou známé pod názvem *časové relé*. Doby zpoždění nebo trvání výstupního signálu lze u nich většinou v širokých mezích uživatelsky nastavovat.

Astabilní klopný obvod je člen, který nemá stabilní žádný ze svých stavů. Překlápí se z jednoho do druhého samovolně, bez vstupního signálu. Pracuje jako generátor impulsů, jejichž kmitočet a střída (= poměr doby trvání signálu hodnoty log 0 a log 1) lze opět nastavovat. Často se nazývá *multivibrátor*.



a) označení



b) funkční diagram

T_1 - doba trvání log 1, T_2 - doba trvání log 0, T_1/T_2 - střída signálu

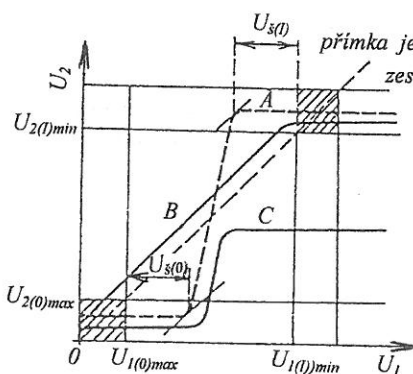
Obr. 3.2.15 - Astabilní klopný obvod

Vlastnosti logických členů

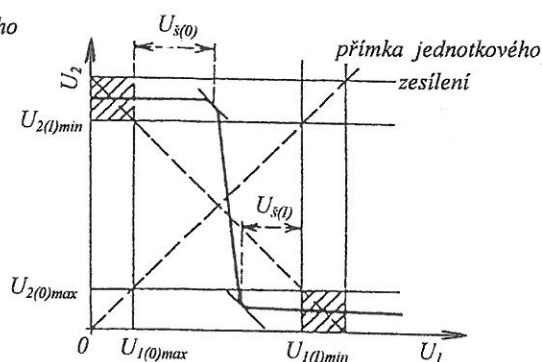
Z fyzikálního hlediska jsou na logické členy kladeny následující základní požadavky:

a) úroveň signálu

Člen musí být schopen zpracovávat vstupní signál, jehož hodnoty odpovídají $\log 0$ a $\log 1$. Tyto úrovně jsou na obr. 3.2.16 označeny $U_{1(0)}$ a $U_{1(1)}$. Hodnoty pro $\log 0$ se pohybují v rozmezí 0 až $U_{1(0)\max}$, pro $\log 1$ v rozmezí $U_{1(1)\min}$ až $U_{1(1)\max}$. Ve stejných úrovních se musí pohybovat i hodnoty výstupních signálů. Jsou označeny $U_{2(0)}$ a $U_{2(1)}$ a i pro ně platí rozmezí 0 až $U_{2(0)\max}$ pro $\log 0$ a $U_{2(1)\min}$ až $U_{2(1)\max}$ pro $\log 1$. Člen opakovačového typu zachovává úroveň výstupního signálu shodně se signálem vstupním ($\log 0 \rightarrow \log 0$, $\log 1 \rightarrow \log 1$), člen negátorového typu úroveň obrací ($\log 0 \rightarrow \log 1$, $\log 1 \rightarrow \log 0$).



a) člen opakovačového typu



b) člen negátorového typu

Obr. 3.2.16 - Převodní charakteristiky logických členů

b) výkon

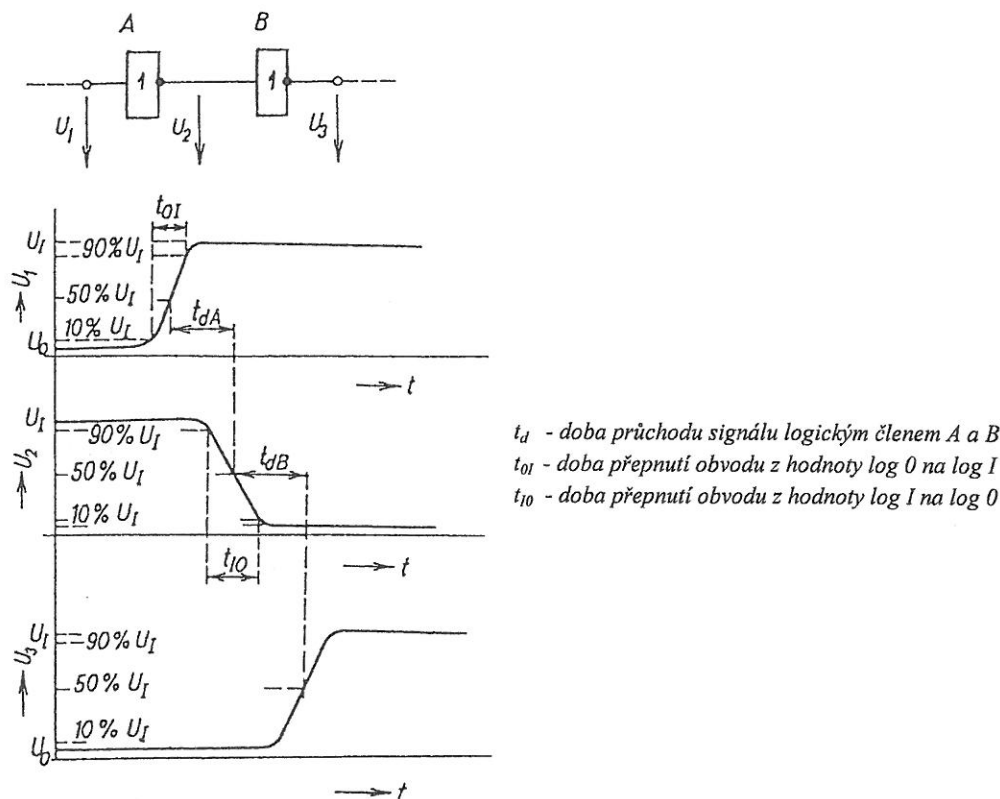
Logické členy se musí dát jednoduše řadit kaskádně, tj. výstup jednoho členu se musí dát jednoduše připojit na vstup členu druhého. Mimo odpovídajících úrovní signálu musí být k dispozici výkon, dostatečný k uvedení do činnosti více následných členů. Vyjadřuje se buď v absolutní hodnotě (např. ve wattch) nebo relativně jako poměr $P_{\text{výst}}/P_{\text{vst}}$ ($P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$). Ten udává, kolik členů standardního typu lze na daný logický člen současně napojit, aniž by úroveň signálu klesla vlivem zatížení pod kritickou mez. U běžných obvodů bývá 10, u výkonových 30. Často se též označuje jako *logický zisk*.

c) tvarování signálu

Tvarování signálu (kvantování) je zřetelné rozlišení hodnoty signálu, odpovídajícího $\log 0$ od hodnoty, odpovídající $\log 1$. Aby logický člen byl schopen tvarování, musí mít v rozmezí úrovní vstupního signálu $U_{1(0)\max}$ až $U_{1(1)\min}$ zesílení větší než jedna, mimo tyto úrovně musí mít zesílení menší než jedna. Převodní charakteristika je tak značně nelineární - viz obr. 3.2.16.

d) rychlost

Rychlost práce logického obvodu je dána dobou průchodu signálu logickým členem ze vstupu na výstup při změně logických hodnot signálu (signálů). Průběhy přechodových jevů a charakteristické doby jsou znázorněny na obr. 3.2.17. Doby průchodu signálů ani doby přepnutí nemusí být v obou směrech změny shodné.



Obr. 3.2.17 - Přechodové děje při změně hodnot signálů logického členu negátorového typu.

e) šumová imunita

Šumová imunita je odolnost proti rušivým signálům. Podle místa působení těchto signálů rozlišujeme šumovou imunitu:

- *vstupní* - signál i šum působí na vstupu členu (rušivé úrovně v signálu)
- *napájecí* - rušení působí v místě napájení (např. nestabilita napájení)
- *zemnicí* - šum působí v místě zemnění (např. zemnicí smyčky) - jen u elektrických obvodů

Vstupní šumová imunita je nejkritičtější. Může být dvojího druhu:

- *statická* - (stejnoseměrná) udává odolnost vůči stabilním nebo periodickým rušivým signálům (změna hladiny signálu, kvazistacionární šum). Posuzuje se podle statické šumové meze (na obr. 3.2.16 označeno jako $U_{s(0)}$, $U_{s(1)}$). Je to maximální hodnota rušivého signálu kterou lze přičíst k maximální hodnotě vstupního signálu, odpovídající log 0 ($= U_{1(0)\max}$) nebo odečíst od minimální hodnoty vstupního signálu, odpovídající log 1 ($= U_{1(1)\min}$), aniž by došlo k chybné funkci členu. Závisí na zatížení výstupu. Se vzrůstajícím zatížením (počtem vstupů dalších připojených členů) se zmenšuje statická šumová mez pro log 1 a zvyšuje se pro log 0.

- *dynamická* - (střídavá) udává odolnost proti krátkodobým rušivým signálům impulsového charakteru. U těchto impulsů záleží na jejich úrovni (amplitudě) a délce (době trvání). Vyjadřuje se nejčastěji křivkou, udávající dynamickou šumovou mez v závislosti na obou těchto veličinách. Je-li třeba ji charakterizovat konstantou, potom se udává minimální šumový náboj nebo minimální šumová energie.

Mimo uvedených vlastností je při návrhu libovolného provozního zařízení třeba brát v úvahu další požadavky. K nim patří životnost prvků a obvodů, spolehlivost, nároky na energii, nároky na údržbu a provoz, opravitelnost, hmotnost, nároky na prostor, pořizovací náklady, provozní náklady a další.

L i t e r a t u r a :

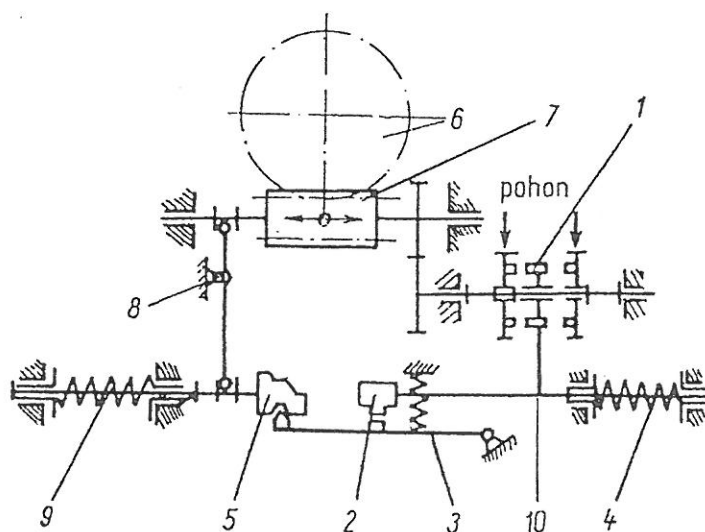
- Švec, J. a kol. : Příručka automatizační a výpočetní techniky,
SNTL Praha 1974
- Kolektiv : Konstrukční katalog polovodičových součástek TESLA,
díl Logické integrované obvody,
TESLA Rožnov pod Radhoštěm, 1983
- Makovíny, I. : Elektronické prvky a obvody,
TU Zvolen 1994

Řídící systém je technickou realizací algoritmu řízení. Pro členění následujícího přehledu je proto zvoleno hledisko jeho technického provedení.

M e c h a n i c k é s y s t é m y

D o r a z y

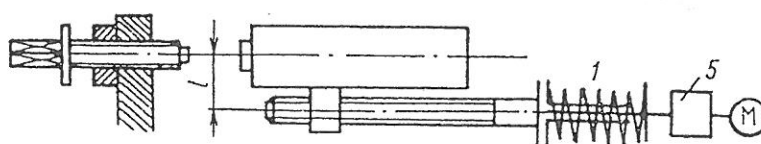
Dorazy vymezují dráhu pohybu řízeného členu, například suportu nebo stolu stroje, pohybujícího se po vedení lože. Funkce dorazu je většinou spojena se zařízením vypínajícím posuv. Základní princip spočívá ve zvýšení posuvové síly při najetí na doraz. Tím se přeruší předepjaté spojení (např. pružinou) s pohonem posuvů a suport zůstává v klidu.



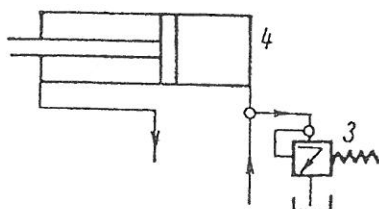
Obr. 3.3.1 - Řízení pohonu suportu pohybovým šroubem při vymezení polohy suportu dorazy

Pohon pohybového šroubu na obr. 3.3.1 je řešen šnekovou převodovkou. Směr vpřed nebo vzad se řadí spojením hřídele s jedním z volně a protisměrně se otáčejících kol posunutím objímky (1) vpravo nebo vlevo na drážkované hřídeli. Objímka je ovládána řadící pákou (10), kterou ve střední neutrální poloze udržuje pružina (4) - poloha na obrázku. Posuvem řadící páky vpravo nebo vlevo současně zapadne závěr (2) a polohu páky tak aretuje. Při najetí suportu na doraz se šnekové kolo (6) zastaví a šnek (7) se dalším působením posuvu posune vpravo nebo vlevo. Páka (8), zapadající do objímky šneku, posune svým druhým ramenem řadič (5), udržovaný ve střední poloze pružinou (9). Ten tak vytlačí ze svého úkosu břit páky (3). Vychýlením páky (3) proti síle její přídržné pružiny se uvolní i závěr (2), řadící páka (10) se vrátí do střední polohy a vysune objímku (1) ze záběru. Pohon je tím odpojen.

Vypínání se volí podle druhu pohonu. Rotační motory mají často zařazenu pojistnou spojku, elektromotory lze vypínat nadproudovou ochranou. V hydraulických obvodech po dosažení mezí polohy členu výrazně stoupne tlak. Před poškozením je chráněn tlakový přepouštěcí ventil, případně lze vypínat čerpadlo tlakovým spínačem.



a) elektromotorem s třecí spojkou



b) hydraulickým válcem s přepouštěcím tlakovým ventilem

Obr. 3.3.2 - Pohony členu, řízeného dorazy

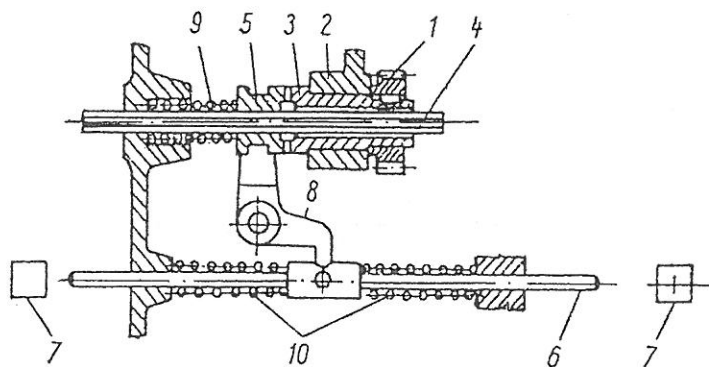
Dorazy mohou být *pevné* nebo *přestavitelné*. Přestavitelné zvyšují adaptabilitu stroje a proto jsou častější, alespoň na jednom konci dráhy pohyblivé části stroje.

Přesnost dosažené polohy řízeného členu závisí na tuhosti dorazu. Ve srovnání s ručním nastavením polohy se projeví určité posunutí v důsledku napružení vlivem síly najetí na doraz. To může způsobit i trvalou deformaci - otlačení. Nepřesnost vzrůstá naklápěním saní, neleží-li osa dorazu v těžnici vedení. Velikost klopného momentu je určena velikostí ramene l (viz obr. 3.3.2 a). Vliv obojího může snížit přitlačování řízeného členu k dorazu ne plnou, ale redukovanou silou. Při opakovaném nastavování vzniká určitý rozsah hodnot polohy, způsobený rozptylem kroutícího momentu spojky a rozptylem třecí síly.

Řízením pomocí dorazů lze přesto dosáhnout vysokou přesnost nastavení ($\approx \pm 0,005$ mm) a minimální rozptyl polohy členu. Používá se proto ve spojení s nárazkovým nebo číslicovým řízením v případech, kdy přesnost najetí polohy není uvedenými způsoby dosažitelná. Nevýhodou je poměrně obtížné a časově náročné nastavování dorazů. Proto se tento typ řízení uplatňuje převážně u jednoúčelových strojů, určených pro hromadnou a velkosériovou výrobu.

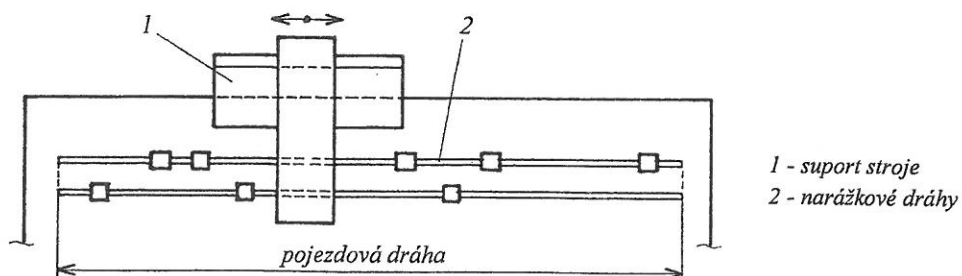
Narážky

Narážky představují jeden z nejčastěji používaných mechanizačních a automatizačních prostředků. Na rozdíl od dorazů nevymezují krajní polohy, ale při jejich přejíždění řízeným členem (suportem stroje) pohybují nějakým prvkem, se kterým tvoří ovládací nebo řídicí ústrojí. Narážky plní ovládací funkci v závislosti na dráze nebo poloze členu. Funkce přitom může být vybavena mechanicky (páčka), elektricky (koncový spínač), hydraulicky, pneumaticky (ventil) i kombinovaně.



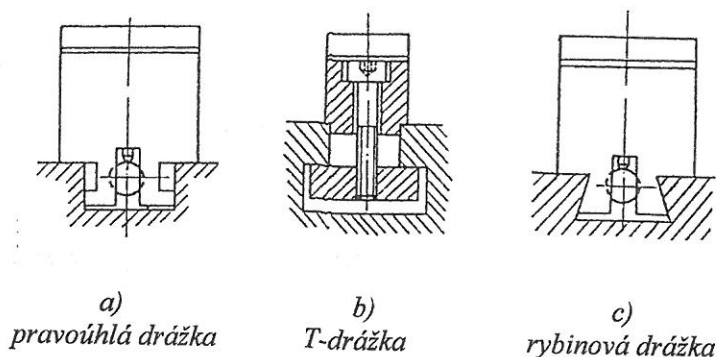
Obr. 3.3.3 - Mechanický způsob vypínání pohonu saní pomocí nárážkami ovládané spojky

Příklad čistě mechanického nárážkového systému je znázorněn na obrázku 3.3.3. Tyč (6) je umístěna na saních a ve své základní poloze je udržována pružinou (10). Najede-li při pohybu vlevo nebo vpravo na jednu z nárázek (7), posune se a vytlačí břit pravého ramene páky (8) ze zářezu. Horní její rameno se tím pohne vlevo a vysune unášivou objímku (5) třecí lamely spojky ze záběru s protikusem (3), který je na volném pouzdru (2) poháněném ozubeným kolem (1). Tím se pohon přeruší a pohyb saní zastaví. Po ručním odsunutí saní vypínací tyč (6) odlehne od nárážky (7) a spojka pomocí pružiny (9) samočinně zapne. Nevýhodou mechanismu je vysouvání spojky při záběru. To vyžaduje určitou sílu, jejímž účinkem se deformuje vysouvací mechanismus. Deformace způsobuje opožďování vypnutí a tím snížení přesnosti zastavení saní.



