VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA MATERIÁLOVĚ TECHNOLOGICKÁ

Automatizace technologických procesů Kybernetika a automatizované systémy řízení

Autor:

Milan Vrožina, David Jiří, Garzinová Romana

Ostrava, 2007

Název: Automatizace technologických procesů - Kybernetika a automatizované systémy řízení

Katedra: Katedra automatizace a počítačové techniky v průmyslu

Autoři: Milan Vrožina, David Jiří, Garzinová Romana

Místo rok, vydání: Ostrava, 2007

Počet stran: 67

Vydala: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Neprodejné

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ

STUDIJNÍ OPORA

Název opory/předmětu:

AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ
Část 1: Kybernetika a automatizované systémy řízení

Číslo předmětu: 638419, 638414, 638418

Autor/Autoři:

prof. Ing. Milan Vrožina, CSc.
doc. Ing. Jiří David, Ph.D.
Ing. Romana Garzinová, Ph.D.

Katedra: Automatizace a počítačová technika v metalurgii

Tato studijní opora vznikla v rámci rozvojového projektu Tvorba elektronických studijních opor pro studijní programy FMMI v r. 2008

Obsah

1. ZÁKLADNÍ POJMY A VYMEZENÍ OBSAHU

1.1. Úvodní základní pojmy

Pojem **technologického procesu** (dále **TP**):

- posloupnost činností, využívajících pracovních nástrojů a energie k získání výrobku požadovaných vlastností z daných výchozích materiálů,
- realizuje se výrobní proces s využitím odpovídajících nositelů energie při dodržení výrobních technologických režimů v souboru technologických zařízení.

Jedná se tedy o operace a děje s hmotou a energií, které se uskutečňují v technologickém zařízení a jejichž vlivem vzniká výsledek v podobě výrobku nebo polotovaru.

Podle děje nebo operace, které se v hmotném prostředí uskutečňují, se TP dělí na:

- procesy, které způsobují změnu tvarových parametrů (obrábění, odlévání, válcování),
- procesy, ve kterých probíhá změna fyzikálních nebo stavových veličin (ohřevy),
- chemické a fyzikální děje,
- doprava a akumulace hmot, přenos energie a manipulace s materiálem..

Pojem **řízeného technologického procesu**:
jedná se o proces, u kterého jsou definovány základní vstupní a výstupní proměnné, které je nutno řídit v reálném čase, u kterého jsou stanoveny determinované nebo pravděpodobnostní závislosti mezi výstupními a vstupními proměnnými procesu, tj. je znám jeho matematický model, jsou rozpracovány metody měření proměnných a jsou stanoveny cílové změny.

Z hlediska systémové koncepce lze mezi základní články řídicího systému zahrnout i obsluhující personál - operátory, dispečery, technology.

Pojem **automatizovaného technologického procesu**:
jestliže řízení technologického procesu je alespoň do určité míry automatizováno, má ucelenou koncepci, vyjasněné cíle řízení a návaznosti mezi jednotlivými částmi, mluvíme o automatizovaném systému řízení technologických procesů (ASŘTP).

Pod pojmem **automatizovaný systém řízení technologického procesu** se proto rozumí systém řízení realizovaný pomocí výpočetní, automatizační a regulační techniky určený pro řízení podle předem stanovených kritérií, přičemž člověku patří aktivní úloha v procesu rozhodování.

Pokud stupeň automatizace v ASŘTP je tak vysoký, že řízení probíhá bez účasti člověka, mluvíme o **automatickém systému řízení technologického procesu**.

Systém složený z technologického procesu a z automatického řídicího systému se někdy nazývá **automatickým technologickým komplexem**.

Z dalších definic si zasluhuje zvláštní pozornost několik pojmů:

Mechanizace - nahražování fyzické práce prací strojů.

Automatizace - uskutečňování řídicí činnosti ve výrobě bez přímé účasti člověka, tj. nahražování i duševní práce.

Řídicí technika - problematika řízení v celé šíři.

Realizace úloh ASŘTP vyžaduje vyřešení těchto problémů:

- stanovení cílů řízení,
- identifikace, eventuálně systémová analýza řízeného procesu,
- sestavení počítačového modelu eventuálně simulace řízeného procesu,
- volba způsobu řízení,
- vypracování algoritmu řízení a jeho realizace,
- volba automatizačních prostředků,
- vlastní realizace, provoz a údržba.

Jednotlivé etapy řešení na sebe úzce navazují.

Složitost problémů řízení závisí na charakteru procesu. Podle charakteru rozdělujeme procesy na:

- spojité,
- přetržité,
- kombinované.

Spojité se vyskytují v chemii - vyznačují se málo častými změnami ve výrobě, ustálenými podmínkami.

Přetržité jsou typické pro strojírenskou výrobu, výrobu přístrojů atd. Je pro ně typický široký rozsah produkce, časté změny, vysoké požadavky na koordinaci.

Kombinované jsou spojením obou předchozích typů. Patří zde ve značné míře např. hutnické procesy.

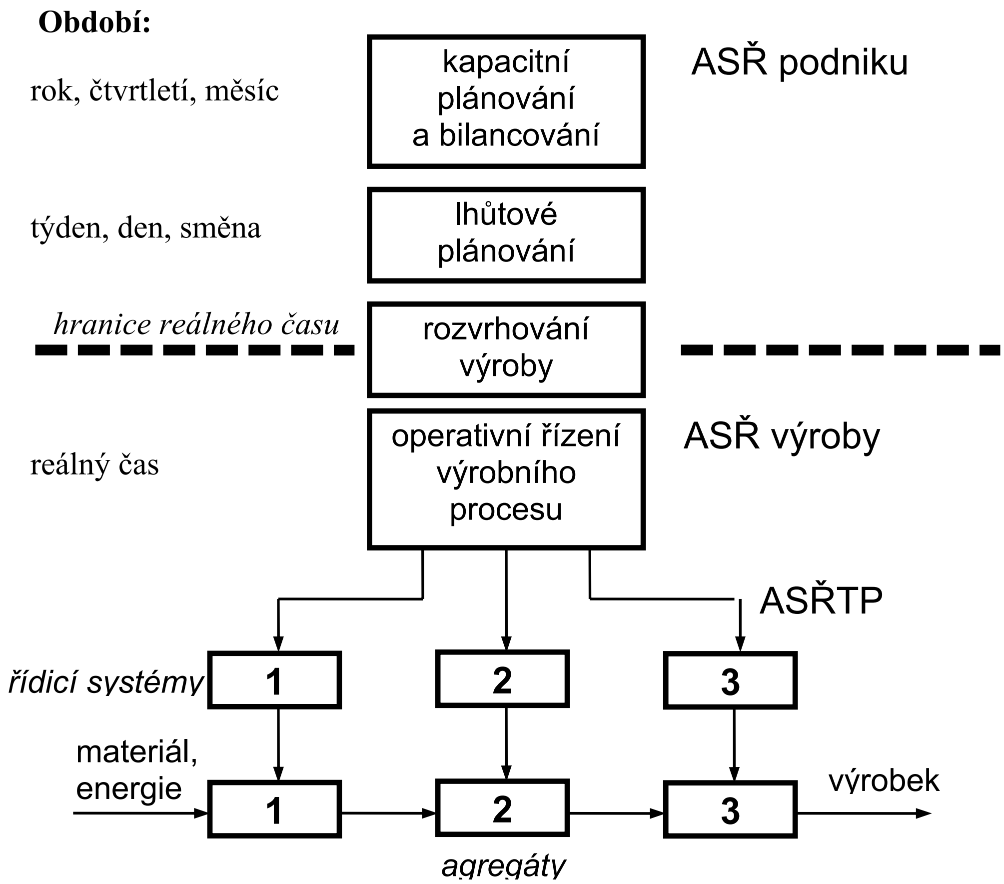
1.2. Obecné cíle a úlohy ASŘTP

Řešení problematiky ASŘTP je součástí širšího problému. Je součástí automatizovaných systémů řízení (ASŘ) výroby a podniku jako celku. ASŘTP se realizuje na úrovni dílny nebo provozu a jsou zabezpečeny vazby na ASŘ výroby a ASŘ podniku podle obrázku 1.1.

Je třeba si uvědomit současné trendy v řízení podniku jako celku, kdy počítačová technika proniká do všech útvarů podniku. Celá řada firem pracuje na filozofii komplexního počítačového řízení podniku, která je označována jako CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Jedná se o integraci hlavně řídicích činností s podporou výpočetní techniky a to všech podnikových útvarů - především konstrukce a technologické přípravy výroby CAD (Computer Aided Design) s přímým řízením výrobních komplexů CAM (Computer Aided Manufacturing). Tomu odpovídá integrovaný systém označovaný jako CAD/CAM. Podle filozofie CIM přistupuje pak integrace činností řídicích, kontrolních, dopravních, plánovacích, obchodních, finančních atd.

Velkým problémem je zde spojení řídicích systémů různých výrobců do jednoho celku. To se uskutečňuje nejčastější pomocí lokálních počítačových sítí LAN (Local Area Network). Tyto sítě jsou otevřené a celý systém je možno budovat krok za krokem. Standardizace vychází z filozofie sedmivrstvého modelu OSI (Open System Interconnection) mezinárodní organizace pro normotvornou činnost ISO (International Organization of Standardization).



Obr. 1.1. Struktura automatizovaného systému řízení v podniku

Při realizaci se rozhodujícím způsobem prosadil model firmy General Motors - tzv. systém MAP (Manufacturing Automation Protocol). Cílem je, aby se jeho všech sedm vrstev stalo standardními mezinárodními protokoly. Dodržování systému vytváří předpoklady pro plánování výrobních zdrojů způsobem MRP - Manufacturing Resourcees Planing, které umožňuje realizaci japonského způsobu řízení KANBAN - kdy výrobek plynule přechází z pracoviště na pracoviště a materiál je připravován systémem JIT (Just in Time).

Na celý systém CIM je možno se dívat jako na průnik dvou informačních toků - vertikálního - technologicky orientovaná data - reprezentující návrh, konstrukci a zabezpečení řízení technologického procesu (CAD/CAM), jednak toku horizontálního - představujícího plánování, dopravu, zásobování ale i finance, obchod, personální záležitosti. Průnik obou toků realizovaný v počítačové podpoře řízení výroby je uskutečnění filozofie řízení CIM, zabezpečující ve svém důsledku víceúčelovou optimalizaci výroby.

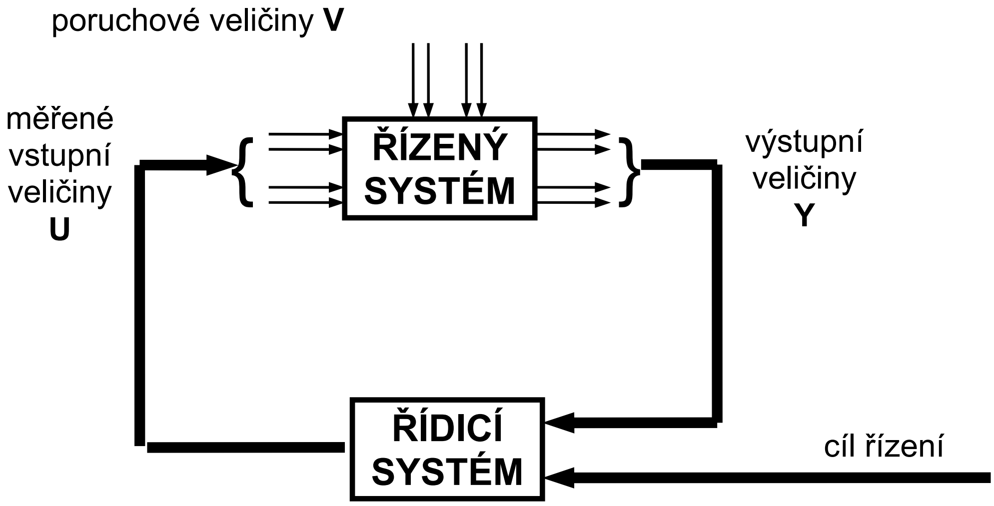
Úloha řízení v ASŘTP se dá znázornit následujícím způsobem uvedeným na obr. 1.2.