Obr. 3.3.4 - Rozmístění nárážek na dráze

Narážky mohou být umístěny na nepohyblivé dráze nebo na pohyblivém suportu stroje. Upevňovány jsou zpravidla v *narážkových lištách*. Lišta může obsahovat několik drah, ve kterých jsou stavitelné nárazky rozmístěny v místech odpovídajících požadované funkci. Na následujícím obrázku jsou znázorněny nejčastěji používané druhy nárazkových drah. Cílem všech variant je spolehlivé upevnění nárazky a jednoduchá změna její polohy při přestavování stroje.

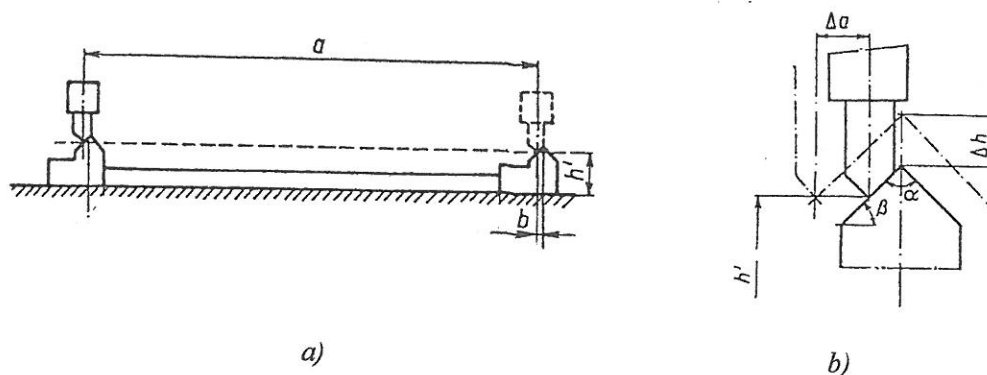


Obr. 3.3.5 - Běžné druhy nárazkových drah

Přesnost místa vybavení požadované funkce (vypnutí posuvu, změna rychlosti a pod.) závisí na mnoha činitelích:

- přesnosti umístění nárazek
- době přenosu signálu z ovládacího do řídicího ústrojí
- době zpracování signálu
- přesnosti ovládacího ústrojí
- dynamických vlastnostech soustavy.

Poloha nárazek není přesně shodná s požadovaným místem vybavení dané funkce - záleží na rozměrech a tvaru nárazky. Poměry vysvětluje následující obrázek:



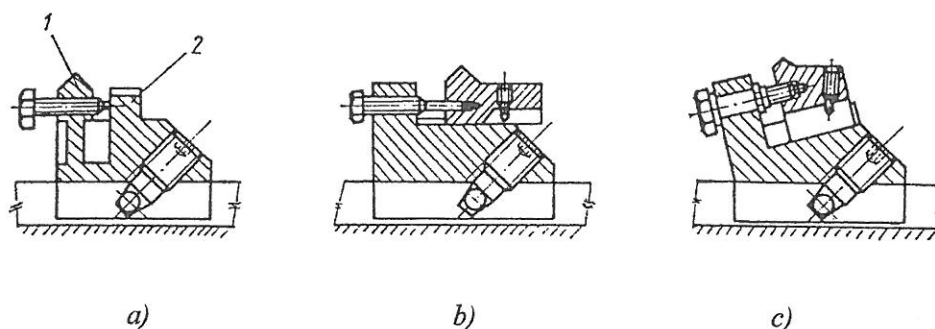
Obr. 3.3.6 - Nastavení polohy nárazek.

a - požadovaná vzdálenost poloh suportu, *a'* - rozteč nárazek, *h'* - úroveň spínání koncových spínačů, *b* - vzdálenost mezi břítem nárazky a místem sepnutí koncového spínače, *Δh* - případný výškový rozdíl nárazek, *Δa* - rozdíl v místě spínání

Čím větší je úhel β , tím menší je odchylka místa spínání Δa , ale tím větší je namáhání nárazky a zdvihátka koncového spínače ve směru posuvu řízeného členu. Bez ohledu na opotřebení obou členů určuje mezní hodnotu vrcholového úhlu nárazky α součinitel kluzného tření f

$$\alpha \geq \alpha_{krit} = 2\varphi, \quad \text{kde } \varphi = \arctg f.$$

Přesnost umístění nárazek v drahách je obzvláště při jejich vyšším počtu obtížná. Provedení podle následujícího obrázku umožňuje základní nastavení nárazky běžným způsobem, přesné nastavení pracovní části se provádí polohovým šroubem.



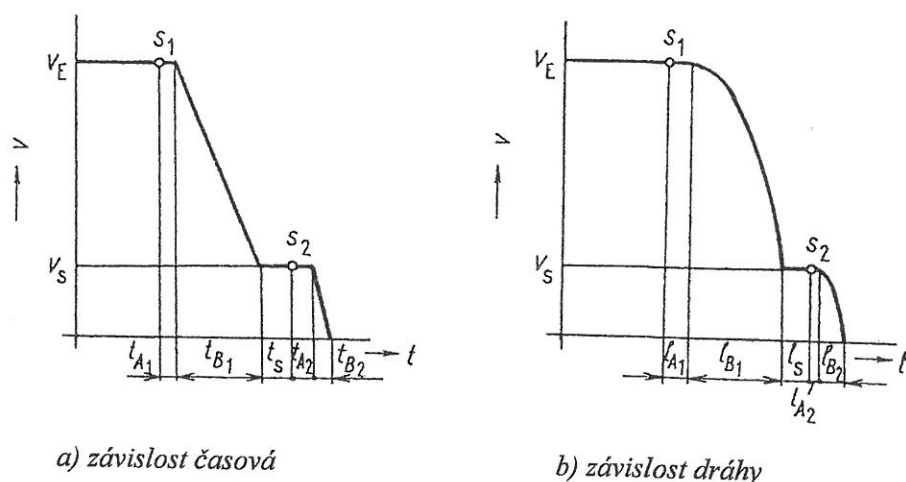
Obr. 3.3.7 - Provedení nárazek se stavitelnou pracovní částí

V provedení *a*) je pracovní břit (1) do přesné polohy napružen nastavovacím šroubem rozepršením o tuhé tělo nárazky (2), provedení *b*) umožňuje vodorovné, *c*) i výškové nastavení samostatně pohyblivé části a zajištění její polohy aretačním šroubkem. Nevýhodou nárazek těchto a obdobných konstrukcí jsou však jejich větší rozměry.

Dobu přenosu signálu z ovládacího do řídicího ústrojí a dobu zpracování signálu určuje typ a provedení řídicího systému. Čistě mechanické systémy patří k nejpomalejším. Na dobu přenosu a zpracování signálu má u nich vliv hlavně počet pohyblivých součástí, přesnosti jejich provedení a nastavení, stupeň opotřebení, ale i použité materiály, přesnosti výroby a další. Menší počet prvků vykazují většinou hydraulicko - mechanické a pneumaticko - mechanické systémy. Tím je dána i nižší náročnost na nastavení, nižší opotřebení, vyšší přesnost a rychlost přenosu. Při větších vzdálenostech snímacích a akčních členů je však i s tou třeba počítat. Elektromechanické systémy jsou většinou nejrychlejší. K jejich nejpomalejším prvkům patří kontaktní spínače. Proto je se zpožděním a jeho vlivem na přesnost polohy třeba počítat hlavně u reléových automatů. Elektronické obvody, pokud jsou kombinovány s nárazkovými systémy, jsou většinou o několik řádů rychlejší než řízené mechanické prvky stroje a technologické rychlosti výroby a proto se jejich vliv většinou neprojevuje. Obdobné vlastnosti vykazují jmenované systémy i z hlediska přesnosti ovládacího ústrojí.

Dynamické vlastnosti soustavy určují hlavně hmotnosti pohybujících se částí (zařízení i dopravovaných nebo obráběných materiálů), výkony pohonů a brzdových systémů, vůle, tuhost konstrukce a pod.

Vliv všech jmenovaných parametrů na celkovou přesnost nastavení žádané polohy lépe objasňuje obr. 3.3.8 na následující stránce.



Obr. 3.3.8 - Průběh nastavování polohy při dvojstupňovém řízení rychlosti posuvu

V bodě S_1 je nastavena první nárážka, přepínající pohon z rychloposuvu (rychlost v_E) na pomalý posuv (rychlost v_S), v bodě S_2 je druhá nárážka, vypínající pohon úplně. Po dosažení první nárážky přepíná systém z rychlého na pomalý posuv dobu t_{A1} . Tuto dobu tedy suport ještě pokračuje rychloposuvem a urazí vzdálenost $l_{A1} = v_E \cdot t_{A1}$. Po přepnutí následuje doba brzdění z v_E na v_S , označená t_{B1} . Té odpovídá vzdálenost l_{B1} . Dobu t_S se řízený člen pohybuje pomalým posuvem k nárážce v bodě S_2 , urazí vzdálenost l_S . Od bodu S_2 trvá systému dobu t_{A2} , než skutečně posuv vypne. Rychlost se tedy po tuto dobu nezmění a člen urazí dráhu l_{A2} , než skutečně brzdění na nulovou rychlost, které trvá dobu t_{B2} a představuje vzdálenost l_{B2} .

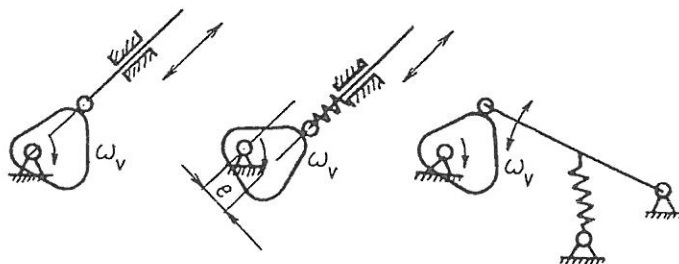
Probíhá-li zpomalení z rychlého na pomalý posuv nejdále do bodu S_2 , je vzdáleností mezi S_1 a S_2 kompenzováno a odchylka polohy z tohoto důvodu nevznikne. Brzdná dráha z v_S na nulu je vždy menší než z v_E , celková chyba nastavení polohy je tak při dvoustupňovém řízení rychlosti vždy menší než při přímém nastavování.

Při stanovení přesnosti je nutné počítat se skutečností, že v reálných podmínkách nejsou dané parametry konstantní. Mění se podle stupně opotřebení, hmotnosti dílů, řezných podmínek, u vnějších zařízení i podle ročního období, počasí a pod.. Proto lze uvedené vlivy kompenzovat jen do určité míry. Ta potom udává prakticky dosahovanou přesnost chodu zařízení a výrobní tolerance obrobků.

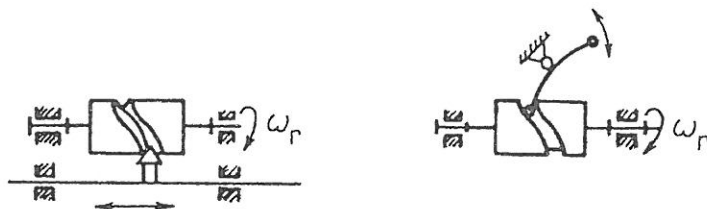
V a č k y

Vačky jsou segmenty na otáčejících se hřídelích, na které doléhá snímací nebo přímo řízený člen. Tvar vačky a rychlost jejího otáčení udává nejen délku dráhy řízeného členu, ale i průběh dráhy a rychlosti pohybu.

Vačky se zpravidla otáčejí konstantní úhlovou rychlostí, která je odvozena převodem od pohonu hlavního pracovního pohybu (pohonu nástroje, posuvu dílce a pod.). Snímací člen se pohybuje po povrchu vačky nebo v její dráze. Rozdíl mezi spodní a horní polohou udává délku dráhy jeho pohybu, rychlost posuvu členu nebo tvar dráhy je dán stoupáním vačky.



a) ploché vačky



b) bubnové vačky

Obr. 3.3.9 - Základní typy vaček

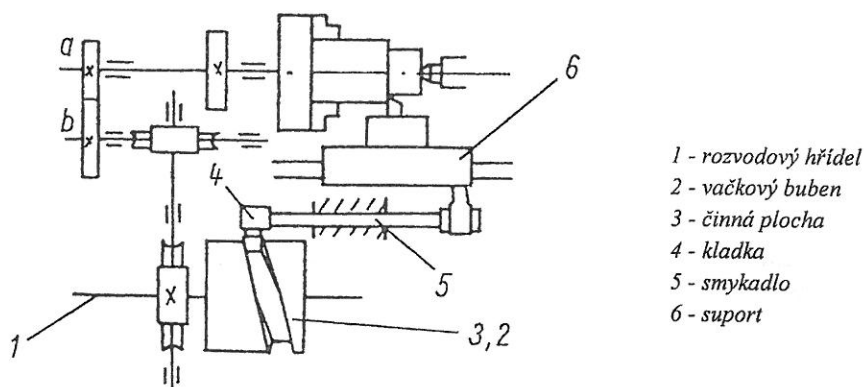
Tvar činné plochy bubnových vaček lze jednoduše vyjádřit pravouhlými souřadnicemi. U plochých vaček je tvar dán velikostí a polohou vektoru a a je přehlednější jej vyjádřit v polárních souřadnicích. Rovnice udává současně dráhu smykadla. Její první derivace vyjadřuje rychlost, druhá derivace zrychlení. Při stanovení celkového tvaru a rozměrů vačky je mimo požadovaného tvaru dráhy a rychlosti řízeného členu třeba zohlednit i mechanické převody mezi smykadlem a řízeným členem, případně parametry jiných převodových a výkonových členů.

Přesnost chodu je dána přesností rozměrů jednotlivých členů, jejich vzájemnou vůlí (jako u všech mechanických systémů) a plynulostí chodu bez rázů. Rázy vznikají v případě zlomů ve tvaru činné plochy vačky - v koncových bodech rovnoměrného stoupání a pod. Při skokové změně rychlosti dochází v těchto bodech teoreticky k nekonečnému zrychlení. Prakticky se vlivem konečné tuhosti mechanismu rozdíl pohybové energie před a po zrychlení změní v práci pružných deformací a ve zlomových místech vačky dochází k vyššímu opotřebení ploch. Proto je tento způsob řízení uspokojivý jen u pomalých dějů. Při vyšších rychlostech je vhodné použít kruhový, parabolický nebo sinusový přechod, kdy zrychlení nabývá konečných hodnot. Velmi vhodné je, když nejen druhá, ale i třetí derivace dráhy (= první derivace zrychlení) je konstanta, rovna konečné hodnotě. V tom případě i síla, způsobující zrychlení, nabývá svoji hodnotu postupně a nezačíná tak v působit v jednom bodě její plná hodnota. Obdobná situace nastává i v případě vůle mezi vačkou a kladkou u oboustranné vačky, tj. v případě, kdy se kladka pohybuje v drážce. Tam dochází ke vzniku rázu ve dvou případech: při rozběhu mechanismu a při zvolňování pohybu.

Jedna otáčka vačky (uvedených typů) reprezentuje vykonání jednoho pracovního cyklu. Pracovní pohyby jsou relativně pomalé a jim odpovídá i stoupání činných ploch vačky. Pomocné pohyby (návrat do výchozí polohy, ...) jsou výrazně rychlejší. Úhel stoupání však snižuje účinnost mechanismu a nelze je většinou zvýšit nad $40 - 45^\circ$. Proto je pro zkrácení pomocných pohybů vhodné využít vyšších otáček rozvodového hřídele. Toho lze dosáhnout buď volitelným převodovým poměrem mezi hlavním pohonem a rozvodovým hřídelem nebo přepínáním pracovních otáček, odvozených od hlavního pohonu (nutná synchronizace pohybů) a otáček rychloposuvu, dosahovaných samostatným motorem.

Pro větší pracovní rozsahy mohou sloužit vícechodé vačky. Pracovní cyklus je u nich rozložen na více otáček, řízení je přesnější a stoupání pracovní plochy není kritické. Návrat do počáteční polohy je však složitější a zabezpečují jej další pomocné mechanismy.

Vačkové řízení se často používá např. u pohybu nožových suportů soustruhů nebo horních frézek a to jak v podélném (viz obr. 3.3.10) tak i příčném směru.



Obr. 3.3.10 - Řízení pohybu suportu vačkovým bubnem

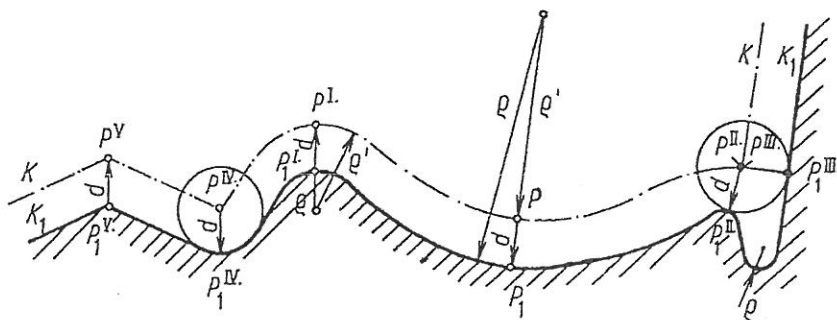
Vačkové systémy jsou běžně schopny vyvolávat velké přestavné síly. Jsou proto často využívány nejen pro snímání a přenos ovládacích nebo řídicích signálů, ale i jako ústrojí výkonové, přímo pohánějící řízené členy.

Kopírování

Úkolem kopírovacích systémů je přenést informace o tvaru výrobku ze šablony nebo vzorového kusu na obrobek. Přenos těchto informací je obdobný, jako u vačkového řízení. Probíhá podle zákonů, podle kterých se k dané křivce vytváří její ekvidistanta nebo konchoida.

Pro *ekvidistantu* - paralelní křivku - platí následující matematická definice: Křivka K je ekvidistantou křivky K_1 , je-li každému bodu $P_1 (P_1^I, P_1^{II}, P_1^{III}, \dots)$ na křivce K_1 přiřazen bod $P (P^I, P^{II}, P^{III}, \dots)$ křivky K tak, že přímočaré spojnice $P_1 - P (P_1^I - P^I, P_1^{II} - P^{II}, P_1^{III} - P^{III}, \dots)$ jsou normálami obou křivek K_1 a K a všechny tyto spojnice mají konstantní délku d . Tečny vzájemně přiřazených bodů jsou rovnoběžné.

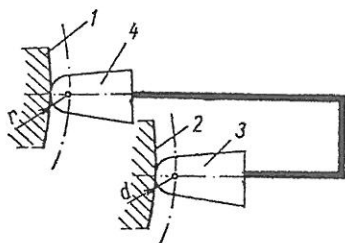
Technicky lze ekvidistantu vyjádřit jako křivku K , po které se pohybuje střed kladky, kopíruje-li povrch kladky křivku K_1 .



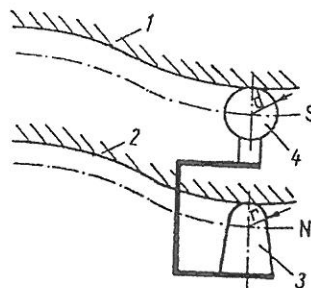
Obr. 3.3.11 - Ekvidistanta

Z obrázku 3.3.11 jsou zřejmá i omezení, která pro použití ekvidistanty při kopírování vyplývají. Kopíruje-li kladka nebo oblina doteku o poloměru d povrchovou křivku šablony, na které se vyskytují zakřivení o poloměru ρ , nenastávají v případě konvexních (vypouklých) zakřivení žádná omezení. V případě zakřivení konkávních (vyhloubených) mohou nastat tyto případy:

- $\rho > d$, ekvidistanta tvoří plynulou křivku, její poloměr zakřivení $\rho' > 0$ (body $P_I - P$)
- $\rho = d$, na ekvidistantě se vytvoří bod nespojitosti, zlom, totožný se středem zakřivení ($\rho' = 0$, body $P_I^{IV} - P^{IV}$)
- $\rho < d$, ekvidistantu nelze vytvořit vůbec (body $P_I^{III} - P^{III}$, $P_I^{III} - P^{III}$)



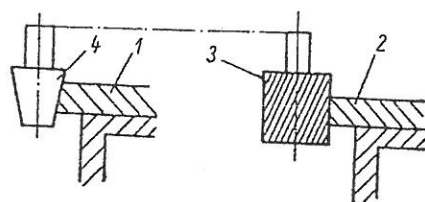
a) snímač a nástroj stejných rozměrů



b) snímač a nástroj různých rozměrů

Obr. 3.3.12 - Kopírování v poměru 1 : 1

Má-li kopírovací kladka stejný poloměr jako obráběcí nástroj ($d = r$) a je-li kopírovací poměr 1 : 1, jsou stejné nejen dráhy středů kladky i nástroje, ale je shodná i povrchová křivka obrobku s povrchovou křivkou šablony (obr. 3.3.12 a). Jsou-li poloměry snímače a nástroje rozdílné, vytváří kopírovací poměr 1 : 1 stejné pouze dráhy středů snímače a nástroje. Mezi obrysem šablony a obrobku vznikne stálá diference $e = d - r$. Tím vznikne nejen rozměrová, ale i tvarová odchylka, vyplývající z vlastností ekvidistanty (obr. 3.3.12 b). Je-li rozdíl trvalý, lze pro výrobek žádaných rozměrů a tvaru použít šablonu s opačnými odchylkami. Vznikají-li odchylky nepravidelně (např. opotřebením nástroje), je možno použít např. kuželový snímač, jehož polohu lze axiálně nastavit tak, aby vzdálenost jeho středu od povrchu šablony odpovídala okamžitému rozměru nástroje (obr. 3.3.13).



- 1 - šablona
- 2 - obrobek
- 3 - nástroj
- 4 - snímač

Obr. 3.3.13 - Kompenzace změny průměru nástroje přestavitelným kuželovým snímačem

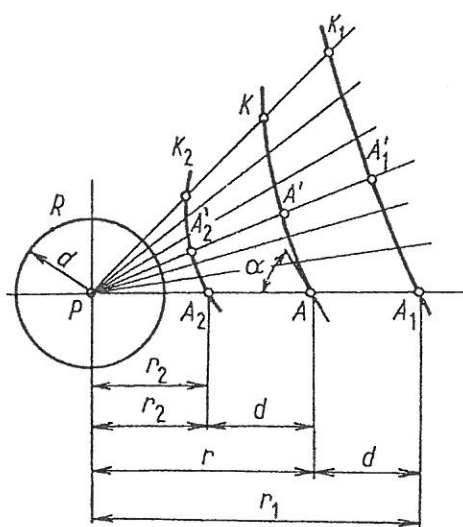
Konchoidu lze definovat následujícím způsobem: Je dána kružnice R o poloměru d (může být i nulový, tedy bod) a křivka K , ležící mimo ni. Přímký, vedené ze středu P kružnice R protínají křivku K v bodech A, A', \dots .

Vnější konchoida je křivka K_1 , kterou vytváří body A_1, A_1', \dots všech přímek, vedených ze středu P kružnice R , které mají od bodu P vzdálenost r_1 o d větší, než je vzdálenost $r = PA, PA'$ atd.

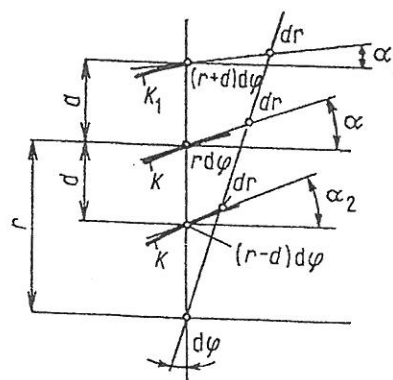
$$\begin{aligned} r_1 &= r + d \\ r_1' &= r' + d \\ \text{atd.} \end{aligned}$$

Vnitřní konchoida je křivka K_2 , kterou vytváří body A_2, A_2', \dots všech přímek, vedených ze středu P kružnice R , které mají od bodu P vzdálenost r_2 o d menší, než je vzdálenost $r = PA, PA'$ atd.

$$\begin{aligned} r_2 &= r - d \\ r_2' &= r' - d \\ \text{atd.} \end{aligned}$$



a) odvození



b) úhly stoupání

Obr. 3.3.14 - Vnější a vnitřní konchoida

Úhel stoupání konchoidy je úhel, svíraný v daném bodě konchoidy její tečnou a normálou ke spojnici tohoto bodu a středu P kružnice R . Je-li α úhel stoupání ve výchozím bodě křivky (obr. 3.3.14 b), potom platí

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dr}{r \cdot d\varphi}.$$

Pro vnější konchoidu tedy platí

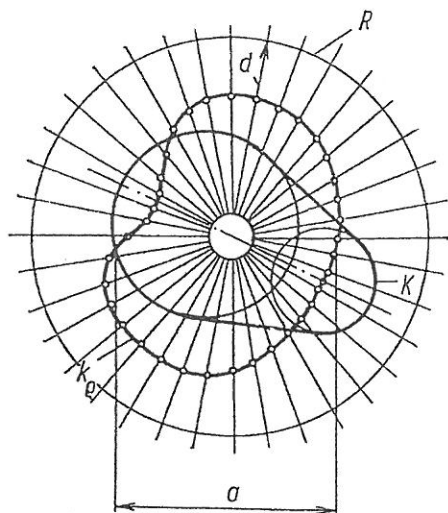
$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{r}{r+d} \cdot \operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \alpha$$

a pro vnitřní konchoidu

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{r}{r-d} \cdot \operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \alpha.$$

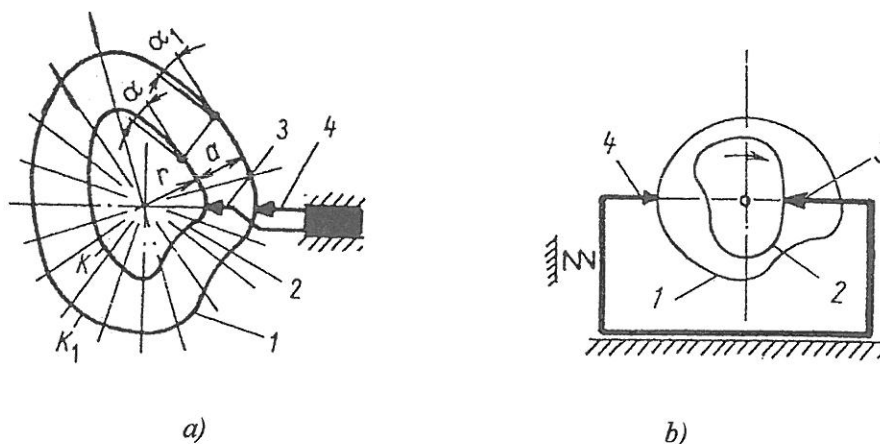
Pro tentýž středový paprsek tedy platí $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$, vnější konchoida má menší úhel stoupání nejen než konchoida vnitřní, ale i než výchozí křivka K .

Leží-li křivka plně uvnitř kružnice K , směřují příslušné vzdálenosti r ke středu P a výsledné body A_1, A_1' , atd. vychází často (podle skutečné velikosti d a r) od bodu P na opačnou stranu přímek než body A, A' , atd. Tento druh konchoidy, v případě kopírování velmi důležitý, se proto nazývá *protikonchoida*.

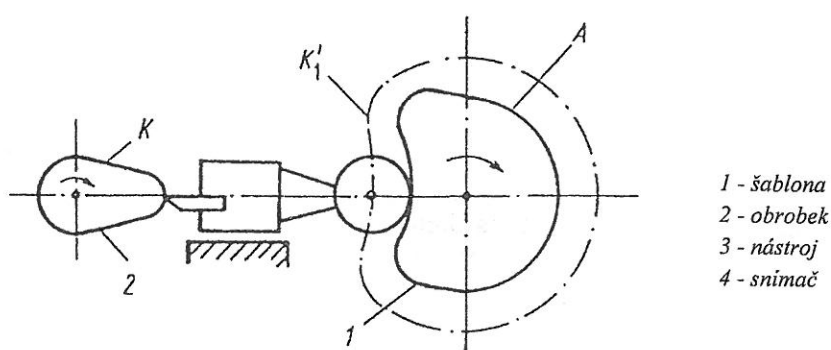


Obr. 3.3.15 - Protikonchoida

Ekvidistantu používají kopírovací systémy u strojů, kde se kopírovaná předloha nebo snímač posouvá. Časté jsou proto u horních frézek, kopírujících reliéfy na povrchu nebo hrany tvarovaných dílů. Podle zákonů konchoidy pracují stroje, kde se kopírovaná předloha nebo snímač otáčí. Z konchoid se využívá pouze vnější konchoida a protikonchoida. Vnější konchoida je větší, než vlastní výrobek a proto se případné chyby jejího povrchu na výrobku projeví méně. Její stoupání je též menší než stoupání obrobku, lze tedy vyrobit díl s relativně velkým stoupáním bez mimořádného namáhání šablony a přenosového mechanismu (přijatelné maximální stoupání šablony je do 60°). Vnější konchoida i protikonchoida je běžná u kopírovacích frézek a soustruhů všech druhů. Druh křivky je dán provedením snímacího a obráběcího mechanismu a jejich vzájemným vztahem.



Obr. 3.3.16 - Schemata souosých kopírovacích frézek, jejichž posuvový mechanismus využívá princip a) vnější konchoidy, b) protikonchoidy

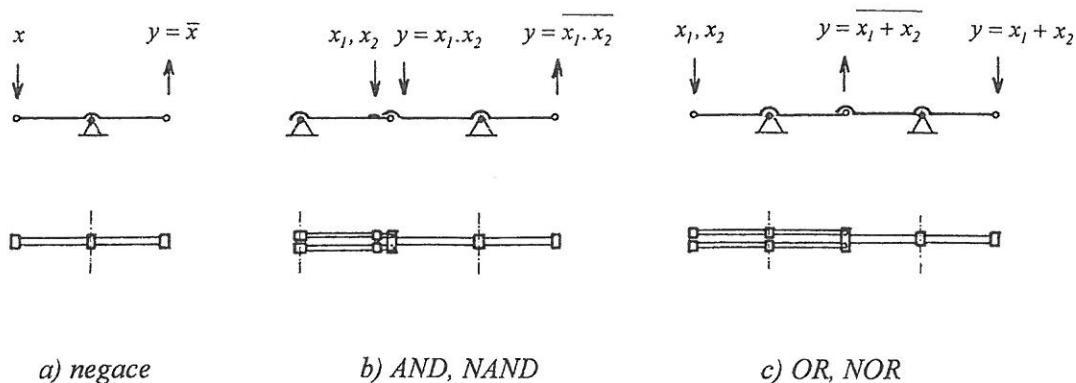


Obr. 3.3.17 - Schema kopírovacího soustruhu, jehož posuvový mechanismus využívá princip protikonchoidy

Zpracování signálu

Dorazy, nárazky, vačky a šablony jsou členy, které poskytují řídicímu systému informace - vstupní signály. Jsou mechanickým druhem paměti. Zpracování těchto signálů je věcí následných mechanismů.

Mechanické zpracování spojitých signálů umožňují převody pomocí soukolí, pák, táhel, klik, kulís ve vedení a dalších plynule se pohybujících mechanismů. Nespojité signály o dvou i více úrovních zpracovávají krokové mechanismy - západky, spojky, vahadla a pod.. S jejich pomocí lze měnit otáčky, zdvih, sílu tlak, převádět otáčivý pohyb na kruhový nebo sledující části obecných křivek a opačně, spínat, přepínat, posouvat či jinak pohybovat jakoukoli částí stroje. Čistě mechanickou cestou lze realizovat i logické obvody, u kterých jsou stavy log 0 a log 1 vyjádřeny polohou mechanických prvků. Většinou se jedná o posun nebo pootočení součástí z jedné mezní polohy do druhé.



Obr. 3.3.18 - Mechanická realizace logických obvodů

Mechanické obvody vykazují nejnižší pracovní rychlosti, jsou rozměrné, vyžadují poměrně častou kontrolu a seřizování. Stále se však běžně používají. Jejich rychlost totiž většinou odpovídá technologickým rychlostem strojního zařízení, jehož část tvoří, mohou přenášet velké síly a přímo tak působit i výkonově, jsou velmi odolné proti rušivým vlivům (chvění, kolísání teploty, elektromagnetické pole i necitlivé zásahy obsluhy), nevyžadují samostatné napájení, mohou pracovat v nepříznivých podmínkách, výbušném prostředí a pod. Mimo to jsou snadno opravitelné bez potřeby zvláštní kvalifikace nebo vybavení a blízkí se potřeba jejich opravy je většinou předem delší dobu viditelná bez zásadního vlivu na funkčnost. Složitější obvody s nimi však sestavovat lze jen velmi obtížně a často vykazují tvrdý, "neohrabaný" chod, způsobený nutnou vůlí a třením. Obdobně obtížný je i přenos signálů na větší, obzvláště ne přímé vzdálenosti.

Hydraulické systémy

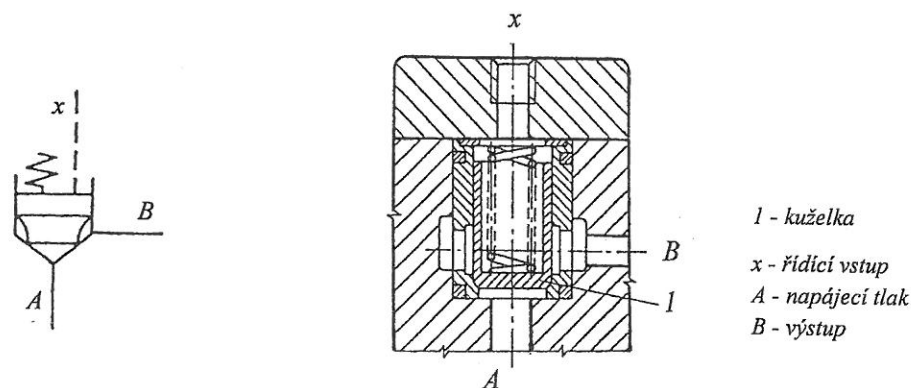
Hydraulický systém je soustava, která užívá k přenosu energie kapalinu. Podle toho, který z parametrů kapaliny je řízen a jak, se rozlišuje:

- hrazení průtoku
- řízení průtoku
- řízení tlaku

Je-li při tom řízen přívod kapaliny do obou poloprostorů výkonového prvku (např. válce), jde o řízení *symetrické*, je-li přívod kapaliny řízen jen do jednoho poloprostoru, jde o řízení *nesymetrické*. Symetrické řízení je v současné době podstatně rozšířenější.

Hrazení průtoku

Hrazení průtoku umožňuje ovládat průtok kapaliny ve výkonových nebo řídicích obvodech způsobem "zapnuto - vypnuto", mezipolohy (s výjimkou přechodových dějů) možné nejsou. Jedná se tedy o řízení logické. K základním prvkům patří uzavírací ventily a šoupátka, jednosměrné (zpětné) ventily, hydraulické zámky a rozvaděče. Výhradně pro ovládací obvody jsou určeny logické hydraulické prvky, ovládané tlakovým signálem na řídicím vstupu - viz následující obrázek.



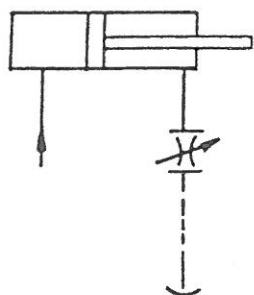
Obr. 3.3.19 - Schema hydraulického logického prvku, uspořádání s kuželkou

Je-li řídicí vstup x bez tlaku, potom tlak na vstupu A nadzdvihne kuželku a kapalina protéká z A do B . Tlak na řídicím vstupu kuželku uzavře, neboť plocha kuželky je větší než plocha sedla. Pružina uzavírání zrychluje a určuje základní polohu kuželky při vstupech bez tlaku. Obdobnou konstrukci má tedy i prvek, který pracuje opačně - bez tlaku na řídicím vstupu je uzavřen, přívod tlaku jej otevírá. Kombinací těchto prvků lze zhotovit libovolný logický obvod bez použití pomocných elektrických členů.

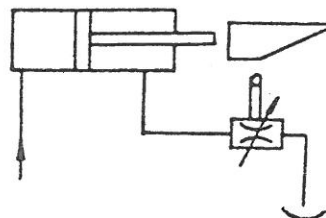
Hrazení průtoku se používá hlavně na zapínání a vypínání chodů zařízení a směru jeho pohybu.

Řízení průtoku

Řízení průtoku umožňuje ovládat průtok kapaliny ve výkonových nebo řídicích obvodech skokem nebo plynule. K základním prvkům patří *clony a trysky*, *škrticí ventily* bez nebo se stabilizací a *děliče průtoku*. Uzavírací ventily a šoupátka lze pro řízení průtoku (většinou jako výkonový prvek) použít v případě, že jejich pohon plynulé nastavení polohy umožňuje (např. ručně nebo servomotorem ano, magnetem ne).