Důležitý je zde pojem *řídicí systém* a *řízený systém*.

Řídicí systém může být proveden dvojím způsobem:

- řídicí systém využívající zpětnovazební řízení tak, jak je naznačeno na obrázku,

- jako automat a to tehdy, jestli je předem známo, že požadovaná výstupní veličina řízeného systému je dána předem známou kombinací nebo posloupností vstupních veličin - pak hovoříme o logickém řízení.



U = (u_1, u_2, ... u_n) měřené vstupy procesu,
Y = (y_1, y_2, ... y_n) měřené výstupy procesu,
V = (v_1, v_2, ... v_n) poruchové veličiny.

Obr. 1.2. Znázornění úlohy řízení

1.3. Pojem systém

Pojem *systém* je jedním z nejrozšířenějších pojmů. Představujeme si pod ním množinu prvků vázaných vztahy. Tato myšlenka dala vznik *obecné teorii systémů*.

Z intuitivních důvodů, které mají zpravidla fyzikální opodstatnění, soustřeďujeme se na část vybraného prostředí. Tuto část nazveme *objekt* - vše ostatní bude *okolí*. Např. objekt je pec, okolí je válcovna, nebo objekt je válcovna a okolí je hutní podnik.

Hranice mezi objektem a okolím nelze stanovit vždy zcela přesně. Objekt vyšetřujeme z různých hledisek. Výběr vlastností závisí na účelu. Jakmile jsme se soustředili na vlastnosti podstatné, určujeme vztahy mezi těmito vlastnostmi. Tehdy definujeme na daném objektu systém.

Při definování systému na objektu můžeme rozlišit několik hierarchických úrovní.

Soubor pozorovaných změn na systému nazýváme *aktivitou systému*.

Přesnost a frekvence měření proměnných nazýváme *rozlišovací úrovní*.

Definujeme-li soubor proměnných, které nás zajímají a které můžeme na daném systému pozorovat a měřit, zvolíme rozlišovací úroveň v prostoru zvolených proměnných a určíme rozsah případných hodnot všech veličin, říkáme, že jsme na objektu definovali *zdrojový systém*. Je to v podstatě vymezení univerzální množiny charakterizující daný systém.

Doplníme-li zdrojový systém konkrétním vzorkem aktivity systému (daty) - dostáváme *datový systém*.

Najdeme-li vztah mezi proměnnými systému, který nám umožní reprodukovat vzorek aktivity, případně jej i rozšířit, získáme tzv. *generativní systém*.

Podaří-li se nám tyto vztahy rozložit na dílčí vztahy a najít vazby mezi dílčími vztahy (generativními subsystémy) dospějeme ke *struktuře systému*.

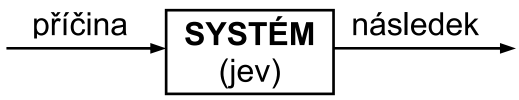
Každá ze zmíněných úrovní postupně snižuje neurčitost v popisu systému.

2. IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ

Identifikace je proces určování matematického popisu modelu řízeného systému. Je to činnost, při které určujeme strukturu a parametry modelu. Je-li struktura známá hovoříme o odhadu parametrů.

Model je pak zobrazení podstatných vlastností reálného (nebo konstruovaného) systému, které ve vhodné formě vyjadřuje informaci o systému. Musí vyjadřovat vztahy příčiny a následků. Příčina a následek jsou spolu prostřednictvím systému vázány operátorem F_o.

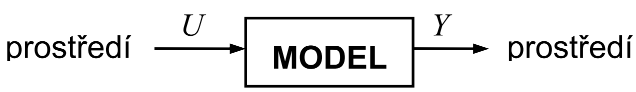
Schematicky se to dá vyjádřit:



Obr. 2.1. Vztahy v modelu systému

Popis tohoto uspořádání budeme nazývat modelem. Při tom je jedno, pomocí jakého výrazového prostředku je tento popis proveden. Může být proveden matematicky, formou grafů, tabulek, algoritmem, ale také jen slovně.

Popis lze formalizovat:



Obr. 2.2. Formalizace popisu systému

Zde jsme označili:

- příčinu U (vstup modelu),
- následek Y (výstup modelu).

Vazbu mezi nimi lze zapsat ve tvaru

$$Y = F\,(U) \qquad (2.1)$$

F je pravidlo, podle kterého přiřazujeme následek Y příčině U - přiřazujeme výstup modelu jeho vstupu. Toto pravidlo F nazveme operátorem modelu.

Úloha identifikace spočívá v určení (syntéze) operátoru modelu F, tj. v provedení vyhodnocení měření a určení odhadu operátoru F tak, aby byl v určitém předem definovaném smyslu blízký skutečnému operátoru F_o.

2.1. Identifikace v procesu řízení

Identifikace má v oblasti řízení technologických procesů charakter pomocného oboru. Abychom mohli řídit, je třeba vědět, co máme řídit. Musíme znát model objektu řízení - řízené soustavy, pro který je pak možno navrhnout řízení, nastavit jeho parametry, případně vybrat způsob řízení v určitém smyslu co nejlepší.

Je třeba poznamenat, že model určený pro potřeby syntézy řízení nemusí nutně vyjadřovat vnitřní mechanismy dějů v soustavě. Postačí získat formální souvislost mezi vstupy a výstupy soustavy. Zde je však nutno si uvědomit, že model vyjadřující fyzikální podstatu soustavy má daleko širší platnost - v celém oboru provozních stavů. V případě, že jsme schopni tyto vnitřní děje v modelu respektovat, činíme tak. Je to však daleko obtížnější a klade to vysoké nároky na provozovatele (řešitele) neboť se vyžaduje hluboká znalost technologické podstaty problému.

K zabezpečení řízení je třeba:

- mít znalosti o stavu řízené soustavy získané na základě měření vstupních a výstupních veličin soustavy,
- definovat cíl řízení,
- vytvořit algoritmus řízení.

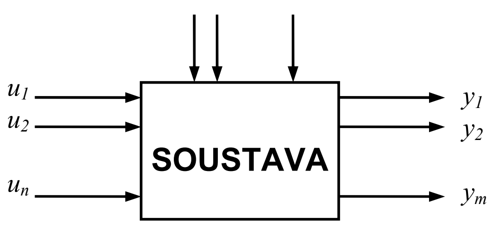
K zabezpečení těchto úkonů je třeba znát model soustavy. Pouze u řešení těch nejednodušších případů není nutno znát model soustavy. Naopak stále častěji se u složitějších systémů řízení stává model soustavy přímo součástí řídicích obvodů - je zahrnut v algoritmech řízení.

Model soustavy zde slouží:

- k návrhu nejvhodnějšího způsobu řízení,
- k určení nastavení parametrů řízení,
- k zabezpečení nepřímého měření (lze získávat údaje o stavu řízené soustavy, které nelze přímo určit měřením),
- při změně parametrů soustavy s časem umožňuje často opakovanou identifikací provádět opravu nastavení regulátorů.

2.2. Identifikované systémy (soustavy)

Objekt identifikace si lze znázornit takto:



Obr. 2.3. Objekt identifikace

kde veličiny

$u_1, u_2, \ldots\ldots, u_n$	jsou	měřitelné vstupy soustavy,
$y_1, y_2, \ldots\ldots, y_m$		měřitelné výstupy soustavy,
$v_1, v_2, \ldots\ldots, v_k$		poruchové vstupy soustavy.

Abychom mohli skutečně přistoupit k procesu identifikace, je nutno mít informace o objektu, které lze rozdělit na *apriorní* (předem dané) a *aposteriorní* (získané měřením).

2.3. Apriorní informace o soustavě

Jedná se o informace, které máme o soustavě ještě před vytvářením platných zkušeností pozorováním a měřením. Podle těchto informací můžeme vytvářet model

- dynamický nebo statický,
- deterministický nebo stochastický,
- lineární nebo nelineární,
- spojitý nebo nespojitý.

2.3.1. Model dynamický nebo statický

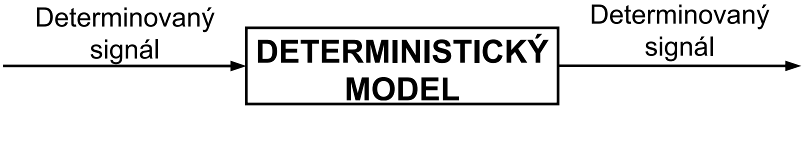
Dynamickým modelem nazýváme popis soustavy, který co nejdokonaleji vyjadřuje její chování v přechodovém stavu, čili její dynamické vlastnosti.

Výstup dynamické soustavy v určitém časovém okamžiku není dán pouze hodnotou vstupu, ale je určen rovněž i předcházejícími hodnotami vstupu. Soustava se chová jako setrvačná.

V případě, že hodnota výstupu je v každém časovém okamžiku dána okamžitou hodnotou vstupu, hovoříme o tom, že *soustava (model) je statická*.

2.3.2. Model deterministický nebo stochastický

Jestliže vstupní a výstupní funkce jsou *determinované funkce* (funkce známé, které můžeme analyticky vyjádřit) a jsou si navzájem jednoznačně přiřazeny, hovoříme o *modelu deterministickém*.

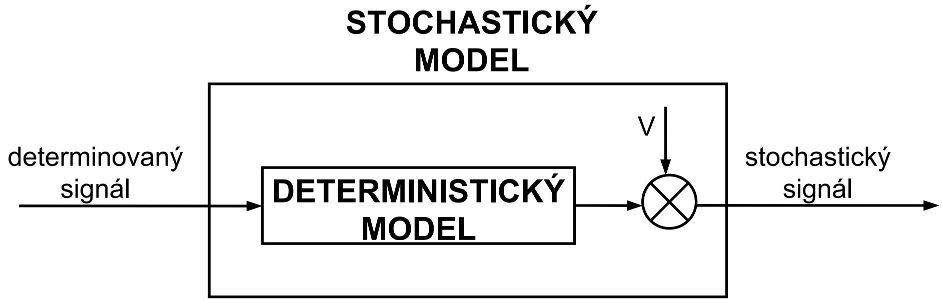


Obr. 2.4. Deterministický model

Obecně však jsou vstupní, výstupní i poruchové funkce náhodnými funkcemi času. Pak hovoříme o *stochastickém modelu*.

Podobně hovoříme o stochastickém modelu tehdy, jsou-li vstupy determinované funkce času a výstupy jsou náhodné funkce času. Tuto skutečnost lze znázornit na obrázku 2.5.

To je nejčastější případ se kterým pracujeme. Na tento stochastický model lze pohlížet jako na deterministický model s odezvou ve tvaru determinovaného signálu, která je pozorována s odchylkou *v*, mající charakter náhodné funkce času. Veličinou *v* respektujeme existenci náhodných chyb vznikajících při měření a existenci šumového signálu působícího na výstupu a majícího původ v identifikované soustavě. Často budeme tuto náhodnou funkci *v* označovat jako aditivní šum. Lze proto v dalším považovat deterministický model za zvláštní případ modelu stochastického pro $v \rightarrow 0$ (případně v souvislosti se stochastickým modelem hovořit o jeho deterministické části).



Obr. 2.5. Stochastický model

2.3.3. Model lineární nebo nelineární

Soustavu nazýváme *lineární*, platí-li u ní princip superpozice, tj. je-li její odezva na součet dvou signálů ekvivalentní součtu odezev na každou změnu vstupu zvlášť.

Někdy se zavádí pojem *nepodstatně nelineární soustava* a to v případech, kdy nelineární soustavy se pro malé signály superponované na ustálený stav chovají jako lineární.