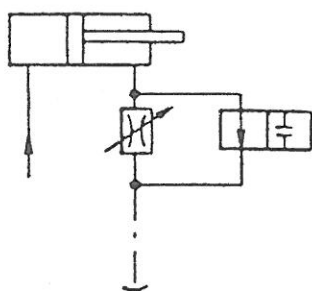


a) ručně

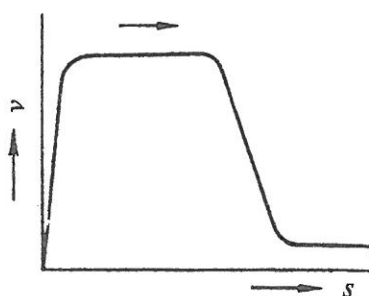


b) šikmou narážkou

Obr. 3.3.20 - Ovládání rychlosti škrtícím ventilem

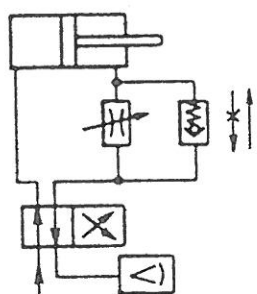


a) princip zapojení

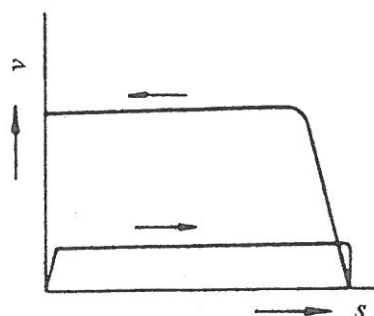


b) průběh rychlosti

Obr. 3.3.21 - Ovládání rychlosti škrtícím a obtokovým ventilem



a) princip zapojení

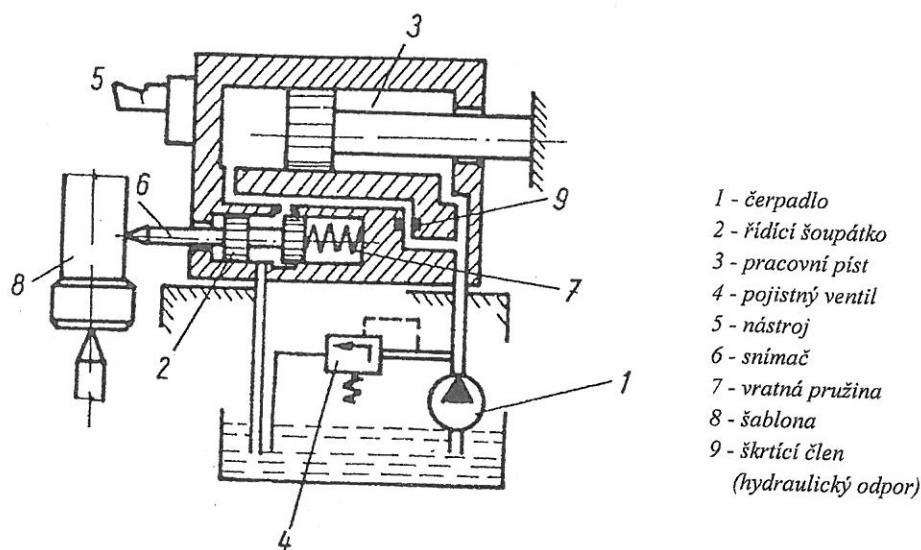


b) průběh rychlosti

Obr. 3.3.22 - Ovládání rychlosti škrtícím a zpětným ventilem

Rozšířené je ovládání nebo řízení průtoku šoupátkem. Struktura řídicích obvodů je velmi názorná například u kopírovacích strojů, kde je pístek řídicího šoupátka ovládán snímačem šablony. To ovládá průtok hydraulické kapaliny do výkonového hydraulického válce, nastavujícího polohu suportu s obráběcím nástrojem.

- Podle počtu hran, které v šoupátku řídí průtok kapaliny, se systémy dělí na:
- jednohranné (jen nesymetrické)
 - dvojhanné (nesymetrické i symetrické)
 - čtyřhranné (jen symetrické)

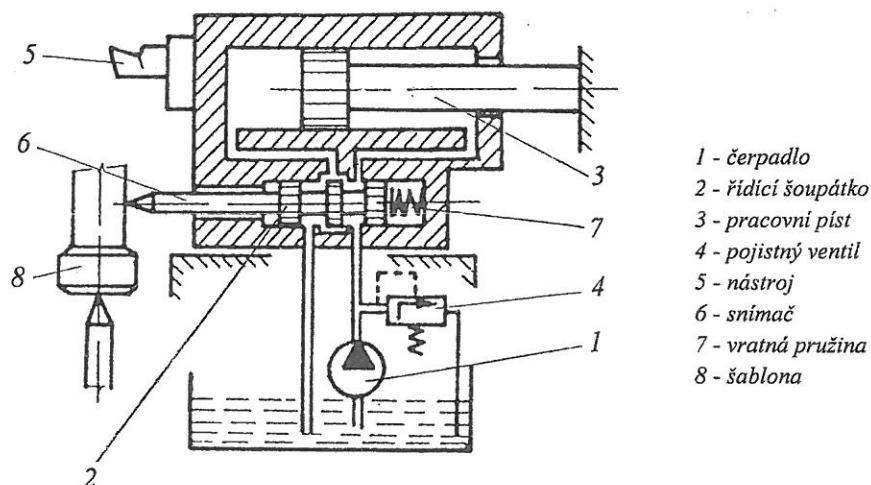


Obr. 3.3.23 - Jednohranný nesymetrický kopírovací systém

V *jednohranném systému* je kapalina čerpadlem (1) vháněna do obou poloprostorů pracovního válce. Je-li šoupátko (2) tlačeno snímačem (6) vlivem tvaru šablony (8) vpravo, odkrývá řídicí hrana průtok přes prostor šoupátka do nádrže. V levé polovině válce poklesne tlak a plný tlak v pravé polovině válce posouvá válec a tím i celý suport s nástrojem (5) vpravo (píst je nehybný, pístnice je na svém konci připevněna k rámu stroje). Aby nenastal citelný pokles tlaku v celém hydraulickém systému, je průtok od čerpadla k šoupátku a tedy i do levé poloviny válce omezen odporem (9). Posunem nastává i postupné uzavírání průtoku přes prostor šoupátka (vlastní šoupátko je snímačem opřeno o šablonu a tedy v klidu). Tím se zvyšuje tlak v levém poloprostoru pracovního válce a v okamžiku rovnováhy sil z obou stran pístu posun ustane.

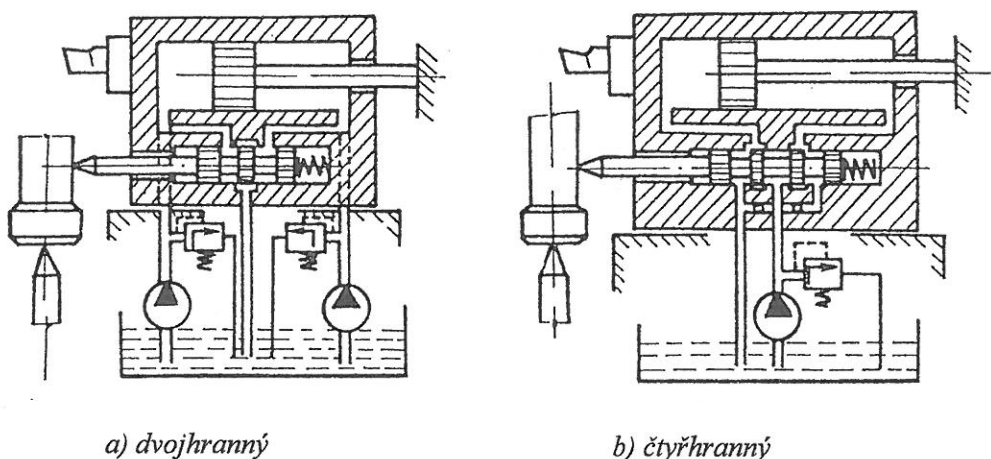
Ve vybrání šablony je řídicí šoupátko vytlačeno pružinou (7) vlevo. Tím se odtokový otvor uzavře a tlak na obou stranách pístu vyrovná. Činná plocha pístu (3) je ze zadní, podle obr. 3.3.23 pravé strany omezena pístnicí a proto je menší než plocha přední, levá (diferenciální píst). Síla, působící při vyrovnání tlaků je tedy z levé strany větší a válec se suportem se posouvá vlevo. Tím se opět odkrývá průtok, tlak na levé straně klesá a při rovnováze sil posun ustává.

U *dvojhanného nesymetrického systému* (obr. 3.3.24) je šoupátko (2) trojnákrůžkové, obě hrany středního nákrůžku jsou řídicí. Do pravého poloprostoru pracovního válce je kapalina vháněna čerpadlem (1) stále. Je-li šoupátko (2) tlačeno vlivem tvaru šablony (8) vpravo, uzavírá pravá řídicí hrana středního nákrůžku průtok kapaliny z čerpadla do levé poloviny válce a současně pravá řídicí hrana odkrývá průtok z této poloviny válce přes prostor šoupátka do nádrže. V levé polovině válce poklesne tlak a plný tlak v pravé polovině válce posouvá válec a tím i celý suport s nástrojem (5) vpravo. Posunem nastává i postupné uzavírání odtoku kapaliny z levé poloviny válce, otevírání přítoku a tím zvyšování tlaku v levé polovině válce. Rovnováha systému nastane, když se síly působící z obou stran na píst vzájemně vyrovnají. V tomto stavu protéká kapalina z čerpadla mírně kolem obou řídicích hran středního nákrůžku šoupátka do nádrže. To udržuje tlak v levé polovině válce mírně nižší, což je u diferenciálního pístu při



Obr. 3.3.24 - Dvojhranný nesymetrický kopírovací systém

vyrovnání sil nutné. Celkový pokles tlaku však citelný není vlivem velkého hydraulického odporu této cesty. Ve vybrání šablony je řídicí šoupátko vytlačeno pružinou (7) vlevo. Tím se odtok z levé poloviny válce uzavře, naopak zcela otevře přítok a tlak na obou stranách pístu vyrovná. Vlivem rozdílu činných ploch diferenciálního pístu (3) je síla z levé strany větší a válec se suportem se posouvá vlevo. Tím se opět odkrývá průtok kolem řídicích hran, tlak na levé straně klesá a při rovnováze sil posun ustává.



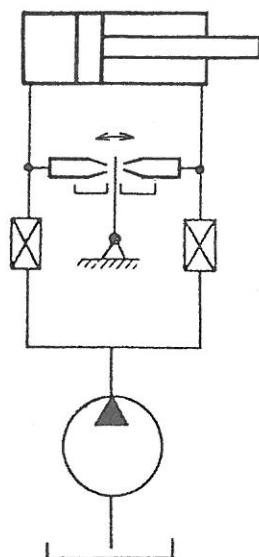
Obr. 3.3.25 - Symetrické kopírovací systémy

Dvojhranný symetrický systém pracuje s dvojitým čerpadlem, jehož každá část dodává kapalinu do jedné poloviny pracovního válce. Hrany středního nákrčku šoupátka řídí odtok kapaliny do nádrže podle vychýlení vlivem tvaru šablony.

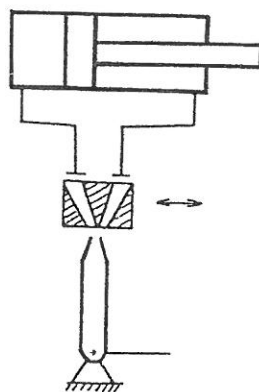
Čtyřhranný systém pracuje s jednoduchým čerpadlem, které dodává kapalinu do středního prostoru šoupátka. Oba krajní prostory šoupátka umožňují odtok kapaliny do nádrže. Posunem šoupátka na jednu nebo druhou stranu se přivádí kapalina do pravého prostoru a odvádí z levého nebo naopak. Rovnováha systému a tím i zastavení posuvu suportu nastává při stejném silovém působení na obě strany pístu (píst již není úmyslně diferenciální, ale určitý rozdíl v plochách vlivem velikosti pístnice zůstává).

Soustavy klapka - tryska se používá k řízení směru pohybu. V symetrickém provedení (viz obr. 3.3.26 a) vytváří obě trysky proměnné odpory, jejichž odpor závisí na poloze klapky mezi nimi. Je-li odpor trysek takový, že se na obou stranách pístu ve válci nastaví tlaky, odpovídají opačnému poměru obou ploch pístu, nastane rovnováha a píst je v klidu. Vychýlením klapky se rovnováha poruší a píst se pohybuje ve směru převažující síly. Tento způsob je jednoduchý a spolehlivý, ale energeticky nevýhodný. Používá se proto pouze u servomechanismů s malými výkony.

Řízení výkyvnou tryskou je obdobné svým principem i vlastnostmi. Rozdíl je v tom, že změnu hydraulického odporu vyvolává přemístění trysky.



a) soustava klapka - tryska



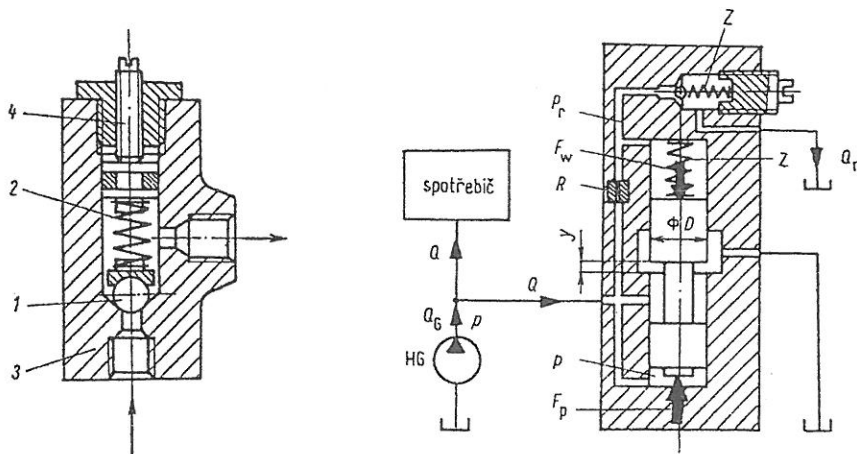
b) výkyvná tryska

Obr. 3.3.26 - Řízení pomocí trysky

Prvky pro řízení průtoku se používají pro plynulou nebo skokovou regulaci rychlosti chodu zařízení, dosažení žádaných poloh pohybujících se částí, korekcí polohy (obousměrně) a podobně.

Řízení tlaku

Řízení tlaku umožňuje ovládat tlak kapaliny ve výkonových nebo řídicích obvodech nebo jej udržovat na žádané hodnotě i při měnících se podmínkách (hlavně při různých odběrech). K základním patří *přepouštěcí a pojistné tlakové ventily* a *redukční ventily*.



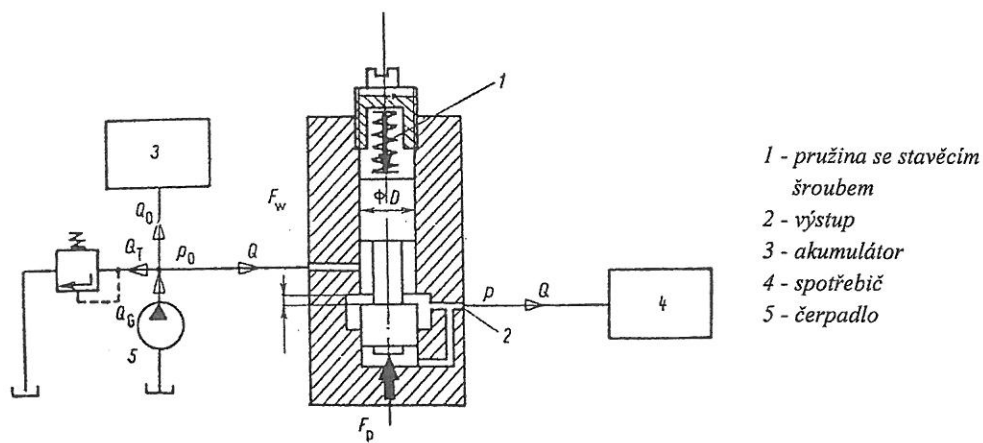
a) *jednostupňový*

b) *dvojstupňový*

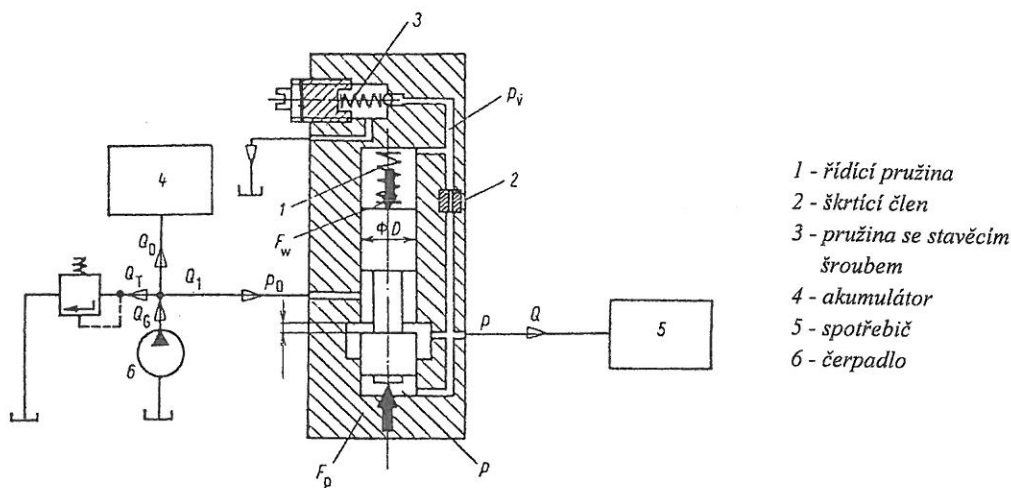
Obr. 3.3.27 - Konstrukční uspořádání tlakových ventilů

U *jednostupňových tlakových ventilů* (obr. 3.3.27 a) brání průchodu kapaliny při nízkém tlaku kulička (1) (případně kuželka nebo talíř), udržovaná v sedle ventilu silou pružiny (2). Nadměrně vysoký tlak překoná sílu pružiny, kulička se nadzvedne a kapalina ventilem prochází. Přítlačnou sílu pružiny lze nastavit stavěcím šroubkem (4), (3) je tělo ventilu. Pro vyšší průtočná množství a tlaky se používají *dvojstupňové ventily* (obr. 3.3.27 b). Regulovaný tlak p je zaveden na spodní stranu šoupátka, řídící síla F_w působící na horní stranu šoupátka je vyvozována pružinou z a řídícím tlakem p_l . Ten se nastavuje pružinou řídícího ventilu, kterým probíhá proud Q_r . Řídícímu ventilu, obdobnému *jednostupňovému ventilu*, je přiřazen odpor R (clonka), oddělující horní a spodní stranu šoupátka. Vzniká tak mezi nimi malý tlakový rozdíl, jehož výsledkem je i malá potřebná síla F_w . Této vlastnosti se využívá pro odlehčování ventilu, případně pro *vícetupňové řízení tlaku* nebo *dálkové ovládání*.

Uspořádání *redukčních ventilů* je obdobné, podstatný rozdíl je však v zapojení do obvodu - viz obr. 3.3.28:



a) *jednostupňový*



b) dvojstupňový

Obr. 3.3.28 - Konstrukční uspořádání redukčních ventilů

Řízení tlaku umožňuje nastavení a udržování pracovních tlaků zařízení v hydraulických obvodech. Vyrovnává změny, které vznikají nerovnoměrností odběrů, kolísáním teplot a dalšími vlivy a umožňuje tak žádanou přesnost činnosti (případně vůbec činnost) následných zařízení. Dvoj- nebo víceetapňová provedení jsou většinou vhodnější pro příznivější statické i dynamické vlastnosti a lepší (obzvláště dálkovou) ovladatelnost.

Rozvaděč lze realizovat jako ventilový nebo šoupátkový. U ventilu dochází k uzavření průtoku dosednutím dvou ploch na sebe (kuželky na sedlo), u šoupátka překrytím obou ploch. Použitelnost obou je téměř shodná, užívanější jsou šoupátkové rozvaděče pro jednoduchost jejich konstrukce a ovládání a silové vyvážení. Ovládání rozvaděčů může být mechanické, hydraulické nebo elektrické.

Zpracování signálu

Hydraulické obvody jsou schopny zpracovávat a upravovat signály v podobě tlaku kapaliny téměř libovolně. Základní informace o stavu zařízení nebo požadované činnosti však v převážné míře poskytují mechanické nebo elektrické prvky v podobě narážek, vaček, snímačů poloh, naměřovacích zařízení a pod. Proto jsou hydraulické systémy těmito prvky a obvody doplňovány a vznikají kombinované systémy řízení. U jednoduchých strojů, užívajících hydraulické obvody je to kombinace častěji s mechanickými prvky, při vyšších nárocích na řízení nebo komfort obsluhy je to kombinace s prvky elektrickými. Vzhledem ke snadnějšímu zpracování elektrických signálů a nesrovnatelně větším možnostem elektronických řídicích systémů v porovnání s hydraulickými jsou pro řízení těchto celků využívány elektronické systémy a systémy hydraulické přebírají funkci výkonových prvků. V hydraulických obvodech jsou v těchto případech hlavním prvkem servoventily, které slouží ke spojitému i stupňovitému ovládání průtoku nebo tlaku. Mechanické řídicí systémy ovládají servoventily přímo, pro elektrické ovládání jsou vybaveny pohony. Užívané jsou i kombinace hydraulicko - pneumatické.

Pneumatické systémy

V pneumatických systémech je nositelem energie plyn, nejčastěji vzduch. Podle formy využívané energie se pneumatické systémy rozlišují na:

- *potenciální* (statické), které zaplňují prostory výkonových prvků plynem o konstantním tlaku nebo takovém tlaku, při kterém dojde k požadovanému úkonu
- *proudové* (dynamické, fluidikové), které využívají k provedení příslušného úkonu pohybovou energii plynu.

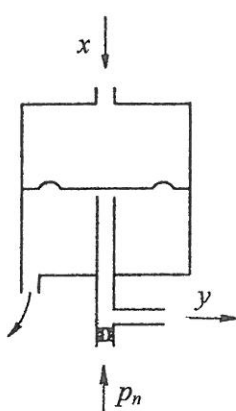
Obě skupiny mohou sloužit jak k přenosu informace, tak k přenosu výkonu.

Řídící prvky

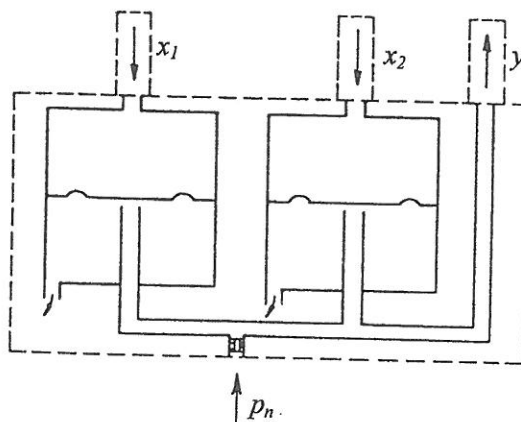
Z řídících prvků jsou v pneumatických obvodech rozšířeny hlavně *logické členy*. Prvky zpracovávající plynule proměnný, analogový signál jsou zastoupeny poměrně málo.

Potenciální logické členy

používají jako nositele informace statický tlak vzduchu. Příkladem jejich konstrukčního řešení může být pneumatický zesilovač s membránou na následujícím obrázku.



a) zesilovač (opakovač)



b) člen AND

Obr. 3.3.29 - Princip činnosti potenciálních pneumatických logických členů

Je-li tlak vstupního vzduchu nulový ($x_I = \log 0$), membrána neuzavírá těsnící sedla a napájecí vzduch p_n uniká odfukem do vnějšího prostoru. V opačném případě ($x_I = \log 1$) je těsnící sedlo membránou uzavřeno a napájecí vzduch přichází na výstup ($y = \log 1$). Na vstupu napájecího vzduchu je zařazen škrticí člen omezující průtok, aby při uvolnění odfuku nebo nezátíženém výstupu y nenastal pokles tlaku v celém napájecím obvodu.

Sériovým nebo paralelním zapojením těchto členů lze realizovat funkce AND a OR - viz obr. 3.3.29 b). Inverze vznikne, využijeme-li např. u opakovače na obr. 3.3.29 a) odfuk vzduchu jako výstup y a současný výstup zaslepíme.

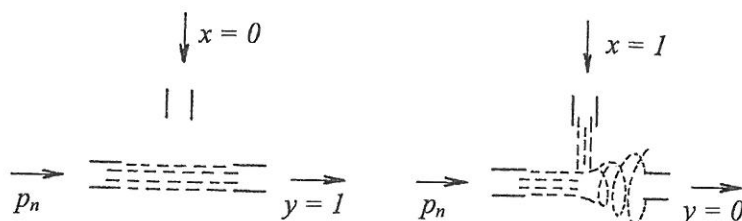
Potenciální členy pracují se středními a nízkými tlaky vzduchu, p_n se pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,2 MPa. Pro ovládání tohoto tlaku mají vždy nějaké pohyblivé součásti (membrány, destičky, kuličky, ...), které zastávají funkci pneumatických kontaktů. Jejich životnost se pohybuje na úrovni 10^7 sepnutí, spínací frekvence běžně do 30.000 sepnutí za hodinu.

Proudové (fluidikové) členy

používají jako nositele informace dynamický tlak vzduchu - proud. Pro jeho ovládání tyto členy využívají:

- přeměnu laminárního proudění v turbulentní
- vzájemné působení proudů vzduchu
- Coandova jevu.

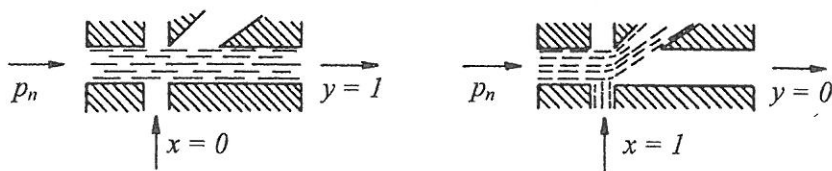
Turbulentní členy využívají ke své činnosti přeměny volného laminárního proudu vzduchu mezi dvěma sousedními tryskami na proud turbulentní. K porušení stability volného laminárního proudu stačí i velmi slabý boční proud vzduchu - rušivý nebo řídicí signál.



Obr. 3.3.30 - Princip činnosti turbulentních členů

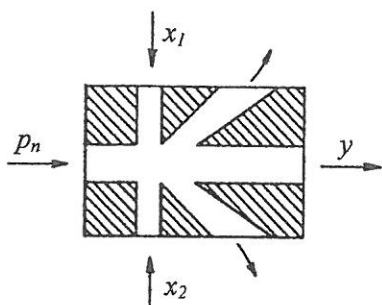
Pokud je řídicí signál x_I (zesilovače, negátoru) nulový, volné laminární proudění napájecího vzduchu p_n není narušeno. Výstupní tryska zachycuje proud prakticky beze ztrát a na výstupu y představuje tento proud $\log 1$. V opačném případě ($x_I = \log 1$) je laminární proudění narušeno a mnohem širší turbulentní proud již výstupní tryska nepojme. Výsledný proud odchází do okolí odfukem a výstup y zůstává bez signálu ($y = \log 0$). Logický člen tak realizuje funkci negace. Je-li stejně uspořádaných řídicích signálů více, stačí na změnu laminárního proudění v turbulentní jediný s úrovní $x_n = 1$. Člen potom realizuje funkci NOR.

Členy, využívající vzájemné působení proudů vzduchu jsou založeny na skutečnosti, že směr výsledného proudu je ovlivněn všemi proudy vstupujícími. K vychýlení proudu napájecího vzduchu p_n přitom stačí poměrně slabý proud x_I , vedený kolmo na p_n .



Obr. 3.3.31 - Princip činnosti členů, využívajících vzájemného působení proudů vzduchu

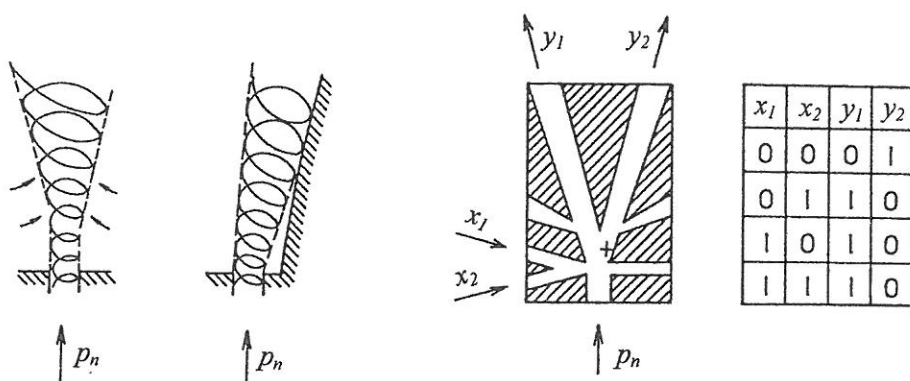
Princip je vhodný i pro konstrukci členů, porovnávajících vstupní signály - viz obr. 3.3.32.



Obr. 3.3.32 - Logický člen pro identitu, $y_0 = x_1 \equiv x_2$

Výstupem y_0 proudí vzduch pouze v případě rovnosti obou vstupních signálů, tj. $x_1 \equiv x_2$. V případech nerovnosti proudí vzduch výstupy y_1 ($x_1 = 1, x_2 = 0$) nebo y_2 ($x_1 = 0, x_2 = 1$).

Proudí-li z trysky turbulentní proud, vzniká v jejím těsném okolí podtlak. Je-li tento proud v dostatečné blízkosti stěny, přisaje se k ní a sleduje její povrch. Tato vlastnost proudění se nazývá po svém objeviteli *Coandův jev*.



a) princip činnosti

b) člen OR / NOR

Obr. 3.3.33 - Členy, využívající Coandova jevu

Geometrie kanálků členu na obr. 3.3.33 b) je upravena tak, aby turbulentní proud přilnul po připojení napájecího tlaku ke stěně, označené +. Bez řídicích signálů x_1 a x_2 ($x_1 = x_2 = \log 0$) se tlak objeví na výstupu y_2 . Je-li alespoň jeden ze signálů x_1 a $x_2 = \log I$, překlápí se proud do kanálku y_1 .

Proudové pneumatické členy pracují s velmi nízkými tlaky, $p_n < 0,01$ MPa. Pro svoji činnost nepotřebují žádné pohyblivé součásti. Životnost tak mají prakticky neomezenou.

Pneumatické logické členy našly z neelektrických logických ovládacích prvků největší uplatnění. V porovnání s mechanickými vyžadují sice samostatné napájení (tlakový vzduch) i soustavu konstrukčně odlišných prvků, která je náročnější na kvalifikaci i vybavení údržby, jinak však zachovávají většinu jejich výhod (přenos signálu i výkonu, malou citlivost na vnější vlivy, ...). Přitom jsou univerzálnější, rychlejší, lze jimi sestavovat výrazně složitější obvody a přenos na větší vzdálenost při libovolném tvaru spoje včetně pohyblivého spojení nečiní problémy.

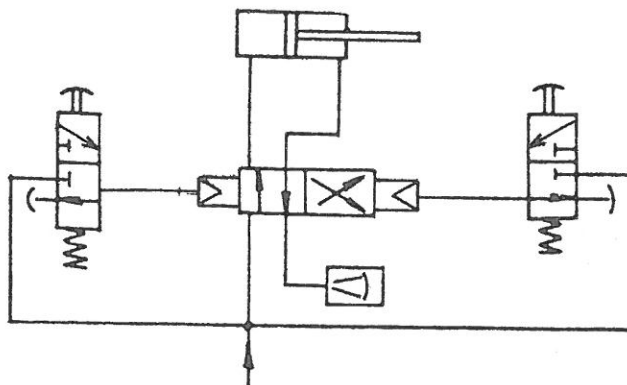
O b v o d y

Řízení směru pohybu může být opět stejně jako u hydraulických systémů:

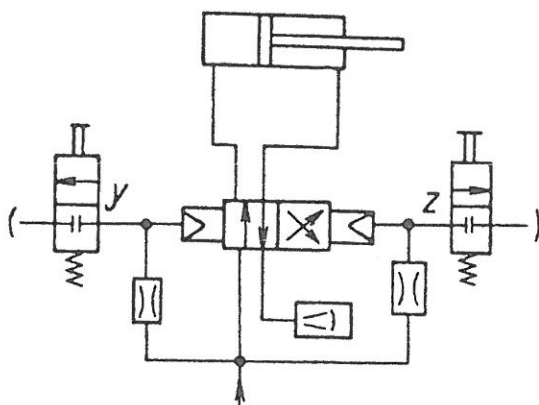
- tryskou (systém klapka - tryska nebo posuvná tryska)
- rozvaděčem (ventilovým nebo šoupátkovým).

Je-li při tom řízen přívod plynu do obou poloprostorů výkonového prvku (např. válce), jde o řízení symetrické. Při nesymetrickém řízení je přívod řízen jen do jednoho poloprostoru, na druhou stranu působí trvale buď tlakový vzduch, síla pružiny nebo jiná vnější síla (hmotnost zařízení, náklad, ...). Na rozdíl od hydraulického může být pneumatické řízení rozvaděčů ve dvou provedeních:

- *pozitivní řízení*, u kterého je možné zapojit každou stranu rozvaděče na tlakový vzduch nebo na vnější ovzduší (obr. 3.3.34)
- *negativní řízení*, u kterého jsou obě strany rozvaděče trvale napojeny na tlakový vzduch a jsou od hlavní tlakové větve pouze odděleny odporem. Přestavení proběhne po odlehčení jedné strany - spojí-li se s vnějším ovzduším (obr. 3.3.35). Škrťací odpory omezují pokles tlaku v rozvodu při odlehčení jedné strany.



Obr. 3.3.34 - Pozitivní řízení rozvaděče



Obr. 3.3.35 - Negativní řízení rozvaděče

V konstrukcích se dává většinou přednost pozitivnímu řízení nad negativním z důvodu nižší spotřeby vzduchu a vyšší rychlosti přestavení.

Prvky jsou v porovnání s hydraulickými konstrukčně odlišné, výslednou funkcí i principem činnosti se však neliší. Neliší se proto ani jejich použití v ovládacích a řídicích obvodech. Jejich výkon a dosahované přestavné síly jsou obecně nižší (nebo jsou pneumatické prvky rozměrnější), jejich přestavné rychlosti jsou však často mnohonásobně vyšší.

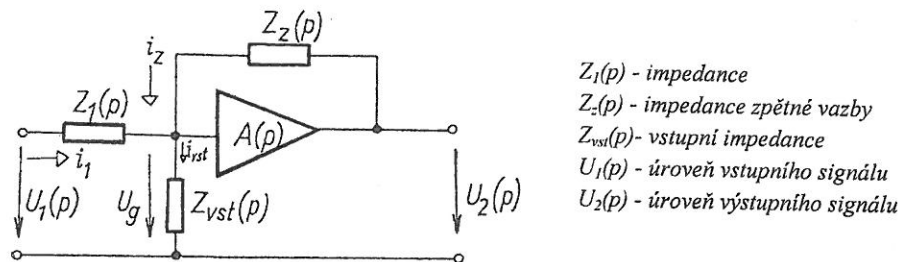
Pneumatické obvody jsou schopny zpracovávat a upravovat signály v podobě tlaku nebo proudění plynu prakticky libovolně a jsou ještě rozšířenější než řídicí prvky hydraulické. Základní informace o stavu zařízení nebo požadované činnosti však též v převážné míře poskytují prvky mechanické nebo elektrické a proto jsou pneumatické systémy těmito prvky a obvody doplňovány. Vzniklé kombinované systémy potom užívají k vlastnímu řízení převážně elektronické systémy a systémy pneumatické přebírají funkci výkonovou.

Elektrické systémy

Jedno ze základních hledisek, podle kterého se posuzují elektrické řídicí systémy, je princip jejich činnosti. Pokud pracují spojitě, jedná se o systémy analogové, nespojitě pracující systémy jsou systémy logické a číslicové.

Spojité systémy

Spojité systémy (regulátor) musí vytvářet potřebnou funkční závislost mezi vstupy a výstupy, aby byly splněny požadavky na jakost regulace a dynamické vlastnosti celé regulované soustavy. Členy, kterými lze provést žádané funkční závislosti jsou *operační zesilovače*. Základem operačního zesilovače je diferenční zesilovač, schopný zesilovat signály od stejnosměrné složky až po velmi vysoké kmitočty. Velmi důležitá je též záporná zpětná vazba, která určuje dynamické chování celého zesilovače.



Obr. 3.3.36 - Základní zapojení operačního zesilovače se zápornou zpětnou vazbou

U zesilovače se zápornou zpětnou vazbou platí pro jeho výsledný přenos (viz kapitola o regulaci) vztah

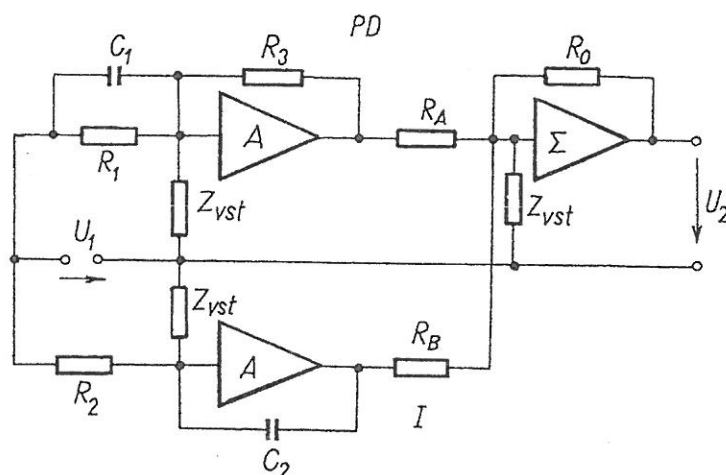
$$F_{R(p)} = \frac{F_{l(p)}}{1 + F_{l(p)} \cdot F_{z(p)}} = \frac{1}{\frac{1}{F_{l(p)}} + F_{z(p)}}$$

kde $F_l(p)$ je přímý přenos, zesílení (bez zpětné vazby)
 $F_z(p)$ je přenos obvodu zpětné vazby.