Pomocí terminologie, kterou jsme už zavedli, lze princip superpozice vyjádřit

$$F(u_1 + u_2) = F(u_1) + F(u_2) \tag{2.2}$$

kde F je operátor modelu,
u_1, u_2 jsou vstupní veličiny soustavy (modelu).

2.3.4. Soustavy spojité a nespojité

Soustava bude *nespojitá*, jestli se její vstupy a výstupy mění jen v určitých časových okamžicích $t = (1, 2, ..., n)$. Budou-li se vstupy a výstupy měnit spojitě, jedná se o *soustavu spojitou*. Někdy se mění nespojitým způsobem pouze vstup soustavy a výstupní veličina se mění spojitě. I takovou soustavu budeme zahrnovat mezi nespojité.

2.4. Aposteriorní informace

Aposteriorní informace je ta, která vzniká na základě zkušeností. V daném případě jako výsledek pozorování a měření vstupů soustavy. Zatímco apriorní informace dává přehled zejména o kvalitativních aspektech objektu, aposteriorní informace dává přehled o kvantitativních stránkách objektu.

2.5. Identifikace struktury a parametrů soustavy

Při praktickém provádění identifikace je nutno nejprve určit strukturu operátoru a pak teprve parametry této struktury.

V případě určování struktury hovoříme o *strukturální identifikaci* (někdy také o identifikaci v širším smyslu) a při určování parametrů modelu o parametrické identifikaci neboli o *odhadu parametrů* (identifikaci v užším smyslu).

2.6. Klasifikace metod identifikace

2.6.1. Identifikace metodou matematicko-fyzikální analýzy

Identifikace metodou matematicko-fyzikální analýzy vychází ze známých přírodních zákonů, které umožňují popsat vztah mezi vstupní a výstupní veličinou soustavy. Výhodou této metody je to, že umožňuje určit matematický model v případech, kdy se soustava teprve projektuje. Výsledků takového rozboru lze užít pro volbu optimální koncepce a detailní konstrukce celého zařízení z hlediska jeho automatické regulace. Je třeba konstatovat, že metoda není jednoduchá - klade vysoké nároky na matematické a fyzikální znalosti.

2.6.2. Experimentální metody identifikace

Při tomto způsobu identifikace postupujeme obvykle tak, že pro vhodně zvolenou *strukturu modelu* (tím rozumíme způsob matematického vyjádření závislosti výstupního signálu na signálu vstupním např. ve tvaru diferenciální rovnice, diferenční rovnice, přenosu, impulsní charakteristiky) *provedeme odhad jeho parametrů* tj. řádů a velikostí koeficientů rovnic resp. přenosů. Provádíme to obvykle aplikací různých metod pro vyhodnocení záznamů odezvy systému na definovaný vstupní signál.

Výsledky experimentu lze však využít a zpracovat i jinými způsoby:
a) lze jich využít k praktickému ověření závěrů, vyplývajících z matematicko fyzikálního rozboru soustavy, případně k zpřesnění matematického modelu nalezeného cestou matematicko-fyzikální analýzy,
b) v některých případech umožňují identifikaci konstant vyjadřujících kvantitativně průběh procesu - jako jsou součinitelé přestupu tepla při ohřevu apod.

Naopak výsledků matematicko-fyzikální analýzy lze využít k odhadu řádu rovnice či přenosu identifikované soustavy při experimentální identifikaci.

Z uvedeného vyplývá, že obě metody se vhodně doplňují. Lze říci, že především vhodnou kombinací těchto metod je možno vytvořit předpoklady pro zajištění úspěchu identifikace.

2.6.3. Rozdělení experimentálních identifikačních metod

2.6.3.1. Klasické experimentální metody

Vycházejí z měření odezev na klasické determinované zkušební signály jak *neperiodické* (např. jednotkový skok, jednotkový impuls), tak i *periodické* (sinusový, obdélníkový a lichoběžníkový průběh) a z jejich vyhodnocení *klasickými vyhodnocovacími metodami* (např. aproximace tečnou v inflexním bodě, metoda postupné integrace a pod.), které obvykle nevyžadují použití výpočetní techniky. Tyto metody jsou vhodné pro soustavy, které lze popsat deterministickými modely.

2.6.3.2. Statistické experimentální metody

Vycházejí z měření odezev na náhodné resp. pseudonáhodné zkušební signály a z jejich vyhodnocení metodami zpravidla využívajícími možností současné výpočetní techniky. Tyto metody jsou složitější. Jsou vhodné pro identifikaci soustav deterministických i soustav charakterizovaných složkou šumového signálu, působícího na jejich výstupu.

Jejich matematický popis vede na formulaci stochastických modelů. Zde je vhodné připomenout již dříve uvedenou skutečnost, že model deterministický je zvláštním případem modelu stochastického.

Pojmem *statistické identifikační metody* označujeme metody, kdy parametry jsou odhadovány z podmínky, aby vhodné kritérium hodnotící vztah průběhů výstupu reálné soustavy a výstupu modelu nabývalo extrému. Z matematického hlediska vede proces experimentální identifikace na řešení úlohy optimalizace parametrů. Hlavním matematickým aparátem potřebným k řešení této úlohy je teorie pravděpodobnosti, matematická statistika a teorie náhodných procesů. Patří sem metoda korelační analýzy, metoda nejmenších čtverců, zobecněná metoda nejmenších čtverců, metoda maximální věrohodnosti atd.

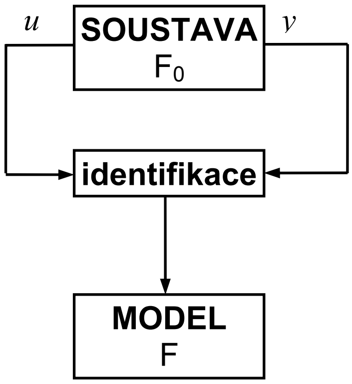
Tyto experimentální metody je možno dále dělit:
a) *aktivní a pasivní*
aktivní metody - při kterých přivádíme na vstup soustavy předem definované signály - šum, pseudonáhodný signál, nebo
pasivní metody - při kterých využíváme k identifikaci vstupní signál existující v provozních podmínkách soustavy

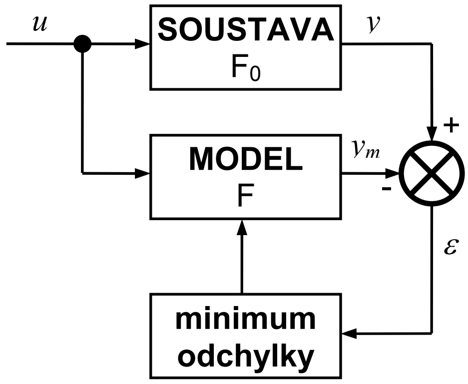
b) *neadaptivní a adaptivní*
neadaptivní metody explicitní (též metody otevřené smyčky vzhledem ke zjišťovaným parametrům nebo off-line metody). Ty umožňují odhad parametrů provedením dvou kroků:

- provedení měření na soustavě,
- odhad hledané hodnoty parametrů $p_i(N)$ z celkového počtu N dat vyhodnocených záznamů vstupního signálu a odpovídající odezvy (obr. 2.6), kde je schematicky uvedeno spojení soustavy, identifikačního systému a modelu v případě aktivní, neadaptivní metody identifikace,

metody adaptivní - implicitní (též metody uzavřené smyčky vzhledem k parametrům nebo on-line metody) umožňují odhad hledaných parametrů již v průběhu experimentu tak, že hodnoty parametrů $p_i\,(N)$ z dosud vyhodnocených N dat jsou určeny jako součet předcházejících hodnot $p_i\,(N\text{-}1)$ a korekcí vypočtených z dvojic hodnot odpovídajících N-té pořadnici vstupního zkušebního signálu a odezvy. Tyto metody umožňují identifikaci soustav v reálném čase. Na obr. 2.7 je uveden princip adaptivní identifikace. Výstup ze soustavy y a výstup z modelu y_m jsou porovnávány a je určován jejich rozdíl ε. Dále je vyhodnocováno kritérium vytvořené jako kvadrát tohoto rozdílu a automaticky nastavovány parametry modelu p_i tak, aby toto kritérium bylo minimalizováno.

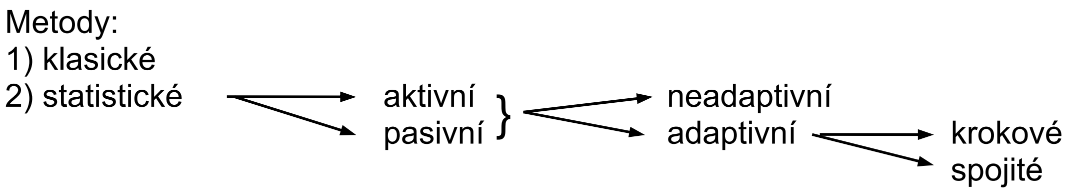
c) *metody spojité nebo krokové* - vlastní proces adaptivní identifikace může probíhat buď spojitě nebo po krocích.





Obr. 2.6. Neadaptivní metoda identifikace   Obr. 2.7. Adaptivní metoda identifikace

Rozdělení identifikačních metod může být znázorněno tímto schématem:



Obr. 2.8. Rozdělení metod identifikace

2.7. Linearizace

Při matematickém popisu reálných zařízení zpravidla obdržíme nelineární matematické vztahy, které značně komplikují další využití výsledků.

Pro malé změny vstupních a výstupních signálů můžeme předpokládat, že vztah mezi nimi je lineární, tj. vyjádřitelný lineárními diferenciálními rovnicemi.

Je několik metod linearizace matematického popisu soustav:

1. rozvoj nelineárního vztahu v řadu a využití pouze lineárních členů,
2. linearizace popisu prvků z kterých se soustava skládá,
3. linearizace pomocí aproximace metodou nejmenších čtverců.

Na tomto místě vysvětlíme linearizaci dle bodu 1.

K rozvoji v řadu zpravidla využíváme Taylorova vzorce.

Za předpokladu, že *f(x)* má v bodě x_o derivaci *n*-tého řádu, lze pro funkci jedné proměnné psát

$$f(x_0+\Delta x)=f(x_0)+\frac{1}{1!}\left[f'(x)\right]_{x=x_0}\Delta x+\sum_{k=2}^{n-1}\frac{1}{k!}f^{(k)}(x).\Delta x^k+R_n \qquad (2.3)$$

R_n je zbytek řady,

Δx malá odchylka od rovnovážného stavu.

Odobný rozvoj lze vytvořit i pro funkci více proměnných.

Při popisu soustavy se uplatňují pouze první dva členy na pravé straně rovnice, které tvoří lineární funkci.

Geometrickou interpretací této linearizace je pro jednu proměnnou aproximace tečnou v uvažovaném bodě, pro dvě proměnné aproximace zakřivené plochy tečnou rovinou.

Pro malé odchylky od pracovního bodu pro funkci $y = f(x)$ přibližně platí

$$\Delta y = \left(\frac{df}{dx}\right)_{x=x_0} \Delta x = k \cdot x \tag{2.4}$$

.

2.8. Vyjádření matematického popisu soustav

Na tomto místě se zaměříme na vyjádření popisu lineárních spojitých dynamických soustav.

Dynamické vlastnosti uvedených soustav popsat:

- lineární diferenciální rovnicí systému,
- přenosem systému v Laplaceově transformaci,
- impulsní charakteristikou,
- polohou pólů a nul přenosu systému,
- frekvenčním přenosem systému,
- frekvenční charakteristikou systému,
- odezvou systému na libovolný známý signál,
- stavovými rovnicemi systémů.

V dalším se zaměříme především na metody získání prvých tří uvedených druhů popisu.

2.8.1. Popis lineární diferenciální rovnicí

Jednou ze základních metod je popis systému lineární diferenciální rovnicí.