Ideální operační zesilovač má nekonečné zesílení, tj. $F_l(p) \rightarrow \infty$. Člen $\frac{1}{F_l(p)}$ se proto blíží svoji hodnotou nule a celkový přenos se zpětnou vazbou je tedy

$$F_{R(p)} = \frac{1}{F_{z(p)}}$$

Vlastnosti zesilovače jsou tedy určeny výhradně vlastnostmi zpětné vazby. Podle charakteru impedance $Z_l(p)$ a zpětnovazební impedance $Z_z(p)$ můžeme získat členy s charakterem P, I, D nebo jejich kombinací. Při zapojení zesilovače s vlastnostmi PID se projevuje vzájemné ovlivňování jednotlivých konstant (K - zesílení, T_D - derivační konstanta, T_I - integrační konstanta), což značně komplikuje jejich nastavení. Proto je výhodnější vytvořit celkový potřebný charakter regulátoru složením zesilovačů s jednoduchými přenosy (viz kap. Spojité regulátory) a ty následně sloučit.



Obr. 3.3.37 - Provedení členu PID paralelním řazením členů PD a I.

Na operační zesilovače se obecně klade řada požadavků, z nichž nejdůležitější jsou:

- co největší zesílení v co nejširším kmitočtovém pásmu
- schopnost přenášet též stejnosměrnou složku signálu
- velkou vstupní a malou výstupní impedanci
- fázový posun mezi vstupním a výstupním signálem 180°
- co největší stabilitu parametrů v celém pracovním rozsahu.

Operační zesilovače se vyrábí ve formě integrovaných obvodů se zavedenou zpětnou vazbou, jejíž vlastnosti lze v širokém rozsahu upravit vnějšími součástkami. Zesilovače z diskretních součástek umožňují většinou dosáhnout požadované parametry přesněji, jejich konstrukce je však složitá, rozměrná a jsou nákladnější. Přes stále velké rozšíření operačních zesilovačů dnes jejich význam v regulačních obvodech klesá ve prospěch počítačů. Ty většinou umožňují jednodušší a přesnější nastavení požadovaných parametrů při vyšší stabilitě a v současné době ne vyšší ceně.

Logické systémy

Nespojité systémy (regulátory) pracují skokově s předem daným počtem hodnot. Nejrozšířenější jsou dvojhodnotové regulátory, omezující se při své práci na stavy "zapnuto" a "vypnuto". Jejich základní částí jsou logické členy, které mohou být doplněny vstupním analogově číslicovým převodníkem v případech, že údaje (hlavně od snímačů) přichází ve spojitě, analogové formě. Stejně členy jsou základem logického řízení, ať už otevřeného typu (ovládání) nebo uzavřeného typu (zpětnovazební, regulace).

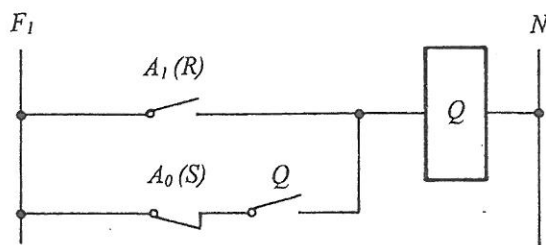
Podle konstrukčních prvků, ze kterých jsou logické obvody sestaveny, je lze rozdělit do dvou hlavních skupin:

- kontaktové logické obvody (sítě)
- bezkontaktové logické obvody.

Kontaktové obvody

Kontaktové obvody (sítě) se skládají z kontaktů ovládacích tlačítek a spínačů, koncových spínačů, elektromagnetických relé a pomocných kontaktů stykačů. Stav log 0 představuje klidová poloha kontaktů, stav log 1 přepnutá, aktivovaná poloha. Zapojení kontaktů, realizující základní kombinační funkce, jsou sestavena do tabulky 3.3.1.

Složitější kombinační nebo sekvenční logické obvody vznikají kombinací paralelního a sériového propojení spínačů a rozpínacích kontaktů a jejich skupin.



Obr. 3.3.38 - Kontaktový obvod, funkci odpovídající členu RS

Teoreticky lze sestavovat obvody libovolné složitosti. Vzhledem k malé spínací rychlosti kontakto­vých prvků a jejich značnému odběru i rozměrům je však výrazně výhodnější konstruovat složitější struktury z polovodičových prvků.

Bezkontaktové obvody

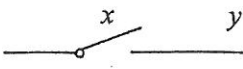
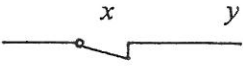
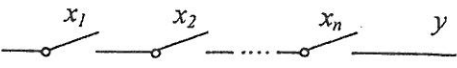
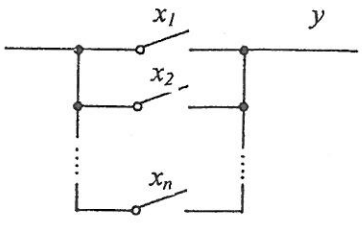
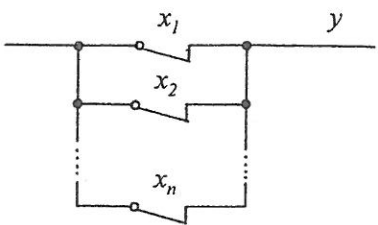
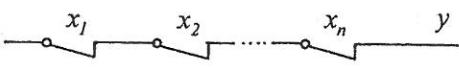
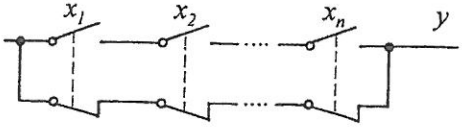
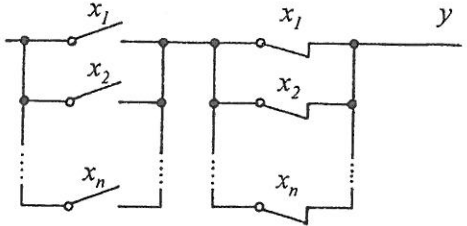
Bezkontaktové členy používají k realizaci funkcí polovodičové prvky a k vyjádření logických stavů napětíovou úroveň. Podle ní se rozlišuje:

- pozitivní logika, kde log 0 odpovídá nulové napětí a log 1 odpovídá kladné napětí
- negativní logika, kde log 0 odpovídá nulové napětí a log 1 odpovídá záporné napětí.

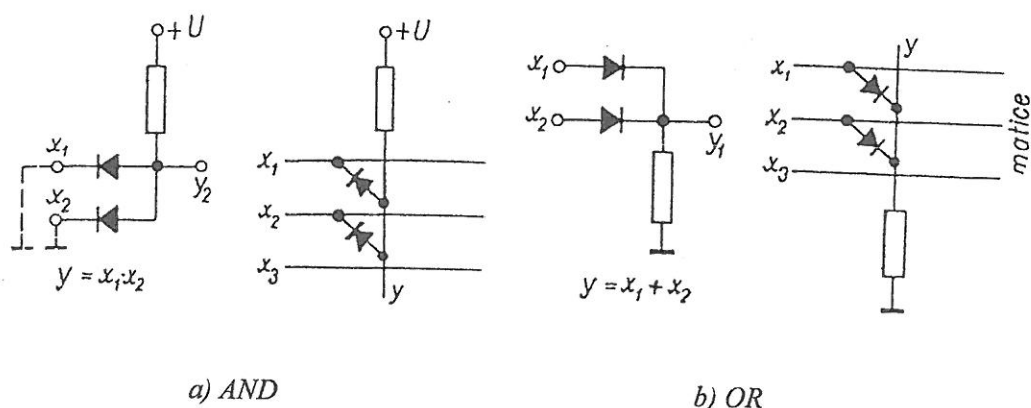
Prvky pracující s negativní, zápornou logikou se dnes již prakticky nevyskytují, proto se v dalším budeme zabývat pouze prvky s logikou pozitivní, kladnou.

Diodové členy

Diodové členy se skládají z polovodičových diod a realizují běžně logický součin (AND) a logický součet (OR).

F u n k c e	Z a p o j e n í
<p>opakování $x = y$</p>	
<p>negace $y = \bar{x}$</p>	
<p>součin = AND $y = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$</p>	
<p>součet = OR $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$</p>	
<p>Shefferova funkce = NAND $y = \overline{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} = \overline{x_1 + x_2 + \dots + x_n}$</p>	
<p>Pierceova funkce = NOR $y = \overline{x_1 + x_2 + \dots + x_n} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \dots \cdot \overline{x_n}$</p>	
<p>Ekvivalence $y = x_1 \equiv x_2 \equiv \dots \equiv x_n = \overline{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} + \overline{\overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \dots \cdot \overline{x_n}}$</p>	
<p>Antivalence = XOR $y = x_1 \oplus x_2 \oplus \dots \oplus x_n = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) \cdot \overline{(x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n)}$</p>	

Tab. 3.3.1 - Kontaktné zapojení kombinačních logických členů

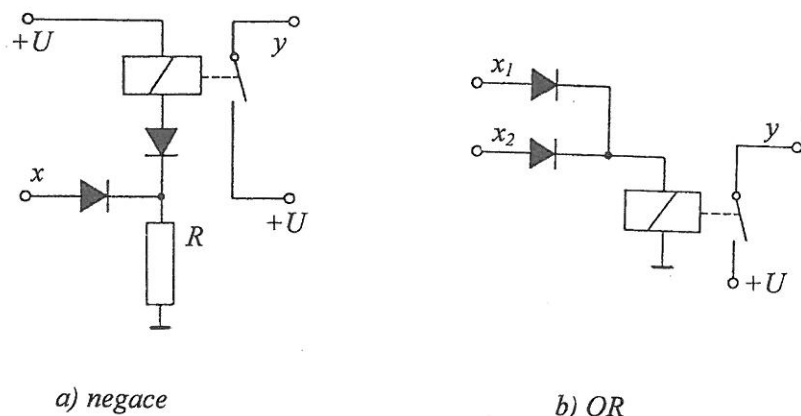


Obr. 3.3.39 - Diodové logické členy

Má-li alespoň jeden ze vstupů členu AND na obr. 3.3.39 a) na vstupu log 0 (tj. nulové napětí, je uzemněn), je jeho dioda vodivá a uzemňuje tak i napětí na výstupu y . Výstup je ve stavu log 0. Jsou-li všechny vstupy ve stavu log 1, je na nich napětí přibližně rovné napájecímu napětí $+U$. Diody jsou nevodivé (na obou jejich stranách je napětí stejné), úbytek napájecího napětí $+U$ na odporu R je zanedbatelný a na výstupu y je log 1 (stav platí za předpokladu, že zatěžovací odpor na výstupu y vlivem připojení následných členů je mnohem větší než hodnota odporu R , která udává výstupní odpor členu).

Člen OR na obr. 3.3.39 b) vlastní napájení nemá. Hodnota log 1, tj. kladné napětí se na jeho výstupu y může objevit jen tehdy, je-li přivedeno na některý z jeho vstupů. Diody jsou v tom případě vodivé. Samostatné diody pro každý vstup znemožňují (omezují na zcela zanedbatelnou míru) vzájemné ovlivňování vstupů u obou obvodů.

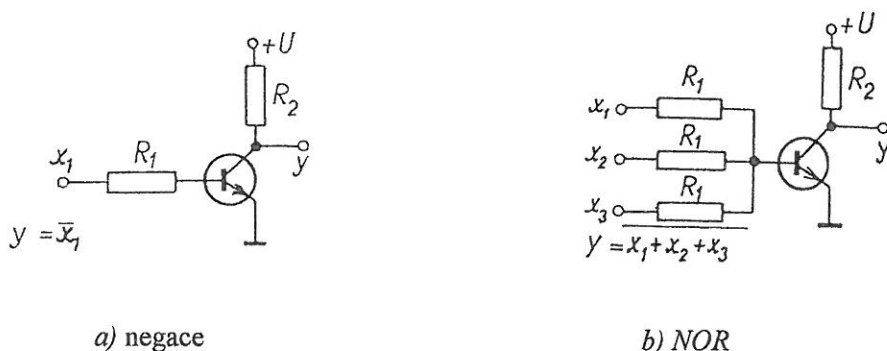
Diodové členy nejsou vhodné pro realizaci negace. Navíc jako pasivní členy nemohou zajišťovat potřebné zesílení logických prvků. Proto jsou (nebo lépe řečeno byly) kombinovány s reléovými nebo tranzistorovými členy, které tuto schopnost mají.



Obr. 3.3.40 - Diodově reléové logické členy

Tranzistorové členy

Vývoj těchto členů prošel několika etapami. Nejprve se pro realizaci logických funkcí více vstupních proměnných tranzistor vybavil vstupními odporovými děliči. Tak byla zavedena odporově-tranzistorová logika (RTL).

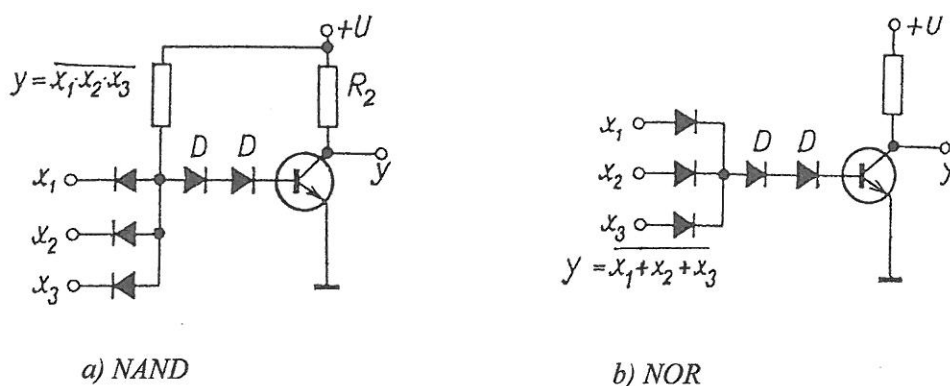


Obr. 3.3.41 - Odporově tranzistorové logické členy

Je-li vstupní signál x_1 u negátoru na obr. 3.3.41 a) nulový, je tranzistor nevodivý a na výstupu negátoru je napětí přibližně rovné $+U$, tj. log 1. V opačném případě ($x = 1$) tranzistor vede, výstup negátoru je tak uzemněn a má hodnotu log 0. Obdobný případ nastává u členu NOR, rozdíl je jen v počtu vstupů.

Nevýhodou RTL členů jsou mnohem větší svodové proudy vstupních odporů než diod u diodových členů a tím větší vzájemné ovlivňování vstupů. Proto je počet vstupů u těchto obvodů omezen, resp. je dnes tato konstrukce v podstatě opuštěna.

Výhodnost diod pro oddělení jednotlivých vstupů zachovává diodově tranzistorová logika - DTL.



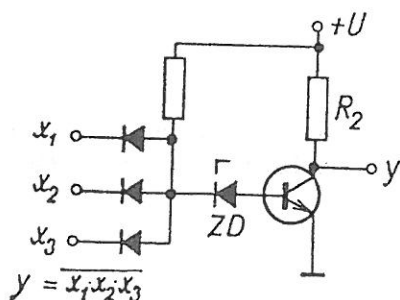
Obr. 3.3.42 - Diodově tranzistorové logické členy

Člen NAND na obr. 3.3.42 a) má na svém výstupu log 0, je-li tranzistor ve vodivém stavu. Ten vyvolává předpětí na jeho bázi, odvozené z napájecího napětí pomocí odporu R_1 . To je zachováno, není-li žádný ze vstupů x_1 až x_3 připojen na zem (všechny mají úroveň log 1).

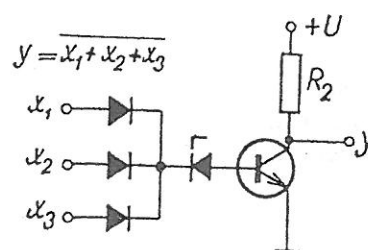
V opačném případě je příslušná dioda vodivá, předpětí na bázi tranzistoru se bude blížit nule a tranzistor přestane vést. Diody v jeho bázi zabezpečují svým napětovým úbytkem v propustném směru dostatečné uzavření tranzistoru i v případě ne zcela dokonalého uzemnění jeho vstupu a tedy malého zbytkového napětí v bodu spojení vstupních diod (zabezpečují vyšší šumovou imunitu členu).

Činnost členu NOR je obdobná, pouze kladné napětí, potřebné k otevření tranzistoru poskytují vstupy x_1 až x_3 (alespoň jeden).

Ještě vyšší šumovou imunitu poskytuje Zenerova dioda, zapojená do obvodu báze v závěrném směru (vzhledem ke své charakteristice). Podle této diody jsou i obvody označovány jako DTLZ.



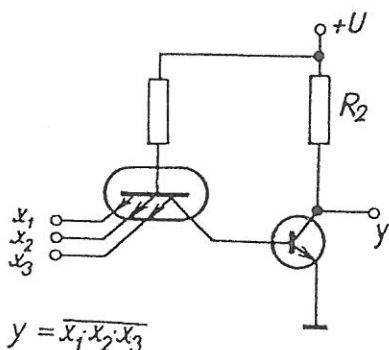
a) NAND



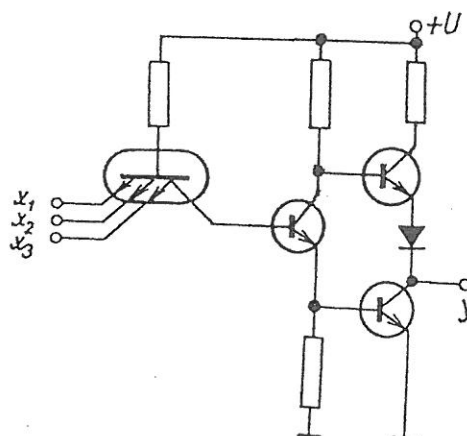
b) NOR

Obr. 3.3.43 - Diodově tranzistorové logické členy se Zenerovou diodou - DTLZ

V současné době se více rovnocenných vstupů u logických obvodů vytváří převážně ne pomocí vstupních diod, ale několikaemitorovými tranzistory. Tyto obvody se nazývají tranzistorově vázané - TTL (transistor - transistor logic).



a)



b)

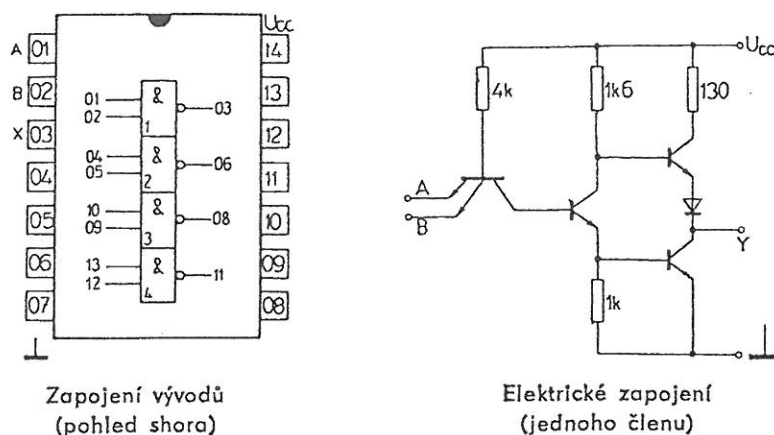
Obr. 3.3.44 - Tranzistorově vázaný člen NAND

Činnost obvodu je shodná s obvodem na obr. 3.3.43 a), ve kterém jsou vstupní diody nahrazeny třiemitorovým tranzistorem. Nejsou-li vstupy připojeny nebo jsou-li připojeny na log 1, má báze tranzistoru T_2 předpětí přes odpor R_1 a přechod báze - kolektor vstupního tranzistoru T_1 . Tranzistor T_2 se udržuje ve vodivém stavu a výstup y ve stavu log 0. V případě, že jediný z emitorů T_1 je připojen na log 0, napětí v jeho bázi klesne na tuto úroveň také, báze T_2 ztratí předpětí a T_2 se uzavře. Tím se na výstupu y objeví napětí blízké $+U$, tj. log 1.

Obvod na obr. 3.3.44 b) je doplněn dvojicí tranzistorů, která zvyšuje strmost převodní charakteristiky členu. Toto zapojení je dnes běžně užíváno v integrovaných obvodech.

Logické členy se vyrábí v podobě integrovaných obvodů. Složitější logické obvody (čítače, převodníky a pod.) jsou v integrovaných obvodech častěji samostatně, základních logických členů (invertory, NAND, NOR, ...) je v rámci jednoho pouzdra většinou několik. Důvodem je lepší využití pouzdra i skutečnost, že těchto členů je většinou třeba větší množství. Omezení přitom klade hlavně možný počet vývodů - vlastní obvody členu tvoří jen malou část celé součástky.

Pouzdra - často nejrozměrnější a nejdražší část - jsou u logických obvodů většinou typu DIL (dual in line). Jsou obdélníková, plastová a vývody jsou ve dvou řadách na delších stranách. Počet vývodů je 14, 16, 24, 28 nebo 40. Sortiment vyráběných integrovaných obvodů, jejich technické parametry, uspořádání vývodů a další údaje jsou náplní katalogů těchto součástek, které jejich výrobci většinou každoročně vydávají.



Obr. 3.3.45 - Příklad obvodu MH 7400 (podle katalogu TESLA)

Logické členy lze jako každý obvod sestavit i ze samostatných, diskrétních součástek. Tento postup je však pracný a vyrobené obvody mají podstatně větší rozměry, příkon i cenu než integrované obvody. V praxi se proto s tímto postupem setkáme pouze ve zvláštních případech, například při přizpůsobení nestandardní úrovně nebo výkonu signálu.

Bezkontaktní logické obvody se běžně označují též termínem "číslicové". Je odvozen od jejich použití v řídicích systémech, které pracují s číslicově zadávanými a zobrazovanými hodnotami, vyjádřenými kombinacemi logických stavů "0" a "1".

Způsoby řízení

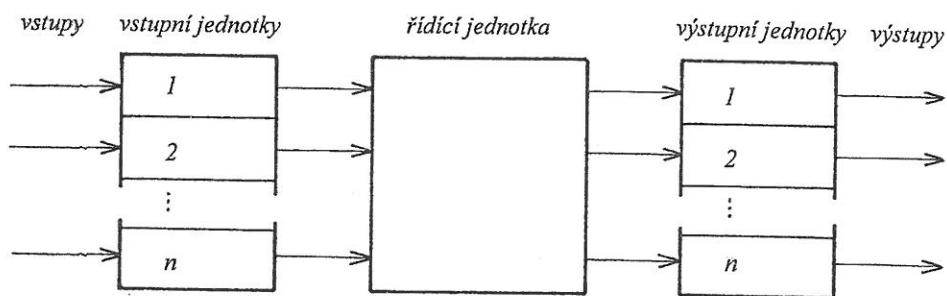
Podle pružnosti řízení, tj. podle schopnosti přijmout změnu výrobního programu lze všechny řídicí systémy (logické i analogové, pracující na různých principech) dělit na:

- *pevné*, u kterých nelze měnit jejich vlastnosti a tím i pracovní cyklus stroje bez přepracování nebo úprav systému
- *programovatelné*, u kterých lze jejich vlastnosti a tím i pracovní cyklus stroje změnit změnou programu bez úprav technického vybavení systému

Pevné systémy

Pevné systémy, často též nazývané "*hardwareové*", jsou navrhovány pro řízení konkrétního stroje a pro vykonávání daného pracovního postupu. Jejich vlastnosti jsou pevně dány jejich konstrukcí - polohou dorazů, nárazek, tvarem vaček u mechanických systémů, zapojením obvodů u hydraulických nebo elektrických systémů. Jednoúčelové zaměření systému dovoluje jeho relativně jednoduchou a tím i spolehlivou strukturu, která je při sériové výrobě daného stroje výhodná i ekonomicky. Změna konstrukce nebo funkce stroje však vyžaduje prakticky vždy i konstrukční zásah do řídicího systému, vedoucí často k jeho celkovému přepracování. Pro uživatele to znamená buď nemožnost změny parametrů stroje nebo vysoké náklady, spojené s úpravami systému, pro výrobce často neslučitelnost řídicích systémů různého provedení strojů stejného typu a s tím spojené potíže při výrobě i následné údržbě. Se zvyšující se složitostí strojů se požadavky uživatelů na parametry strojů, stupeň jejich automatizace i komfort obsluhy liší a současně klesá počet vyrobených kusů strojů stejného typu nebo provedení. Obojí má negativní dopad na cenu pevných řídicích systémů, pokud jimi lze vůbec dané požadavky splnit.

Typickým představitelem pevného řízení jsou mechanické systémy. Využívají se však již pouze u velmi jednoduchých strojů a zařízení, převážně pro svoji jednoduchost a minimální nároky na kvalifikaci a vybavení při údržbě a opravách. U dnes vyráběných strojů a zařízení mají naprostou početní převahu systémy elektrické. Klasické elektrické řídicí systémy - reléové automaty a spojitě analogové regulační obvody - jsou přitom využívány též hlavně pro řízení jednoduchých uzlů. U složitějších celků je vlastní řídicí část obvykle elektronická, klasické zůstávají výkonové a pomocné prvky a často též snímače. Obecná struktura uvedeného řídicího systému je následovná:



Obr. 3.3.46 - Obecná struktura bezkontaktních řídicích systémů

Z technologického zařízení přichází signály na *vstupní jednotky* řídicího systému. Ty provádí jeho:

- úroňové přizpůsobení
- galvanické oddělení od řídicího systému
- převod do standardního tvaru
- předání řídicí jednotce podle jejích požadavků (u synchronních automatů).

Klasické reléové automatiky pracují většinou s napětím 220 V \approx . Bezkontaktní logické řídicí systémy pracují běžně s logikou, kde log 0 je přiřazena úroveň 0 V a log 1 úroveň 5 V. Dálkový přenos údajů nebo pohon akčních prvků je třeba z důvodu ztrát i rušení provádět napětím vyšším, podle charakteru i konstrukce zařízení 12 - 220 V ss i st. *Přizpůsobení úrovní signálů* je tak první podmínkou, aby spolu jednotlivé části mohly spolupracovat.

Galvanické oddělení vstupujícího signálu od řídicích obvodů je nutné z hlediska ochrany i bezpečnosti. V případě poruchy ve vnějším zapojení nebo vstupních obvodech by mohlo mnohonásobně vyšší napětí signálů proniknout do řídicího systému a mimo jeho vážné poruchy až likvidace ohrozit bezpečnost obsluhy, způsobit požár a pod. Oddělení se provádí nejčastěji optickými vazebními členy, ale i miniaturními relé nebo v případě střídavých napětí vazebními transformátory.

Převod do standardního tvaru je nutný, je-li charakter signálu odlišný od způsobu jeho zpracování. U logicky pracujících systémů jsou nutné analogové vstupní jednotky (desky), převádějící spojitý signál analogových snímačů (analogově - číslicové převodníky), sériové vstupní jednotky vybavené čítači, určené pro zpracování impulsů např. z impulsních generátorů (sériově-paralelní převodníky) a podobně. U spojitě pracujících analogových systémů je nutný opačný převod.

U synchronních automatů (většina) obsahují vstupní jednotky navíc registry, *uchovávající údaje* o vstupních signálech do doby, než jsou na výzvu řídicí jednotky předány k dalšímu zpracování. "Výzvu" provede řídicí jednotka tak, že vyšle na adresovou nebo smíšenou sběrnici adresu. Vstupní deska s touto adresou potom vyšle na datovou nebo smíšenou sběrnici své údaje, seřazené do podoby osmi nebo šestnáctibitového slova a obsah svých registrů buď smaže nebo jej přepíše novými vstupními údaji.

Mimo zmíněné úkony je z hlediska údržby vhodné, když vstupní jednotka (její jednotlivé desky) umožňuje *vizuální kontrolu* vstupujících signálů. Každý vstup je vybaven LED, stav log 1 je indikován jejím rozsvícením.

Výstupní jednotky ovládají akční a indikační členy technologického procesu. Jsou analogií vstupních desek a vykonávají též obdobné funkce:

- galvanické oddělení řídicího systému od technologického zařízení
- převod signálu na úroveň vhodnou pro ovládání příslušných členů. Tuto funkci mohou vykonávat přímo nebo pomocí výstupních zesilovačů nebo vazebních členů, které nemusí být konstrukční součástí výstupní jednotky (např. pomocná relé a stykače v rozvodné skříně)
- podávání informací o stavu výstupních signálů v případě, že je řídicí jednotka žádá
- vizuální indikace stavu výstupních signálů.

Řídicí jednotka řídí veškerou činnost automatu. Tvoří ji logické nebo analogové obvody, jejichž zapojení vykonává funkce, jimiž je definovaná činnost řízeného stroje nebo celku. Mimo vlastní řízení poskytuje často obsluze nutné provozní údaje o poloze, pracovním režimu a technickém stavu důležitých částí uzlu a může provádět sběr a přípravu nebo přímo zpracování údajů o výrobě.

Programovatelné systémy

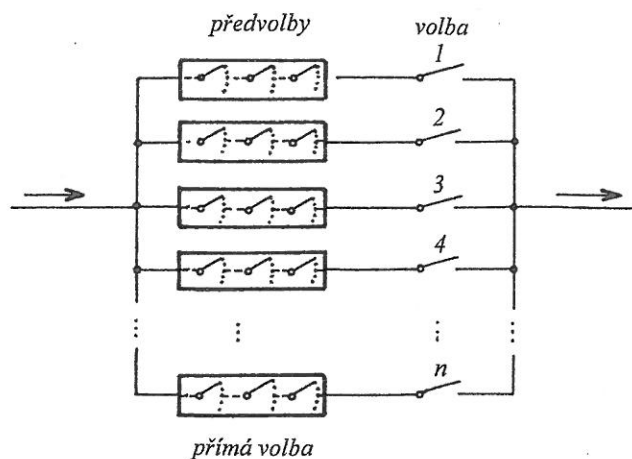
Programovatelné systémy umožňují nastavení parametrů nebo pracovního režimu bez zásahu do své konstrukce. Podle míry, ve které je nastavení možné, rozlišujeme systémy:

- *volitelné*, které umožňují volbu jednoho z určitého počtu předem pevně daných programů
- *volné řízení*, při kterém lze parametry i pořadí dílčích úkonů v určitém rozsahu volně nastavovat podle požadavků výroby

Hranice mezi oběma systémy přitom nejsou pevné. Zvyšujícím se počtem volitelných parametrů a možnostmi pracovních režimů přechází volitelné systémy plynule do volného řízení.

Volitelné systémy

Volitelné systémy obsahují (v principu) *několik variant obvodu*, které pevně definují požadované chování systému. Přepínáním jednotlivých zapojení (běžné u elektrických systémů) nebo jejich výměnou (např. nárazkových lišt nebo vaček u mechanických systémů) lze volit potřebnou variantu chování. Parametry jednotlivých variant může v jednoduchých případech nastavit obsluha (poloha nárazek, potenciometr, přepínač). Tímto způsobem jsou často řešeny předvolby, užívané u pil pro nastavování rozměrů řeziva nebo dílců, u třidičů pro definování jednotlivých boxů a pod.



Obr. 3.3.47 - Princip předvolby tloušťky řeziva u pásových pil

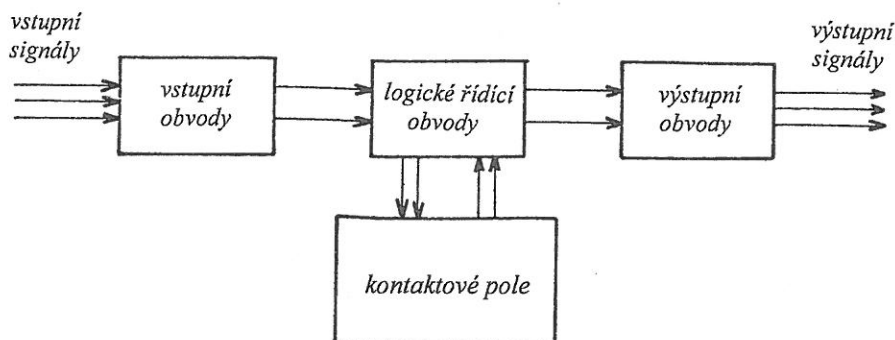
Na přepínačích předvoleb se nastaví nejčastěji se opakující tloušťky včetně nadmír a řezných spár a při vlastním pořezu volí obsluha na klávesnici pouze jednomístné číslo předvolby. Přepínače předvoleb jsou umístěny většinou uvnitř ovládacího pultu stroje. Jeden je řešen jako samostatná klávesnice na ovládacím pultu a umožňuje přímé nastavení rozměrů případného nestandardního kusu. U mechanických systémů lze změnu pracovního režimu dosáhnout se stejným výsledkem (i když pracněji) výměnou lišt se sestavami nárazek, vaček různých tvarů a podobně.

Volné řízení

Volné řízení (volně programovatelné systémy) lze řešit:

- maticovými (paralelními) systémy
- procesorovými systémy
- řídicími počítači.

Paralelní (maticové) systémy patří mezi nejjednodušší volně programovatelné prostředky.



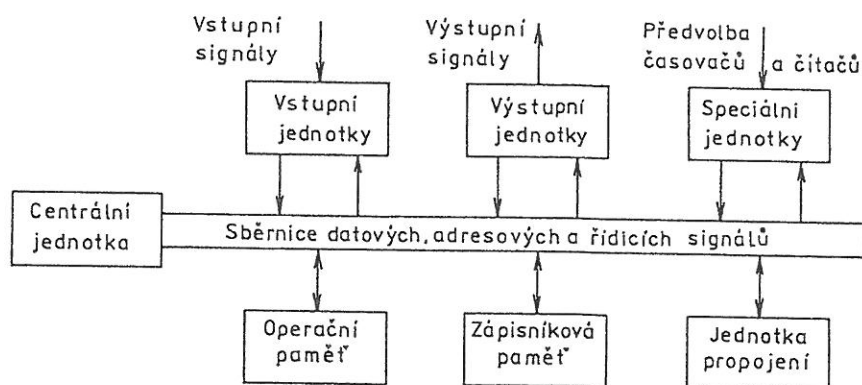
Obr. 3.3.48 - Blokové schéma paralelního řídicího systému

Signály z technologického procesu přichází na vstupní obvody, které sjednotí jejich úroveň a upraví tvar. Funkce následných logických obvodů je nastavena maticí, tvořenou kontaktoým polem. Pole je sestaveno tak, aby na něm bylo možné přehledným způsobem propojovacími kolíčky vytvořit zapojení, odpovídající požadovanému chování řídicího systému. Řízení tak probíhá současně, paralelně v celém systému, netvoří se žádná sekvence plnění dílčích úkonů. Obdobou kontaktoých polí jsou diodové matice, kde žádaný algoritmus vytváří místo vsazených kolíčků napájené diody. Výhodou uvedených systémů je mimo volné programovatelnosti jejich jednoduchost a nízká cena, nezanedbatelná je i přehlednost vlastního programování a jeho nenáročnost na znalosti obsluhy. K nevýhodám patří pracnost vlastního programování (obzvláště u diodových matic), obtížná realizace složitějších algoritmů řízení a nemožnost přípravy programu předem během používání předchozího.

Paralelní systémy, programovatelné pomocí kolíčků, jsou časté u starších, ale stále užívaných třídíčů všeho druhu, které třídí i podle více parametrů (délka, průměr, šířka, jakost, ...), u sušáren a podobně.

Procesorové systémy mají algoritmus řízení uložen v paměti v podobě programu. Jeho provádění zabezpečuje centrální jednotka - mikroprocesor, která tak řídí veškerou činnost automatu. Řízení provádí postupně v periodicky se opakujících cyklech. V průběhu cyklu přijme centrální jednotka postupně všechny vstupní signály, porovná jejich stavy s požadovanou hodnotou a vykoná všechny logické operace, vyplývající z okamžitého stavu vstupních signálů i jejich sledu. Výsledkem logických operací je postupné vyslání odpovídajících výstupních signálů jednotlivým akčním členům, ovládacím řízený technologický proces. Rychlost procesorového řídicího systému je mnohonásobně vyšší, než rychlost reakce řízeného technologického procesu. Postupné řešení jednotlivých stavů se tedy neprojevuje (např. prodlevami) a procesorový systém se zvnějšku chová jako paralelní řízení.

Procesorových automatů existuje velké množství odlišných provedení a lze je dělit podle různých hledisek. Jednotlivé skupiny se přitom plynule prolínají a nelze mezi nimi stejně jako mezi předchozími volitelnými systémy a volným řízením stanovit přesné hranice. Jako příklad obecné struktury může sloužit blokové schema na obr. 3.3.49:



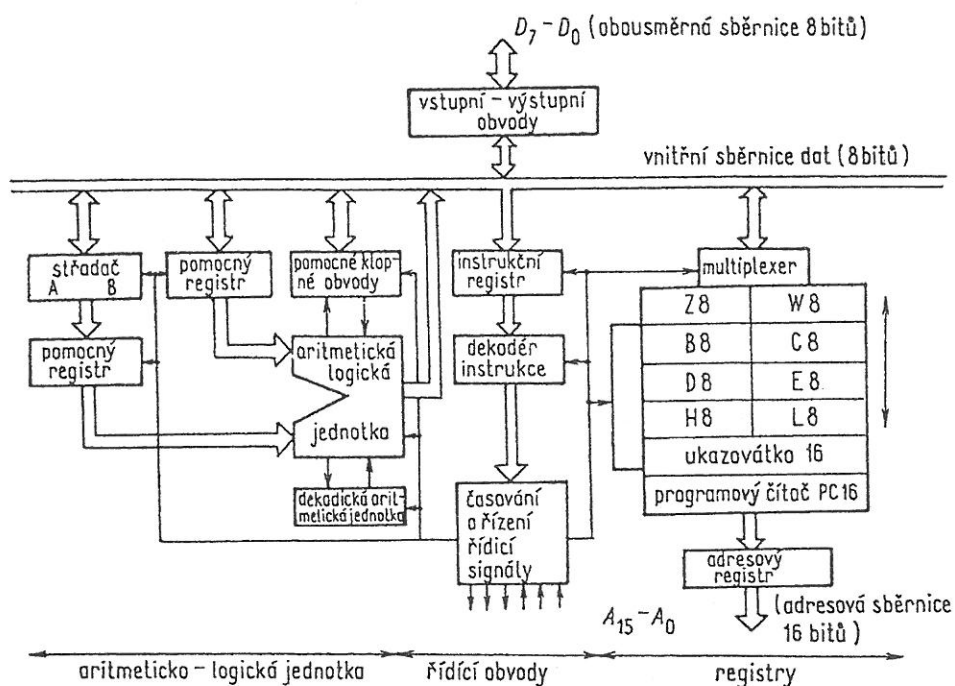
Obr. 3.3.49 - Blokové schema procesorového systému

Vstupní jednotky uchovávají údaje o vstupních signálech ve svých registrech. Řídící jednotka vysílá pravidelně ve stanoveném režimu na adresovou nebo smíšenou sběrnici postupně adresy všech vstupních desek. Desky s odpovídající adresou reagují vysláním údajů, seřazených do podoby osmi nebo šestnáctibitových slov. Podle instrukcí a dat řídicího programu, uloženého v operační paměti, zpracovává centrální jednotka vstupní údaje. Výsledky tvoří jednak výstupní signály, které pomocí výstupní jednotky ovládají technologický proces, jednak slouží pro další řízení a ukládají se do operační paměti. Případné mezivýsledky řešení se ukládají do zápisníkové paměti. Komunikace se všemi částmi zařízení se provádí po sběrnici a řídí ji centrální jednotka pomocí adres stejným způsobem, jako bylo popsáno u vstupních jednotek systémů pevného řízení.