Obecný tvar popisu je

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \ldots + a_0 y(t) = b_m u^{(m)}(t) + \ldots + b_0 u(t) \tag{2.5}$$

kde a_i, b_j jsou konstantní koeficienty, *u(t)* je vstup, *y(t)* je výstup systému. Z podmínky fyzikální realizovatelnosti plyne $m \le n$. Řád diferenciální rovnice je roven řádu systému. Řešení rovnice je možno získat, máme-li určeny počáteční podmínky $y^{(n-1)}(0),\ldots,y(0)$ a $u^{(m-1)}(0), \ldots, u(0)$ a tvar vstupního signálu *u(t)*.

Častou formou zápisu je:

$$\sum_{i=1}^{n} a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=1}^{m} b_j u^{(i)}(t) \tag{2.6}$$

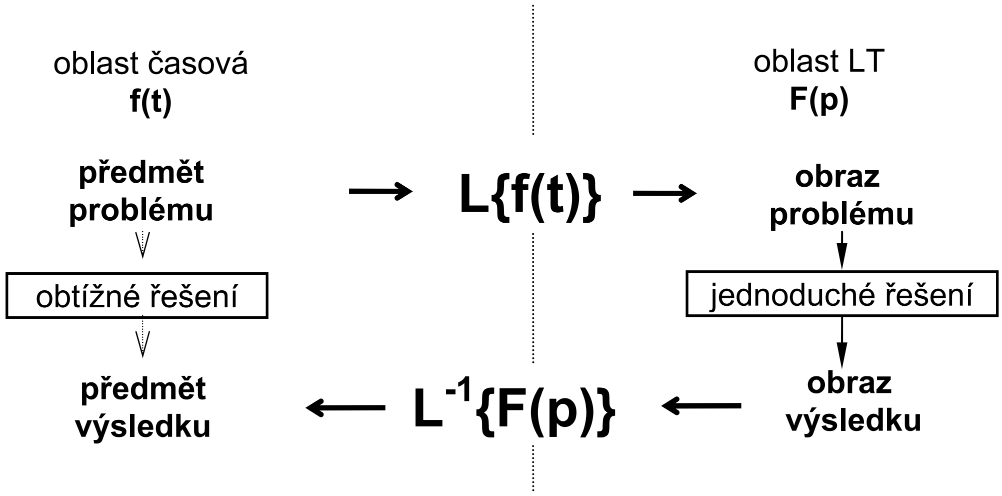
V systému s dopravním zpožděním

$$\sum_{i=1}^{n} a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=1}^{m} b_j u^{(i)}(t - T_d) \qquad (2.7)$$

kde T_d je doba dopravního zpoždění.

2.8.2. Popis přenosem v Laplaceově transformaci

Často v regulační technice, tedy i v popisu přenosových členů, užíváme tzv. *Laplaceovy transformace* (dále LT). Je to integrální transformace, která převádí matematické operace jako je derivace nebo integrace v časové oblasti na násobení nebo dělení operátorem transformace *p*. Použitím této transformace lze některé obtížně řešitelné úlohy v časové oblasti převést na jednoduché řešení v operátorové oblasti podle schématu znázorněného na obr. 2.9, kde je symbolem L{f(t)} označena transformace funce času, symbolem L^{-1}{F(p)} pak zpětná transformace laplaceova obrazu do časové oblasti.



Obr. 2.9. Postup řešení při užití Laplaceovy transformace

Základní definiční integrál Laplaceovy transformace je

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} dt \qquad (2.8)$$

Takto definovanou Laplaceovou transformací lze řešit problémy v časové oblasti počínaje časem $t = 0$. Chování systému před tímto časem, tedy jak se systém dostal do výchozího stavu, nelze takto definovanou transformací řešit. Tento stav je popsán počátečními podmínkami řešení.

Abychom nemuseli stále vypočítávat obraz podle definičního integrálu a pak provádět zpětný převod do časové oblasti, jsou zpracovány slovníky LT - stručný slovník LT je v příloze 1.

Při zápisu označujeme funkce v časové oblasti malými písmeny a říkáme jim *předměty*, funkce v operátorové oblasti označujeme stejnými velkými písmeny a říkáme jim *obrazy*. Výhody řešení užitím LT demonstrujeme na základních větách:

V2.1. Věta o obrazu derivace

Nechť $f(t), f''(t), \ldots, f^{(n-1)}(t)$ jsou spojité laplaceovsky transformovatelné funkce. Nechť $f^{(n)}(t)$ je po úsecích spojitá v intervalu <0,∞). Pak je $f^{(n)}(t)$ laplaceovsky transformovatelná a platí

$$f^{(n)}(t) = p^n F(p) - p^{n-1} f(+0) - p^{n-2} f'(+0) - \ldots - f^{(n-1)}(+0) \qquad (2.9)$$

Symbolem $f^{(n-1)}(+0)$ označujeme derivace zprava. V uvedeném vztahu zahrnují vliv počátečních podmínek na řešení.

V2.2. Věta o obrazu integrálu

Nechť $f(t)$ je laplaceovsky transformovatelná funkce, která má obraz $F(p)$. Pak i funkce $\int_0^t f(t)dt = g(t)$ je laplaceovsky transformovatelná funkce a platí

$$\int_0^t f(t)dt = \frac{1}{p} F(p) \qquad (2.10)$$

Laplaceova transformace umožňuje určit limity funkce $f(t)$, pokud tyto limity existují. LT ale existenci limit nepotvrzuje.

V2.3. Věta o počáteční hodnotě

Nechť $f(t)$ je laplaceovsky transformovatelná funkce, která má obraz $F(p)$, nechť existuje konečná $\lim_{t\to 0} f(t)$, pak

$$\lim_{t\to 0} f(t) = \lim_{p\to\infty} pF(p) \qquad (2.11a)$$

V2.4. Věta o konečné hodnotě

Za analogických předpokladů platí

$$\lim_{t\to\infty} f(t) = \lim_{p\to 0} pF(p) \qquad (2.11b)$$

V2.5. Věta o translaci vpravo

Nechť $f(t)$ je laplaceovsky transformovatelná funkce, která má obraz $F(p)$. Pak i funkce $f(t-\tau).\eta(t-\tau)$, kde $\eta(t)$ je tzv. Heavisideův jednotkový skok (viz dále), je laplaceovsky transformovatelná funkce a platí

$$f(t-\tau).\eta(t-\tau) = e^{-p\tau}.F(p) \qquad (2.12)$$

Diferenciální rovnici (2.5) můžeme při nulových počátečních podmínkách použitím věty o obrazu derivace V2.1 převést na *přenos soustavy (obrazový přenos)* - což je obraz diferenciální rovnice při nulových počátečních podmínkách.

$$a_n p^n Y(p) + a_{n-1} p^{n-1} Y(p) + \ldots + a_0 Y(p) = b_m p^m U(p) + \ldots + b_0 U(p) \qquad (2.13)$$

$$Y(p)\left(a_n p^n + \ldots + a_0\right) = U(p)\left(b_m p^m + \ldots + b_0\right) \tag{2.14}$$

Z čehož obrazový přenos

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{b_m p^m + \ldots + b_0}{a_n p^n + \ldots + a_0} \tag{2.15}$$

Základní rovnice přenosu

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{b_0 + b_1 p + \ldots\ldots + b_m p^m}{a_0 + a_1 p + \ldots\ldots + a_n p^n} \tag{2.16}$$

se často upravuje:

$$G(p) = \frac{\frac{b_0}{a_0} + \frac{b_1}{a_0} p + \ldots\ldots + \frac{b_m}{a_0} p^m}{1 + \frac{a_1}{a_0} p + \ldots\ldots + \frac{a_n}{a_0} p^n} = \frac{\beta_0 + \beta_1 p + \ldots\ldots + \beta_m p^m}{1 + \alpha_1 p + \ldots\ldots + \alpha_n p^n} = \frac{\sum_{j=0}^{m} \beta_j p^j}{1 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i p^i} \tag{2.17}$$

V praxi má přenos soustavy často tvar

$$G(p) = \frac{\frac{b_0}{a_0}}{1 + \frac{a_1}{a_0} p + \ldots\ldots + \frac{a_n}{a_0} p^n} = \frac{K}{1 + T_1 p + T_2^2 p^2 + \ldots\ldots + T_n^n p^n} \tag{2.18}$$

kde K je zesílení soustavy - vystupující jako měřítko. Po vydělení rovnice zesílením K získáme další často užívaný tvar

$$G(p) = \frac{1}{s_0 + s_1 p + s_2 p^2 + \ldots\ldots + s_n p^n} \tag{2.19}$$

Fourierovým operátorem $j\omega$ dostáváme přenos ve frekvenční oblasti, kde $\omega = 2\pi f$ je kruhová frekvence. Tento tzv. *frekvenční přenos* je používán pro zkoumání vlastností soustav při Formálním nahrazením Laplaceova operátoru p vstupních signálech o různých frekvencích. Je však nutno poznamenat, že podmínky aplikace Fourierovy a Laplaceovy transformace na funci času se liší.

2.9. Deterministické metody identifikace

Jedná se o experimentální metody identifikace, při kterých neuvažujeme působení náhodných veličin na objektech ani neuvažujeme nepřesnosti měření. Deterministické metody jsou jednoduché a názorné. Je-li měření na objektu provedeno pečlivě, dostaneme dobré výsledky. Hodí se především pro jednoparametrové soustavy. Pro víceparametrové soustavy se hodí tehdy, můžeme-li hodnoty nesledovaných veličin zanedbat nebo jejich vliv vyloučit (udržováním na konstantní hodnotě).

2.10. Vstupní signály užívané v deterministické identifikaci

Vlastnosti jakéhokoliv systému můžeme pozorovat za různých podmínek:

- v ustáleném stavu - pak hovoříme o *statických vlastnostech*,
- ve stavu neustáleném - pak hovoříme o *dynamických vlastnostech*.

Statické vlastnosti soustavy stavu se dají vyjádřit statickými charakteristikami, které jsou vlastně závislosti výstupní veličiny na vstupní veličině.

$$y = f(u) \tag{2.20}$$

U lineárních soustav předpokládáme tuto závislost lineární. Prakticky však bývá tato závislost nelineární a provádíme její linearizaci v okolí pracovního bodu dříve uvedenými metodami.

Nejednodušším způsobem zjišťování této závislosti u dynamických soustav, kterými se nyní zabýváme, je metoda určování bod po bodu. Postupně nastavujeme hodnoty vstupní veličiny a měříme odpovídající hodnoty výstupní veličiny. Přitom dbáme, aby se neuplatnila dynamika systému. To zajistíme dodatečně odečítáním výstupní veličiny po určité době od změny vstupní veličiny, až se soustava dostane do ustáleného stavu.

Pro určení dynamických vlastností soustav zavádíme na vstup soustavy předem definované signály. Tyto signály jsou buď neperiodické nebo periodické. Podle těchto vstupních signálů dělíme deterministické metody na metody vyhodnocení přechodových, frekvenčních a impulsních charakteristik, a dále na metody, při kterých je vstupní signál ve tvaru obecné funkce času, splňuje však určité omezující předpoklady.

Mezi nejčastěji používané *neperiodické* vstupní signály patří:

- Heavisideův jednotkový skok $\eta(t)$,
- Diracův jednotkový impuls $\delta(t)$,
- jednotkový skok rychlosti,
- jednotkový skok zrychlení (užívaný méně často).

Mezi nejčastěji používané periodické signály patří:

- sinusový průběh,
- sled pravoúhlých impulsů,
- sled lichoběžníkových impulsů,
- sled trojúhelníkových impulsů.

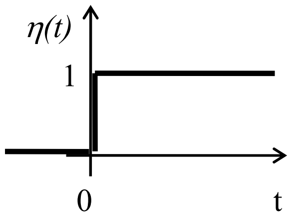
2.10.1. Neperiodické vstupní signály

2.10.1.1. Heavisideův jednotkový skok $\eta(t)$

Je definován

$\eta(t) = 1$ pro $t \geq 0$

$\eta(t) = 0$ pro $t < 0$ (2.21)



Obr. 2.10. Heavisideův skok

V Laplaceově transformaci L$\{\eta(t)\}$ = $1/p$.

V čase $t = 0$ se skokově změní hodnota signálu z nuly na jedničku.

Odezvu na tento vstupní signál nazýváme *přechodová funkce*, její graf pak *přechodová charakteristika* soustavy a označujeme ji $h(t)$.

2.10.1.2. Diracův jednotkový impuls $\delta(t)$

Představujeme si, že vzniká z impulsu o výšce h a šířce b. Plochu impulsu si zvolíme jednotkovou a při současném zmenšování šířky ($b \to 0$) zvětšujeme výšku ($h \to \infty$) tak, aby stále platilo

$$b\,.h = 1 \qquad (2.22)$$

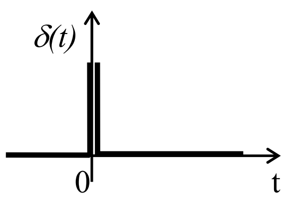
Diracův impuls $\delta(t)$ je idealizovaná funkce fyzikálně nerealizovatelná. Lze ji charakterizovat vztahy:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)\,dt = 1$$

$\delta(t) = 0$ pro všechna $t \neq 0$ (2.23)

$\delta(t) = \infty$ pro $t = 0$, nelze prakticky realizovat

Laplaceův obraz L $\{\delta(t)\}$ = 1.



Obr. 2.11. Diracův impuls

Odezvou systému na vstupní signál ve tvaru Diracova impulsu je *impulsní funkce* a její grafické zobrazení pak *impulsní charakteristika* systému a označujeme je $g(t)$.

Diracův impuls je derivací Heavisideova jednotkového skoku a podobně je i impulsní charakteristika derivací přechodové charakteristiky.

2.11. Rozdělení regulovaných soustav

Základní dělení je na

- proporcionální (dřívější termín statické),
- integrační (dřívější astatické).

Proporcionální soustavy se při vychýlení z rovnovážného stavu samy ustálí na nové hodnotě rovnovážného stavu. Integrační soustavy jsou takové, že po vychýlení z rovnovážné polohy se bez působení regulátoru již neustálí v nové rovnovážné poloze.

Řád diferenciální rovnice popisující systém vyjadřuje řád soustavy.

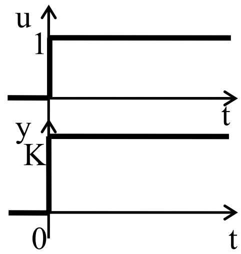
2.11.1. Proporcionální (statické) soustavy

2.11.1.1. Soustava 0. řádu

Diferenciální rovnice: $a_0 y(t) = b_0 u(t)$ (2.24)

Obrazový přenos: $G(p) = \dfrac{Y(p)}{U(p)} = \dfrac{a_0}{b_0}$ (2.25)

kde zesílení soustavy $K = b_0/a_0$



Obr. 2.12. Přechodová funkce

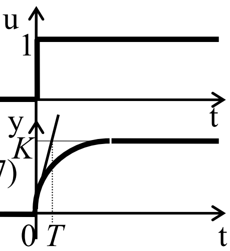
Příklad:
elektronický zesilovač, obecně zesilovače, převodovky, potrubí s kapalinami

2.11.1.2. Soustava 1. řádu

Diferenciální rovnice: $a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t)$ (2.26)

Obrazový přenos: $G(p) = \dfrac{Y(p)}{U(p)} = \dfrac{b_0}{a_1 p + a_0} = \dfrac{K}{Tp+1}$ (2.27)

kde K je zesílení soustavy,
T časová konstanta.



Obr. 2.13. Přechodová funkce

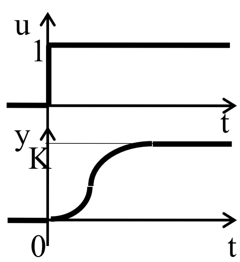
Příklad:
tlakové nádrže plněné plynem, elektrické obvody s odpory a kapacitami, s odpory a indukčnostmi (buzení stejnosměrných motorů apod.)

2.11.1.3. Soustava 2. řádu

Diferenciální rovnice:

$$a_2 y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t) \quad (2.28)$$

Obrazový přenos: $G(p) = \dfrac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} = \dfrac{K}{1 + T_1 p + T_2^2 p^2}$



kde K je zesílení soustavy, (2.29)
T_1, T_2 časové konstanty.

Obr. 2.14. Přechodová funkce

Tvar přechodové funkce závisí na řešení charakteristické rovnice - jmenovatele přenosu. Jsou-li oba kořeny reálné záporné, pak má přechodová funkce *h(t)* tvar uvedený na obr. 2.14.

Jsou-li kořeny komplexně sdružené, má přechodová funkce kmitavý charakter, tj. překmitne ustálenou hodnotu a tlumeně kmitá kolem ní až kmity ustanou.

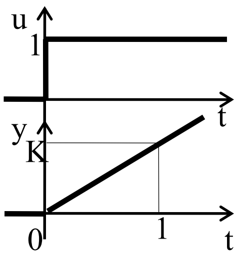
Příklad:
pružně uložené hmoty (hmotnost na pružině), elektrické obvody současně obsahující odpory, indukčnosti a kapacity (oscilační obvody) apod.

2.11.2. Jiné soustavy

2.11.2.1. Integrační (astatická) soustava 0. řádu

Diferenciální rovnice: $a_1 y'(t) = b_0 u(t)$ (2.30)

Obrazový přenos: $G(p) = \dfrac{Y(p)}{U(p)} = \dfrac{\frac{b_0}{a_1}}{p} = \dfrac{K}{p}$ (2.31)



Obr. 2.15. Přechodová funkce

Příklad:
řízení vozidel, plnění velkých zásobníků plynem, zásobníky sypkých hmot apod.

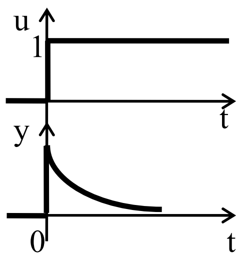
2.11.2.2. Derivační člen

Diferenciální rovnice: $y(t) = b_1 \cdot u'(t)$ (2.32)

Obrazový přenos:

ideálního členu: $G(p) = b_1 \cdot p$ (2.33)

skutečného členu: $G(p) = \dfrac{K \cdot p}{\tau p + 1}$ (2.34)



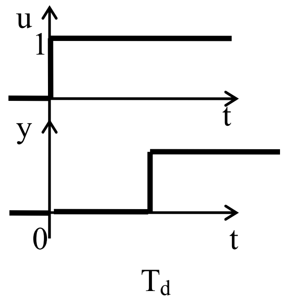
Obr. 2.16. Přechodová funkce skutečného členu

Příklad:
derivační regulátor, elektrické obvody s odpory a kapacitami nebo s odpory a indukčnostmi

2.11.2.3. Pojem dopravního zpoždění

Rovnice: $a_0 y(t) = b_0 u(t - T_d)$ (2.35)

Obrazový přenos: $G(p) = \dfrac{b_0}{a_0} e^{-pT_d}$ (2.36)



Obr. 2.17. Přechodová funkce

Příklad:
dopravníky, řízení kontinuálních válcovacích stolic, vrstvení tekutými materiály (polévání filmové podložky emulsí) apod.

2.12. Nelineární členy

Jak bylo uvedeno, nelineární členy se od lineárních liší tím, že u nich neplatí princip superposice. Výstupní signál tudíž závisí nejen na dynamických vlastnostech přenosového členu, ale současně i na amplitudě vstupního signálu.

Nelinearity mohou být buď přímo vlastností reálného objektu nebo mohou být uměle zavedené.

Základní nelinearity jsou např. nasycení, pásmo necitlivosti, vůle v převodech, hystereze, tření.

Uměle zavedené jsou např. nelinearity reléového typu používané v regulátorech - viz kapitola o nespojitých regulátorech.

2.13. Bloková algebra

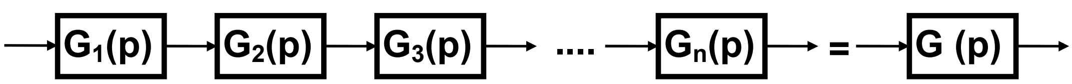
Ve skutečnosti existuje řada dalších druhů členů s různým stupněm diferenciální rovnice, jednotlivé typy se mohou kombinovat. Pokud je přenos systému složitý, rozložíme ho na jednodušší členy - bloky s jednoduššími přenosy, které jsme schopni popsat.

Výsledným přenosem spojení několika jednodušších členů se zabývá tzv. bloková algebra. Je to souhrn pravidel, pomocí níž lze určit výsledný přenos libovolné kombinace přenosových členů o dílčích přenosech $G_1(p)$, $G_2(p)$, $G_3(p)$, ...$G_n(p)$.

Základní typy zapojení:

a) sériové

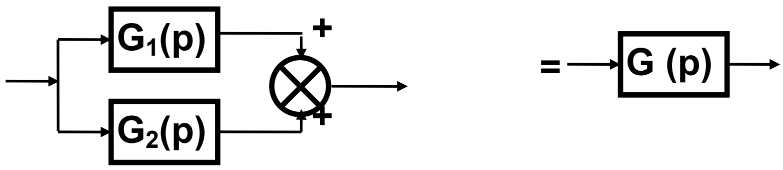
$$G(p) = G_1(p) \cdot G_2(p) \cdot \ldots \cdot G_n(p) \qquad (2.37)$$



Obr.2.18. Sériové zapojení přenosových členů

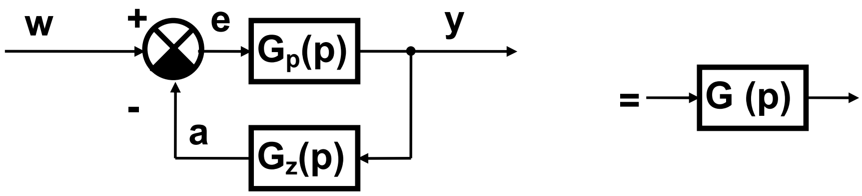
b) paralelní

$$G(p) = G_1(p) + G_2(p) + \ldots + G_n(p) \tag{2.38}$$



Obr. 2.19. Paralení zapojení přenosových členů

c) antiparalelní (zpětná vazba)



Obr.2.20. Antiparalení zapojení přenosových členů (zpětná vazba)

V tomto zapojení platí:

$$e = w - a \tag{2.39}$$

$$a = G_z \cdot y \tag{2.40}$$

$$y = G_p \cdot e \Rightarrow e = \frac{y}{G_p} \tag{2.41}$$

$$\frac{y}{G_p} = w - G_z \cdot y$$

$$y = w \cdot G_p - G_p \cdot G_z \cdot y$$

$$y(1 + G_p G_z) = w \cdot G_p$$

Úpravami těchto vztahů dostaneme výsledný tvar přenosu antiparaleního (zpětnovazebního) obvodu (2.42):

$$G(p) = \frac{Y(p)}{W(p)} = \frac{G_p}{1 + G_p G_z} \tag{2.42}$$

Jestliže je přenos v přímé větvi G_p značně velký, např. zesilovač s velkým zesílením, tedy $G_p >> 1$, pak z upraveného vztahu (2.42)

$$G(p) = \frac{1}{\frac{1}{G_p} + G_z} \approx \frac{1}{G_z} \tag{2.43}$$

Výsledný přenos takového obvodu je dán převrácenou hodnotou zpětnovazebního přenosu. Této skutečnosti se značně využívá např. při konstrukci snímačů, konstrukci regulátorů apod. Jejich základním prvkem je zesilovač s velmi velkým zesílením, tzv. operační zesilovač, v jehož zpětné vazbě jsou zapojeny prvky určující výsledný přenos zapojení.