Centrální jednotku (CPU - Central Processing Unit) tvoří mikroprocesor, často označovaný zkratkou μP . Činnost mikroprocesoru určují instrukce, tj. informace o typu požadované operace. Sled instrukcí tvoří program. Instrukce určitého programu jsou uloženy v paměti od zvolené adresy za sebou počínaje instrukcí, která se realizuje první. Na počátku každého programu se adresa první instrukce uloží do *programového čítače* (PC - Programm Counter). Mikroprocesor vybere z paměti instrukci, uloží ji do *instrukčního registru* (IR) a v *dekodéru instrukce* ji dekóduje. Potom zvětší obsah programového čítače o jedničku (inkrementuje) a určí tak adresu nové instrukce. Toto postupné vybírání instrukcí lze přerušit zvláštní skokovou instrukcí. Mikroprocesor nahradí obsah PC adresou, obsaženou ve skokové instrukci a tím dojde ke skoku do jiné části paměti instrukcí. Některé *skokové instrukce* umožňují po skončení tohoto vedlejšího sledu instrukcí (podprogramu) návrat a tím pokračování v běhu původního programu. V tom případě si musí procesor uschovat adresu návratu (tj. obsah PC). Tento postup se označuje jako *přerušování - Interrupt*.

Požadované operace provádí *aritmeticko - logická jednotka* (ALU - Arithmetic Logic Unit). Základními operacemi jsou součet a porovnání, logické AND, OR, EX-OR, a negace, příkaz ke skoku, posuny, rotace a pod. V jednoduchých případech se všechny operace vykonávají na nejnižší úrovni, tj. sčítání a odčítání. Vyšší procesory mají často ALU, vykonávající i operace násobení, dělení a další přímo, tj. ne pomocí programu, sestaveného ze základních instrukcí.

Podle rozsahu a kvality základního souboru instrukcí, které je ALU schopna přímo vykonávat, lze realizovat více nebo méně složitými programy libovolné operace (trigonometrické funkce, logaritmování, integrování, ...).



Obr. 3.3.50 - Struktura mikroprocesoru

Při provádění instrukce, např. při sčítání dvou čísel může mikroprocesor pracovat dvěma způsoby. Při prvním musí znát mimo kód vlastní operace současně adresy obou operandů a adresu na uložení výsledku, tj. tři adresy. Při druhém, jednoadresovém způsobu činnosti, vyhledá mikroprocesor na dané adrese hodnotu prvního operandu a tu uloží z operační paměti do akumulátoru (někdy též označovaného jako střadač). Adresu druhého operandu přidá ke kódu operace a jeho hodnotu přidá k obsahu akumulátoru. Další instrukcí může s obsahem akumulátoru dále pracovat nebo jej přemístit na libovolné místo paměti jako výsledek. V jednom okamžiku si tedy procesor pamatuje pouze jednu adresu.

Mimo akumulátoru (může být i druhý, pomocný) slouží mikroprocesoru při provádění instrukcí řada registrů. Stavový registr představuje jednobitovou paměť pro příznaky (Flags). Ty se nastavují podle výsledku operace a indikují přeplnění akumulátoru a tím přenos - kladný při sčítání, záporný při odčítání (příznak přenosu), nulový výsledek (nulový příznak), obsah nejvyššího bitu v akumulátoru pro určení znaménka výsledku (znaménkový příznak), případně skoky a další příznaky podle druhu a úrovně procesoru. Adresový (indexový) registr je osmi nebo šestnáctibitový a je určen pro uložení adresy paměťového místa operandů. Návrátové adresy hlavních programů při jejich přerušení nebo provádění jiných mezioperací se ukládají do registru zásobníku. Ten pracuje tak, že údaj, který je zapsán poslední, je při čtení první - systém LIFO (Last In, First Out). Pro přechodné uložení mezivýsledků (dat) uvnitř procesoru slouží pomocné datové registry a pod. Struktury registrů jsou u různých procesorů odlišné a ovlivňují ve velké míře výkonnost procesoru.

Tradiční mikroprocesory mají soubor instrukcí i délku údajů danu pevně svoji konstrukcí. Procesory pro zvláštní, hlavně vývojové použití mohou být složeny z několika samostatných obvodů. Jejich instrukční soubor i délku slova lze sestavit podle potřeb uživatele (řezové systémy). Výhodou těchto mikroprocesorů je možnost tvorby vlastních instrukčních souborů (jsou mikroprogramovatelné) nebo napodobení souboru instrukcí libovolného existujícího procesoru s pevnou logikou (emulace) a tak jeho nahrazení. Nevýhodou však představuje složitější obvodová část a potřeba samostatného vývoje programových prostředků. Proto se tyto systémy pro sériově vyráběné řídicí systémy nepoužívají.

Při náročných úlohách může spolu s centrálním procesorem spolupracovat řada *koprocesorů*, lépe vybavených na určitý typ operací. Běžné jsou aritmetické koprocesory, vykonávající přímo množství instrukcí v pohyblivé desetinné čárce i různých údajových formátech a pracující s větší přesností i rychlostí (např. při interpolaci polohy), vstupní/výstupní koprocesory, přebírající kontrolu, transformaci údajů a další úkoly při přenosu dat a podobně. Odlehčí se tak základní procesor a podstatně zkrátí čas, potřebný pro řešení dané úlohy.

Sběrnice (Bus) tvoří propojení mezi jednotlivými částmi zařízení. Podle druhu signálů, pro jejichž přenos je sběrnice určena, rozlišujeme sběrnici *adresovou*, *řídící* a *datovou* (údajovou) nebo sběrnici *smíšenou* (multiplex). Na smíšené sběrnici se jednotlivé druhy signálů vysílají v časové posloupnosti, nejprve adresa, potom údaje. Snižuje se tím počet vstupních a výstupních obvodů.

Podle směru přenosu jsou sběrnice *jednosměrné* nebo *obousměrné*. U nich se signálem na řídicí sběrnici definuje (nastaví) vysílací a přijímací člen a tím směr přenosu. Mimo to je každý člen nebo jeho část, připojená na sběrnici, definován svoji adresou. Po jejím vyslání (na adresové sběrnici) člen ohlásí (na řídicí sběrnici) stav připravenosti vysílat nebo přijímat údaje.

Sběrnice se liší též počtem bitů, který je schopna najednou přenášet. Obvykle je osmi nebo šestnáctibitová.

Členy se složitější vnitřní strukturou (např. procesory nebo paměti) mají mimo to svoje *vnitřní sběrnice*. Provoz na nich je organizován samostatně těmito členy a je na provozu hlavní sběrnice nezávislý. Zaneprázdněnost členu provozem na vnitřní sběrnici se může projevit jeho nepřipraveností komunikovat na sběrnici hlavní.

Operační paměť slouží k uložení programu, který má počítač vykonávat, a všech údajů, zpracovávaných během programu. Skládá se obvykle ze dvou částí, ROM a RAM.

Paměť typu *ROM* (Read Only Memory) je určena pouze pro čtení. Je v ní uložen řídicí program a ty údaje, které jsou během činnosti zařízení stálé (nechceme-li podstatným způsobem měnit funkci zařízení). Do základního typu paměti ROM jsou údaje vloženy již při její výrobě umístěním spojů nebo polovodičových přechodů. To může udělat pouze výrobce a potřeba změny údaje znamená potřebu výroby nového obvodu. To je základní nevýhodou těchto obvodů a proto se používají pouze u sériově vyráběných zařízení. Do obvodů typu *PROM* (Programmable Read Only Memory) se informace zaznamenává vypálením spojů nebo polovodičových přechodů na speciálním zařízení dodatečně. Uživatel tedy může do obvodu uložit (jednou) informace vlastní. U paměti *EPROM* (Erasable PROM) nejsou změny ve struktuře obvodu při záznamu nevratné. Obsah paměti lze tedy smazat (běžně intenzivním osvětlením ultrafialovým světlem) a opětovným záznamem uložit informace jiné. Obvody *EEPROM* (Electrically EPROM) lze smazat elektrickou cestou. Paměti typu EPROM nebo EEPROM jsou dnes v oblasti programovatelných automatů nejrozšířenější, protože umožňují změnu zaznamenaných údajů a tím i změnu funkce zařízení. Do žádné z pamětí, určených pouze pro čtení nelze programovatelným automatem žádnou informaci vložit ani vymazat a paměť nepotřebuje pro uchování údajů napájení.

Do paměti typu *RAM* (Random Access Memory) lze údaje v libovolném pořadí vkládat i číst (odtud anglický název "paměť s libovolným výběrem"). Je určena pro ukládání a čtení údajů, které se mění za provozu zařízení buď přímo činností řídicího počítače nebo jsou vkládány obsluhou (stav zařízení). Základní paměťové buňky tvoří většinou bistabilní klopné obvody, paměť proto potřebuje pro uchování údajů napájení. Většina zařízení má proto tuto část paměti zálohovaně napájenou akumulátory, aby se při výpadku síťového napájení nebo vypnutí zařízení údaje zachovaly a po obnovení dodávky nebo zapnutí mohlo zařízení dále pracovat od stavu, ve kterém předchozí činnost skončila. V opačném případě je nutné zařízení vypínat a zapínat pouze v počátečním "nulovém" stavu nebo před vypnutím zaznamenat stav např. na disketu, ze které se po zapnutí opět přepíše do operační paměti (u programovatelných automatů málo obvyklé řešení) nebo je třeba počátečního stavu dosáhnout v ručním režimu práce. Pro tento typ paměti se někdy používá označení *RWM* (Read Write Memory - paměť pro čtení i zápis).

Zápisníková paměť je určena pro uchování mezivýsledků řešení logických operací, které neovládají akční ani indikační členy řízeného technologického procesu. Je též využívána pro ukládání okamžitého stavu čítačů nebo časovačů, pokud jsou řešeny programově a lze v ní ukládat i stavy vstupních a výstupních signálů. Je konstruována v principu stejně, jako část *RAM* operační paměti a stejně jako ona je i obsah zápisníkové paměti chráněn proti ztrátě pomocným akumulátorem.

Speciální jednotka souvisí svojí funkcí se způsobem řešení časového zpoždění, čítání impulsů snímačů, převodů signálu a podobně. Tyto funkce lze řešit buď programově (softwareově), například s využitím zápisníkové paměti nebo technicky (hardwareově) pomocí samostatných obvodů - časovačů, čítačů, převodníků a pod. Jsou-li tyto funkce řešeny technicky, tvoří příslušné obvody, doplněné předvolbou koncových stavů a výstupními registry speciální jednotky. Jejich signál poskytuje obvykle výsledky měření, které je třeba zpracovat přednostně. K častému vybavení speciálních jednotek v těchto případech patří obvody přerušení, které po uběhnutí nastaveného času nebo dokončení čítání vyšlou na řídicí sběrnici signál žádosti o přerušení standardního běhu programu a přednostní zpracování výsledku měření.

Jednotka propojení (Interface) slouží pro připojení programovatelného automatu na programovací zařízení nebo nadřazený řídicí počítač.

Nadřazený řídicí počítač je k programovatelnému automatu připojen v případě, že uzel, který programovatelný automat řídí, je zařazen do vyššího celku. Ten je řízen počítačem a programovatelný automat mu poskytuje aktuální údaje o stavu řízeného uzlu a stavu výroby. Podle nich, podle údajů z ostatních uzlů a podle celkových výrobních potřeb provozu, které do řídicího počítače vkládá člověk upravuje počítač řídicí instrukce pro jednotlivé uzly, tj. programovatelné automaty.

Programovací zařízení je nutné pro sestavení programu a jeho vložení do automatu. Vlastnosti programovacího zařízení i jeho konstrukční řešení odpovídá velikosti a složitosti programovatelného automatu, jeho funkcím a frekvenci, s jakou je třeba zásahy do jeho programového vybavení vykonávat. Přístroje mohou být řešeny jako:

- zásuvné jednotky, které se zasouvají do rámu elektroniky programovatelného automatu na dobu, potřebnou k práci. Umožňují zadávání řídicích programů do operační paměti automatu, čtení jejího obsahu, jednoduché testování stavu vstupů, výstupů, paměti a pod. Program se obvykle skládá pouze z instrukcí základního souboru, je zadáván v hexadecimálním kódu

z číslíkové klávesnice a kontrolován na numerickém displeji. U starších zařízení lze vidět zadávání binárně ve strojovém kódu přepínači, novější a lépe vybavená zařízení disponují alfanumerickou klávesnicí a zobrazovací jednotkou z kapalných krystalů (LCD). Tato zařízení potom provádí překlad do kódu instrukcí nebo strojového kódu, někdy i překlad z jiného programovacího jazyku (např. assembleru). Zařízení uvedeného typu jsou obvyklá u jednodušších zařízení a umožňují provozní úpravy programů, běžnou údržbu a kontrolu. Časté a vhodné je použití jednoho přístroje pro více programovatelných automatů stejného typu.

- vestavná zařízení, která jsou součástí programovatelného automatu. Mají obdobné vybavení jako předešlé zásuvné jednotky a obdobné jsou i jejich možnosti a účel použití. Patří k vybavení středně velkých automatů, u kterých není úprava programu nebo kontrola stavu ojedinelým úkonem.

- samostatná programovací zařízení. Základem zařízení je běžná sestava osobního počítače, vybaveného navíc jednotkou pro ukládání údajů (programu) do paměti typu PROM, EPROM, EEPROM a pod. Umožňují sestavování programu mimo vlastní programovatelný automat a ve vyšších programovacích jazycích. Programové vybavení obsahuje řadu pomocných režimů, umožňujících podrobné testování vstupů a výstupů včetně speciálních jednotek, paměti a ostatních obvodů, vkládání meziinstrukcí do řídicího programu a jeho krokování a další úkony. Tato zařízení jsou vhodným doplňkem velkých programovacích automatů tam, kde má uživatel vlastní odborný servis a jsou nezbytná při výrobě zařízení, jeho instalaci, uvádění do provozu a celkovém servisu výrobcem.

Obdobně jako pro bezkontaktné logické obvody se i pro způsob řízení, využívající číslíkovou techniku, vžil označení "*číslíkové řízení*" nebo jeho anglická verze "*NC*" - "*Numerical Control*". V nejširším smyslu je číslíkové řízení takové řízení, které využívá prvky číslíkové techniky. Žádané hodnoty se zadávají číslíkovým kódem a řízené veličiny se snímají snímači s číslíkovým výstupem. Výstupní signály řídicího systému mají též číslíkovou formu. Analogové prvky (jsou-li použity) musí být vybaveny analogově-číslíkovými převodníky, které jsou součástí jejich samotných nebo součástí řídicího systému.

Pojmem "*NC*" se běžně označuje stroj nebo zařízení, jehož pracovní postup pro daný výrobek je dán programem a technickým vybavením.

Program je složen z řady povelů a údajů, sestavených do časové posloupnosti. Obsahuje dvě základní skupiny údajů - údaje o výrobku a údaje o pracovním režimu stroje. Údaje o výrobku mají převážně geometrický charakter a definují dráhy nástrojů nebo obrobku (nebo obojího) podle pohybových možností stroje. Údaje o pracovním režimu (technologické) definují posuvy, otáčky, výběr nástrojů a pod.

Technické vybavení umožňuje nastavení žádaných hodnot (přímo nebo v kódech) ručně na přepínačích nebo klávesnici ovládacího panelu. Ta je většinou doplněna displejem, indikujícím danou hodnotu. Paměť zadanych hodnot (zvolených přímo i předvolby) může být mechanická (přepínače) nebo elektronická (RAM). Zařízení s označením NC může ale nemusí obsahovat procesor, jeho technické vybavení však neobsahuje řídicí počítač.

Počítačové řídicí systémy se běžně označují zkratkou *CNC* - *Computerized Numerical Control*. Představují programovatelné řízení s pamětí, obsahující řídicí počítač. Svoji funkcí odpovídají číslíkovému řízení (NC), hlavní funkce jsou v nich však řešeny pomocí programů uložených v paměti počítače. Jako periférie jsou využity jak standardní periférie osobních počítačů (monitor, klávesnice, tiskárna, disketové jednotky) tak přizpůsobovací a převáděcí členy, známé z číslíkových měřicích přístrojů a procesorových systémů.

DNC (Direct Numerical Control) je systém přímého řízení většího počtu číslíkově řízených pracovních strojů pomocí nadřazeného počítače. Počítač je s řídicími systémy jednotlivých strojů propojen většinou samostatným vedením. Obsahuje údaje o výrobě pro všechny připojené stroje a aktuální sortiment výrobků. Jeho základním úkolem je operativní přidělování údajů jednotlivým strojům a shromažďování údajů o výrobě, které poskytují. Řízení běžného chodu jednotlivých strojů zabezpečují jejich vlastní NC (CNC) systémy.

Literatura:

- Makovíny, I. : Elektronické prvky a obvody,
TU Zvolen 1994
- Maršík, A. : Automatizační technika,
SNTL Praha 1986
- Švec J. a kol. : Příručka automatizační a výpočetní techniky,
SNTL Praha, 1974
- Chvála, B., Nedbal, J., Dunay, G.: Automatizace,
SNTL-ALFA, Praha 1987
- Havlíček, M., Wanke, J.: Angličtina pro elektrotechniky,
SNTL Praha, 1984
- Janovský, V. : Řídicí systémy pracovních strojů s mikroprocesory,
SNTL Praha 1988
- Kolektiv : Konstrukční katalog bipolárních integrovaných obvodů,
TESLA Rožnov pod Radhoštěm, 1989
- Kolektiv : Polovodičové součástky TESLA,
TESLA Rožnov pod Radhoštěm 1987
- Prospektová dokumentace firem Sprecher Energie - Rakousko
KEBA - Rakousko
FRABA - Německo
Tesla - ČR
ZPA - ČR
ELTES - ČR
Siemens - Německo
Omron - Japonsko