2.14. Určování statických a dynamických vlastností soustav vyhodnocováním přechodových charakteristik

2.14.1. Měření přechodových charakteristik

Měřením se určuje odezva *y(t)* soustavy při změní vstupního signálu *u(t)* skokem známé velikosti. Časový průběh výstupní veličiny, převedený na jednotkovou změnu vstupu je přechodovou charakteristikou objektu. Před provedením změny musí být soustava v ustáleném stavu. Změna vstupního signálu se obyčejně provede přestavením regulačního orgánu. Průběh výstupní veličiny *y(t)* se zaznamenává vhodným registračním zařízením. Skoková změna vstupní veličiny musí proběhnout tak rychle, aby doba jejího přechodu z výchozí do konečné polohy byla mnohem kratší, než je odezva zkoumaného členu. Vlastní přechod musí být monotonní. Odezva registračního zařízení musí být mnohem rychlejší než je odezva měřeného členu.

Při měření charakteristik soustavy s krátkými časovými konstantami je nutno budit soustavu opakujícími se pulsy.

Měření je nejčastěji používané pro svou jednoduchost a nenákladnost. Tvar přechodové charakteristiky závisí nejen na řádu soustavy, ale také na hodnotách nul a pólů přenosu. Většina reálných soustav neobsahuje v přenosu nuly, nýbrž póly a to reálné.

Metody se hodí pro soustavy s velkými časovými konstantami. Pozor - důležité informace se nachází v samotném okolí počátku přechodové charakteristiky. Velikost přemístění orgánu se volí podle skutečných podmínek, za kterých sledovaná soustava pracuje. Musí být dodatečně veliká, aby vedlejší poruchy nenarušily průběh odezvy. Velká přemístění nejsou žádoucí, neboť mohou silně narušit režim soustavy a mohou se i nepříznivě projevit i nelineární průběhy. Na základě naměřeného průběhu odvozujeme přechodovou charakteristiku jako odezvu na jednotkový skok tj. na změnu vstupní veličiny o jednotku.

2.14.2. Grafická analýza přechodových charakteristik

2.14.2.1. Soustavy prvního řádu

Pokud má objekt pouze jeden akumulátor energie dá se popsat systémem 1. řádu. Přenos statického systému prvního řádu

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{b_0}{a_1 p + a_0} = \frac{K}{Tp + 1} \tag{2.44}$$

kde zesílení $K = b_0/a_0$ a časová konstanta $T = a_1/a_0$.

Přechodová charakteristika systému je na obr. 2.13. Jak je naznačeno, určíme zesílení K jako pořadnici asymptoty k přechodové charakteristice a časovou konstantu T jako čas odpovídající bodu průsečíku tečny k přechodové charakteristice v počátku s asymptotou.

Podobně u integračního systému, jehož přenos je:

$$G(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{\frac{b_0}{a_1}}{p} = \frac{K}{p} \tag{2.45}$$

určíme zesílení K způsobem naznačeným na obr. 2.15. Je to vlastně hodnota výstupu soustavy dosažená v čase $t = 1$.

2.14.2.2. Soustavy druhého a vyššího řádu.

Přesné určení dynamických vlastností regulované soustavy podle záznamů přechodových charakteristik není prakticky možné. Proto se vyhodnocování přechodových charakteristik zpravidla spojuje s aproximací skutečných vlastností soustav.

V praxi jsou nejčastějším případem statické soustavy u nichž kořeny charakteristické rovnice - póly systému jsou vesměs reálné záporné. Pro tyto soustavy se navrhuje, skutečné vlastnosti těchto soustav aproximovat soustavami buď n-tého řádu s vesměs stejnými časovými konstantami, nebo soustavami druhého řádu s různě velkými časovými konstantami.

Podle metody navržené prof. V. Strejcem [4] lze libovolný statický systém výše uvedených vlastností aproximovat přenosem typu

$$G(p) = \frac{K}{(Tp+1)^n} \cdot e^{-pT_d} \tag{2.46}$$

nebo

$$G(p) = \frac{K}{(T_1 p+1) \cdot (T_2 p+1)} \cdot e^{-pT_d} \tag{2.47}$$

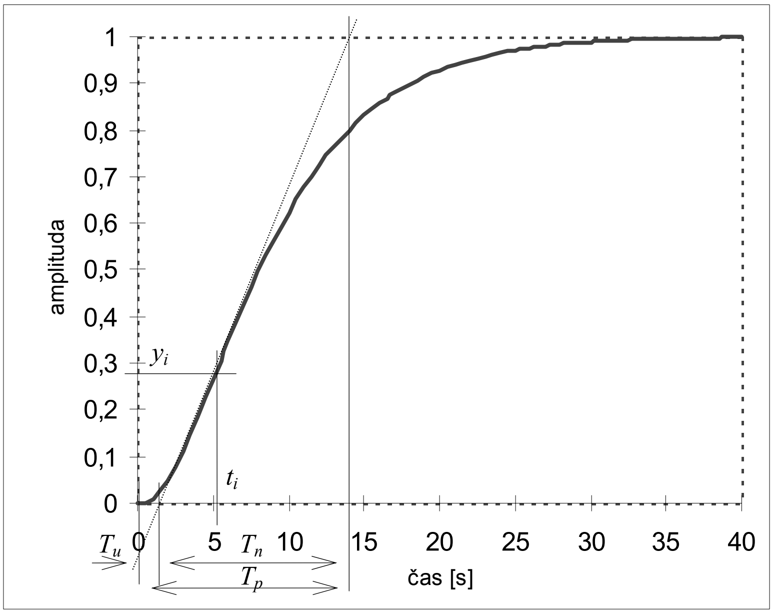
Pro přechodovou charakteristiku soustavy 2. a vyššího řádu je typické, že výstupní veličina se ihned po změně vstupu nemění, jak je tomu u soustav 1. řádu (první derivace v čase $t = 0$ je nulová). Analýzu provedeme pro soustavu bez dopravního zpoždění. V případě, že soustava má dopravní zpoždění, dá se toto zpoždění zjistit z fyzikálních a konstrukčních dat o soustavě nebo měřením. Postup při určování řádu a časových konstant soustav bude obdobný jako u soustav bez dopravního zpoždění. Typická přechodová charakteristika soustavy vyššího řádu je na obr. 2.21.

Postup při aproximaci přechodové charakteristiky je tento:

1. Změřenou přechodovou charakteristiku překreslíme v novém měřítku tak, aby ustálená hodnota byla rovna jedné
2. Nakreslíme tečnu v inflexním bodě přechodové charakteristiky, určíme dobu průtahu T_u, dobu náběhu T_n a jejich poměr $\tau = T_u / T_n$.
3. Z tabulky [4] určíme souřadnici inflexního bodu y_i a pomocí ní určíme z grafu příslušnou souřadnici t_i.

První přenos (2.46) odpovídá systému n-tého řádu s jednou n-násobnou časovou konstantou T a dopravním zpožděním T_d. Druhý přenos (2.47) odpovídá systému druhého řádu s dvěma navzájem různými časovými konstantami a dopravním zpožděním.

Pro $\tau > 0{,}104$ volíme aproximační přenos systému n-tého řádu s vesměs stejnými časovými konstantami. Pro τ z intervalu 0 - 0,104 volíme přenos s dvěma různými časovými konstantami.



y_i , t_i souřadnice inflexního bodu,
T_u doba průtahu,
T_n doba náběhu,
T_p doba přechodu.

Obr. 2.21. Vyhodnocení přechodové charakteristiky proporcionální soustavy vyšších řádů

3. SAMOČINNÁ REGULACE

3.1. Základní pojmy

Mechanizace - odstraňuje namáhavou fyzickou práci zavedením stroje, k jehož chodu je potřeba pomocné energie.

Informaci o stavu řízeného procesu získáváme měřením. **Měření** je určení hodnoty veličiny jako součinu čísla a fyzikální jednotky.

Podle normy ČSN 01 0170 - Názvosloví z oboru automatizace a regulační techniky je:

Automatizace - proces vývoje techniky, kde se využívá zařízení k osvobození člověka nejen od fyzické, ale zejména od duševní řídicí práce.

Řízení - působení řídicího členu na člen řízený.

Řízení může být:

ruční	automatické
přímé	nepřímé
místní	dálkové (telemechanika)

Jiná kategorizace řízení:

- řízení
  - ovládání
    - ruční
    - automatické
  - regulace
    - ruční
    - automatická

Ovládání - řízení bez zpětné kontroly (měřením).

Regulace - řízení se zpětnou kontrolou měřením (řízení při němž se udržuje hodnota veličiny podle stanovených podmínek zjištěných měřením).

Automatické ovládání - automatizuje práci stroje, zařízení, ale protože chybí složka měření, může dojít při poruše k opakované nekvalitní výrobě.

Samočinná (automatická) regulace - samočinné udržování hodnot regulované veličiny podle zadaných podmínek a naměřených hodnot této veličiny. Jedná se tedy o řízení se zpětnou kontrolou měřením - základní řídicí jednotkou je tzv. **regulátor**.

Samočinná regulace má hlavní uplatnění tam, kde se hodnoty provozních veličin případně i parametry procesu neustále mění.

Vyšší stupně automatického řízení jsou:

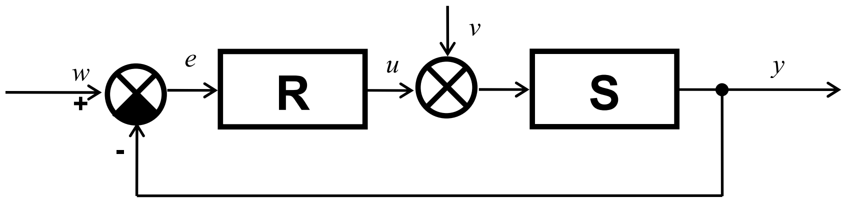
Víceparametrová regulace - reguluje současně více veličin, které spolu souvisí.

Adaptivní regulace - regulátor mění své vlastnosti tak, aby bylo dosahováno průběžně vysoké kvality regulace.

Optimalizace - v průběhu regulace se udržuje proces v jistém smyslu optimální. Může to být jak optimální průběh regulačního pochodu, tak i optimální průběh vlastního technologického procesu dosahujícího např. nejlepších ekonomických výsledků.

3.2. Funkce regulačního obvodu

Základní zapojení zpětnovazebního regulačního obvodu:



w	žádaná hodnota	v	poruchová veličina
$e = w - y$	regulační odchylka	**R**	regulátor
u	akční veličina	**S**	soustava
y	regulovaná veličina		porovnávací člen

Obr. 3.1. Regulační obvod

Základní funkci regulačního obvodu vysvětlíme na příkladu regulace teploty v plynem vytápěné peci s přímým nasáváním spalovacího vzduchu - viz obr. 2.2.

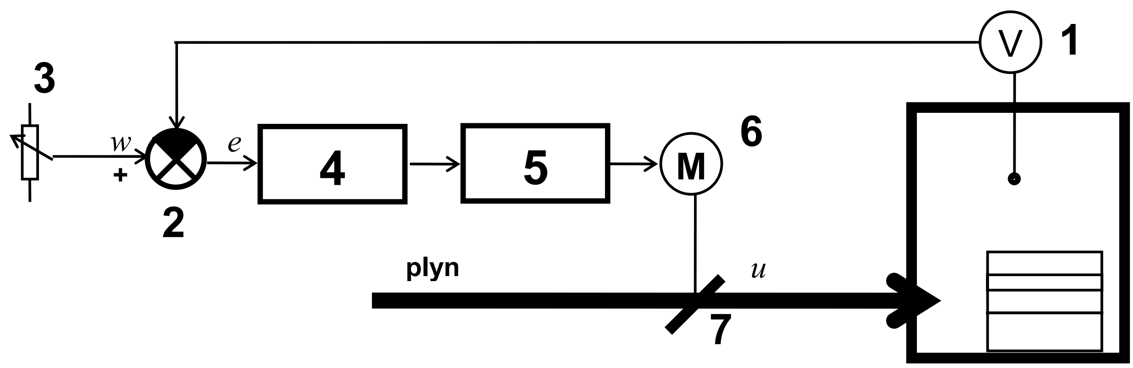
Teplota v peci - regulovaná veličina *y* - je měřena termočlánkem 1. Příkon plynu do pece - akční veličina *u* - je ovládán otevíráním škrticí klapky 7 v potrubí plynu před hořákem. Klapku natáčí elektrický motor 6.

Žádaná hodnota regulované veličiny - teploty v peci *w* - se zadává potenciometrem 3 jako elektrické napětí a porovnává v porovnávacím členu 2 se skutečnou hodnotou regulované veličiny - naměřenou teplotou *y*. Rozdíl mezi těmito hodnotami je regulační odchylka $e = w - y$. Časový průběh regulační odchylky vyhodnocuje regulátor 4 a vypočítává časový průběh akční veličiny *u*. Výstup regulátoru 4 - vlastně ústředního členu regulátoru - je zesílen koncovým zesilovačem 5, který napájí motor pohánějící regulační klapku v potrubí plynu. Základním požadavkem na funkci regulátoru je dosažení nulové regulační odchylky, tedy shody mezi žádanou hodnotou *w* a skutečnou hodnotou regulované veličiny *y*. Je-li v peci nízká teplota, je regulovaná veličina $y<w$, tedy regulační odchylka *e* je kladná a akční veličina *u* - přívod plynu do pece narůstá. Při překročení teploty v peci nad žádanou hodnotou se regulační ochylka stává zápornou a akční veličina *u* klesá - příkon plynu do pece se zmenšuje.

Při provozu pece vznikají různé vlivy, které působí změny regulované veličiny - teploty v peci. Jsou to např.

- změna tlaku plynu (způsobuje změnu průtoku a tedy i změnu teploty v peci),
- změna hmotnosti vsázky,
- změna tepelného obsahu vsázky (jiný příkon tepla bude potřeba, jestliže bude vsázka studená, jiný na konci ohřevu),
- otevření sázecích vrat pece a další.

Vznik těchto veličin nemůžme vždy předvídat a kompensovat. Tyto veličiny nazýváme poruchovými veličinami *v* a je tudíž další základní funkcí zpětnovazebního řízení kompenzace poruch působících na regulovanou veličinu.



Obr. 3.2. Regulace teploty v plynem vytápěné samonasávací peci

Regulátor má stále informaci o žádané i skutečné hodnotě regulované veličiny, tedy o záměru řízení i o skutečném stavu řízené veličiny. Informace z výstupu - regulovaná veličina - se přivádí zpět na vstup regulačního obvodu - tvoří zpětnou vazbu, proto i název **zpětnovazební řízení, zpětnovazební regulační obvod**.

3.3. Další pojmy

Další pojmy podle ČSN 01 0170:

Regulační obvod - obvod, ve kterém probíhá samočinná regulace.

Regulovaná soustava - zařízení (nebo jeho část) na kterém se provádí regulace.

Regulátor - zařízení, které uskutečňuje automatickou regulaci.

Regulovaná veličina - veličina, jejíž hodnota je regulací upravována podle stanovených podmínek.

Akční veličina - výstupní veličina regulátoru a současně vstupní veličina regulované soustavy. Působením akční veličiny na regulovanou soustavu se uskutečňuje regulace.

Poruchová veličina - veličina způsobující poruchu.

Porucha - každá změna, která by sama o sobě způsobila odchylku regulované veličiny od nastavené hodnoty.

Řídicí velična - veličina, která nastavuje žádanou hodnotu regulované veličiny.

Žádaná hodnota regulované veličiny - hodnota regulované veličiny daná regulačním úkolem.

Nastavená hodnota regulované veličiny - žádaná hodnota regulované veličiny nastavená na řídicím členu regulátoru.

3.4. Prostředky automatické regulace

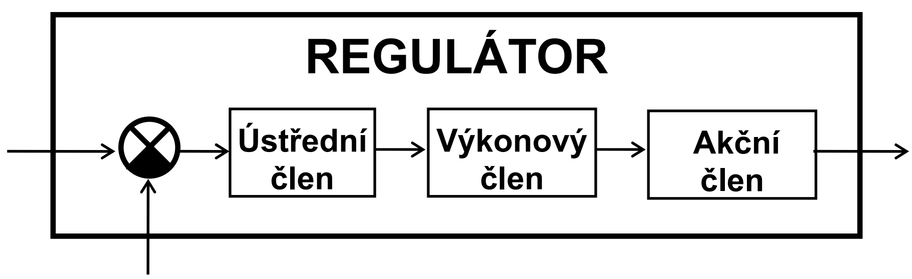
Čidlo, snímač - převádí měřenou veličinu na jinou, měřicími obvody lépe zpracovatelnou fyzikální veličinu.

Převodník - převádí veličinu na unifikovaný signál.

Čidlo + převodník ve společné jednotce tvoří **vysílač**.

Regulátor - provnává regulovanou veličinu s její žádanou hodnotu, určuje časový průběh regulační odchylky a vytváří matematickými funkcemi časový průběh akční veličiny.

Blok označený na obr. 3.1. regulátor **R** se při podrobnějším rozčlenění skládá z několika dalších funkčních bloků - obr. 3.3.



Obr. 3.3. Vnitřní uspořádání regulátoru

Ústřední člen - určuje regulační odchylku a vypočítává časové funkce akční veličiny. Bývá často konstruován jako samostatný přístroj běžně nazývaný pojmem regulátor. Z hlediska obvyklého členění v teorii regulace je ústřední člen pouze část regulátoru.

Výkonový člen - servopohon - převádí výstupní signál regulátoru na pohyb akčního členu (motor, elektromagnet, pneumatický nebo hydraulický válec apod.).

Akční člen - koncový člen regulátoru - způsobuje změnu akční veličiny (spínač, ventil, klapka).

3.5. Signály a přenosové cesty v obvodu

Signál - je veličina, která je nositelem fyzikálního působení na regulační obvody popřípadě mezi jeho částmi a členy.

V regulační technice se nejčastěji používají signály:

- elektrické (elektrické napětí nebo proud, někdy frekvence a další),
- pneumatické (tlak, řidčeji průtok plynu),
- hydraulické (tlak, řidčeji průtok kapaliny, obvykle oleje).

Pro speciální účely se používají i jiné druhy signálů - světelné, tepelné, akustické. V poslední době zejména v přenosu informací nabývají na značném významu zejména signály světlené, optické.

Fyzikální podstatě signálů odpovídají příslušné signálové cesty - elektrické vodiče, potrubí, světlovody.

Často se v jednom obvodu kombinují různé druhy signálů - např. pneumatické měření tloušťky vývalku, převod pneumatického signálu na elektrický, elektrické zpracování tohoto signálu, elektrické ovládání přívodu tlakového oleje do hydraulických výkonových servopohonů pro nastavení válců.

Z důvodu zvýšení sériovosti výroby i možnosti náhrady jednotlivých částí regulačního obvodu je účelné unifikovat signály přenášející informace v regulačním obvodu.

Unifikované elektrické signály jsou:

napěťové: stejnosměrné napětí	0 - 5 V,	0 - 10 V,	-10 - 0 - +10 V
proudové: stejnosměrný proud	0 - 20 mA,	4 - 20 mA	

Pneumatický unifikovaný signál: 20 - 100 kPa

Vysílače měřených veličin převádějí měřenou veličinu na unifikovaný signál. Např. vysílač teploty s rozsahem 0 - 1000 ^{O}C převádí tento rozsah na proud v mezích 4 - 20 mA, přitom teplotě 0 ^{O}C odpovídá výstupní proud 4 mA, teplotě 1000 ^{O}C proud 20 mA. Výhodou tohoto signálu je, že umožňuje indikovat přerušení vedení od snímače.

3.6. Regulační systémy

Pro tři základní typy užívaných signálů byly vyvinuty univerzální regulační systémy umožňující vytvářet regulační obvody (vysílače, regulátory, akční členy). V současné době je méně rozšířena regulace pneumatická a hydraulická, silně se rozvíjí regulace elektrická, což je dáno skutečností stále častějšího užití počítačů pro řízení.

Pneumatické a hydraulické členy zůstávají zejména ve funkci servopohonů, kde jsou mnohem výkonnější a rychlejší

4.REGULÁTORY

Doplněním regulované soustavy regulátorem můžeme uskutečnit automatickou regulaci. Vytvoříme tak regulační obvod.

Regulátor je zařízení, které uskutečňuje automatickou regulaci.

Přímý regulátor (někdy hovorově označován jako **přímočinný**) - pro svou funkci nepotřebuje vnější přívod energie. Potřebnou energii dodává přímo snímač, který ji odebírá zpravidla regulované veličině. Např. Wattův odstředivý regulátor u parních strojů, redukční ventily pro redukci tlaku plynů, regulace hladiny v nádržce splachovače, termostat v žehličce apod.

Nepřímý regulátor - pro svou funkci potřebuje přívod vnější energie. Příkladem jsou regulátory elektrické, pneumatické, hydraulické.

Ústřední člen regulátoru - zařízení, které zajišťuje vlastní řídící funkci. Ústřední člen zpracovává signál od měřícího systému a vysílá signál na pohon, ovládající regulační orgán.

Podle funkce dělíme regulátory:

- spojité - jejich výstupní veličiny jsou spojitou funkcí vstupních veličin
- nespojité - jejich výstupní veličiny nezávisí spojitě na vstupních veličinách.

Každý regulátor musí konstrukčně plnit tři úkoly:

1. Měřit regulovanou veličinu y - proto musí obsahovat měřicí člen.
2. Porovnávat tuto naměřenou hodnotu y se žádanou hodnotou w a vytvářet tak regulační odchylku $e = w - y$. Tuto odchylku musí pak přeměnit vhodnými časovými funkcemi tak, aby se vytvořila požadovaná regulační závislost, - tuto funkci provádí tzv. ústřední člen regulátoru.
3. Působit změnu akční veličiny u, proto obvykle obsahuje zesilovač a servopohon.

4.1. Regulátory spojité

4.1.1. Proporcionální regulátor P

Akční veličina u je přímo úměrná regulační odchylce e.

$$u = r_O . e \tag{4.1}$$

kde konstanta r_0 je tzv. zesílení regulátoru.

Je to tedy přenosový člen 0. řádu - viz odst. 2.11.1.1.

Vstupem tohoto přenosového členu je regulační odchylka, výstupem akční veličina.

Z uvedeného plyne, že proporcionální regulátor je prostý zesilovač regulační odchylky.

V regulačním obvodu teploty v peci podle obr. 3.2. použijme proporcionální regulátor. Jestliže je žádaná hodnota teploty w nenulová, musí být rovněž nenulová akční veličina u, tedy příkon plynu do pece, který musí v ustáleném stavu krýt ztráty tepla z pece do okolí. To je ale možné pouze tehdy, jestliže v rovnici (4.1) je nenulová regulační odchylka e. Čím větší bude žádaná hodnota teploty, musí být pro její udržení i větší akční veličina, tedy v ustáleném stavu i větší regulační odchylka.

Závěr: V regulačního obvodu s P regulátorem je v ustáleném stavu nenulová regulační odchylka.

4.1.2. Integrační regulátor I

Přenos tohoto regulátoru je integrační - viz odst. 2.11.2.1, akční veličina je časovým integrálem regulační odchylky. Při konstantní regulační odchylce na vstupu regulátoru narůstá akční veličina lineárně s časem. Rychlost nárůstu je přímo úměrná konstantě $r_{-1} = 1/T_i$, kde T_i je integrační časová konstanta regulátoru, a dále velikosti vstupní veličiny tj. regulační odchylky.

U integračního regulátoru je akční veličina časovým integrálem regulační odchylky. Jestliže v regulačním obvodu bude jako regulátoru R použito integračního regulátoru I, bude při skoku žádané hodnoty narůstat akční veličina tak dlouho, dokud nebude dosaženo nulové regulační odchylky, přitom akční veličina může být nenulová. Tedy na příkladu plynem vytápěné pece to znamená, že i při nulové regulační odchylce může být nenulová akční veličina, tedy příkon do pece kryjící v ustáleném stavu ztráty pece do okolí.

Závěr: V regulačním obvodu s regulátorem I je v ustáleném stavu dosaženo nulové regulační odchylky, tedy regulovaná veličina y je rovna žádané hodnotě w.

Proti obvodu s regulátorem P je doba regulačního děje delší (při skokové změně vstupu dojde k pomalému postupnému nárůstu výstupu). Dále má regulační obvod s regulátorem I sklon k nestabilitě, tj. ke kmitání.

4.1.3. Derivační regulátor D

Tento přenosový člen je popsán v odstavci 2.11.2.2, akční veličina je úměrná derivaci regulační odchylky podle času. Ve skutečném ústředním členu se nepoužívá ideální derivace, ale reálný derivační člen. Výstupní veličina derivačního regulátoru u (akční veličina) je časovou derivací regulační odchylky, tj. výstupní signál je úměrný změnám regulační odchylky. Čím je změna větší a čím je větší konstanta r_1 regulátoru, tím je větší i výstupní signál regulátoru.

Konstanta $r_1 = T_d$, kde T_d je derivační časová konstanta regulátoru.

Výhodnou vlastností tohoto regulátoru je, že velikost výstupního signálu je úměrná velikosti *změny* regulační odchylky v čase. Tím výstupní regulovaná veličina dospěje k ustálenému stavu podstatně rychleji než při použití jiných typů regulátorů. Derivační regulátor rovněž příznivě působí na stabilitu regulačního obvodu.

Nevýhodou ovšem je, že jestliže je na vstup přiveden poruchový signál třeba malé amplitudy, ale rychle se měnící, může způsobit chybný poruchový signál v akční veličině značné amplitudy, což může závažně ohrozit kvalitu regulace.

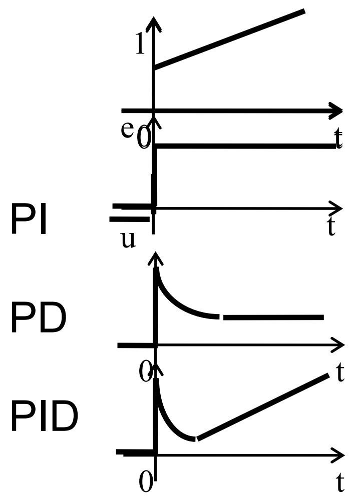
Protože D regulátor reguje pouze na změnu regulační odchylky, nikoli na regulační odchylku jako takovou, nezpracovává informaci o její skutečné velikosti, nelze použít D regulátoru pro odstranění regulační odchylky, tedy se v běžných aplikacích nepoužívá D regulátoru samostatně, ale jedině v kombinaci s ostatními typy regulátorů.

4.1.4. Složené regulátory

Pro dosažení požadované kvality regulačního děje obvykle nevystačíme s užitím jediného z uvedených typů regulátorů, nýbrž používáme jejich kombinaci, kde se uplatní současně výhodné vlastnosti jednotlivých druhů základních regulátorů. Například přenos PID regulátoru je:

Obr. 4.1. Přechodové charakteristiky

složených regulátorů



$$G(p) = r_0 + \frac{r_{-1}}{p} + r_1 p \qquad (4.2)$$

Přechodové charakteristiky jednotlivých typů složených regulátorů jsou uvedeny na obr. 4.1.

Regulátor:

PI - nejčastěji používaná kombinace zvláště pro pomaleji probíhající regulační pochody. Zajišťuje dobrou odezvu na změnu žádané hodnoty a nulovou regulační odchylku v ustáleném stavu, tedy vysokou přesnost řízení v ustáleném stavu.

PD - používá se v případech, kdy je třeba zajistit dobré dynamické vlastnosti regulačního obvodu bez velkých nároků na přesnost řízení. V ustáleném stavu dochází k nenulové regulační odchylce, ale při změně žádané hodnoty dojde k rychlému ukončení regulačního děje. Používá se méně často.

PID - umožňuje dosažení kvalitního regulačního děje jak po stránce dynamické - velké hodnoty akční veličiny při změně žádané hodnoty nebo vzniku poruchy - tak i v ustáleném stavu, kdy lze prostřednictvím integrační složky dosáhnout nulové regulační odchylky. Je tedy dosažitelná vysoká přesnost řízení.

Z jednoduchých regulátorů se samostatně používá nejčastěji regulátor P (většina tzv. přímých regulátorů), někdy i regulátor I pro některé speciální případy regulace.

4.2. Nespojité regulátory

Vstupní veličina těchto regulátorů dosahuje v závislosti na velikosti regulační odchylky několika pevných výstupních hodnot, nebo je výstupní veličina impulsního charakteru.

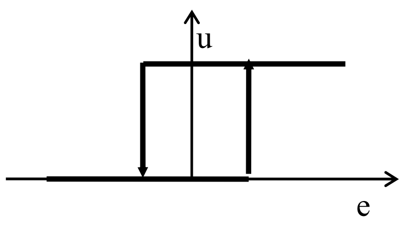
4.2.1. Dvojpolohový (vícepolohový) regulátor

Výstupní signál dvojpolohového regulátoru v závislosti na velikosti regulační odchylky je na obr. 4.2. Obvyklé je užití regulátoru s hysterezí, kdy k přepnutí dochází po překročení jisté hodnoty kladné regulační odchylky a k zpětnému přepnutí teprve po dosažení jisté hodnoty záporné regulační odchylky. Uvedeného regulátoru se používá např. při regulaci teploty. Klesne-li skutečná teplota pod teplotou žádanou, tj. regulační odchylka se stává kladnou, zapíná se topení. Při překročení teploty se s jistou hysterezí topení vypíná.

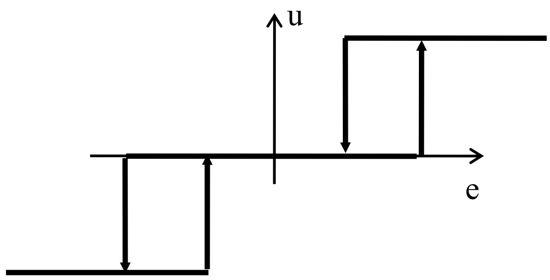
Další použití: regulace hladiny v nádržích, kdy se zapíná čerpadlo, tlaku v tlakových nádobách v kompresoru, teploty v chladničkách apod.

V případech, kdy je potřeba změn regulované veličiny v obou směrech, např. regulace polohy, se používá třípolohových regulátorů. Jedné polaritě regulační odchylky odpovídá např. nárůst akční veličiny, druhé pak pokles.

Rozsah regulační odchylky, ve kterém je výstupní signál regulátoru nulový, se nazývá pásmo necitlivosti (obr. 4.3).



Obr. 4.2. Dvojpolohový regulátor



Obr. 4.3. Třípolohový regulátor

4.2.2. Impulsní regulátor

Do této kategorie je řazená řada typů regulátorů různých vlastností. Jedním z typů je např. regulátor, který podle polarity a velikosti regulační odchylky vysílá impulsy, jejichž šířka (doba trvání) je úměrná velikosti regulační odchylky, přičemž opakovací frekvence těchto impulsů je konstantní.

Tohoto regulátoru se používá např. pro regulaci polohy nebo jako koncového výkonového členu pro ovládání servopohonů s elektrickými motory, regulátory napětí alternátorů a dynam vozidel apod.

5. REGULAČNÍ OBVODY

Regulační automatické zařízení udržuje samočinně vlastnosti daného obvodu v určitých mezích. Toto samočinné zařízení má zpětnou vazbu.

Regulační obvod - je obvod, ve kterém probíhá samočinná regulace. Jednoduchý regulační obvod se skládá z regulované soustavy a regulátoru. Jeho součástmi jsou pouze technická zařízení a spojovací cesty, člověk však není ani jeho součástí ani spojovacím článkem.

Žádaná hodnota regulované veličiny je hodnota regulované veličiny daná regulačním úkolem. Je určena nastavením nebo řídícím signálem.

Poruchová veličina je veličina způsobující poruchu.

5.1. Uspořádání členů regulačního obvodu

Regulační obvod (obr. 3.1.) lze rozdělit na dvě části - vlastní objekt regulace, tj. regulovanou soustavu, a zařízení zajišťující automatickou regulaci, kterou souhrnně označujeme pojmem regulátor. Ten působí na soustavu akční veličinou u a o stavu regulované. soustavy je informován měřením regulované veličiny y. Do regulované soustavy mohou vstupovat poruchové veličiny v.

Regulační obvod musí plnit dvě hlavní úlohy:

1. Zajišťuje, aby regulovaná veličina sledovala řídící veličinu (žádanou hodnotu) - úloha signálového sdílení.
2. Vylučuje nebo zmenšuje vliv poruch na regulovanou veličinu - úloha regulační.

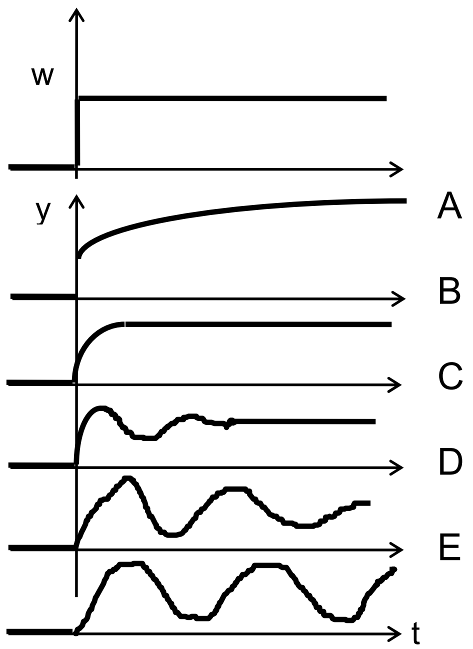
5.2. Požadavky na regulační obvod

Stabilita - vlivem nesprávného nastavení regulátoru, nevhodných vlastností regulované soustavy i nevhodnou skladbou regulačního obvodu může dojít po uzavření smyčky zpětné vazby k rozkmitání regulačního obvodu buď kmity s ustálenou amplitudou a frekvencí, nebo kmity s rostoucí amplitudou. Tento stav je nežádoucí, může způsobit těžké provozní havárie, prakticky znemožňuje funkci regulačního obvodu.

Kvalita regulačního děje - pro požadovanou kvalitu regulačního děje nelze stanovit obecně platná jednoznačná kriteria. Na obr. 5.1. je nakresleno několik průběhů regulačního pochodu jako odezev regulačního obvodu na skok řízení - skokovou změnu žádané hodnoty.

Přesnost sledování - hodnotí se, jak přesně a rychle sleduje regulovaná veličina na změny žádané hodnoty, dále zda je v ustáleném stavu regulační odchylka nulová. V dynamickém stavu se přesnosti sledování dosahuje zařazením D složky regulátoru, v ustáleném stavu pak zajišťuje dosažení nulové regulační odchylky I složka regulátoru.

Odolnost proti poruchám - regulační obvod musí v maximální míře potlačit vliv poruch na průběh regulované veličiny, skokové změny poruchových veličin nesmí mít nežádoucí vliv na stabilitu obvodu i kvalitu regulačního děje.



Obr. 5.1. Regulační pochod:

A - nevyhovuje pro příliš pomalé vyrovnání (v obvodu je příliš malé zesílení - P složka regulátoru)

B - regulační děj bez překmitu - vyhovuje např. při řízení polohy obráběcího nástroje apod.

C - mírný překmit - vyhovuje pro většinu aplikací v průmyslu, rychlé dosažení žádané hodnoty s malým překmitem, který se rychle utlumí.

D - nevyhovuje - málo tlumený regulační pochod

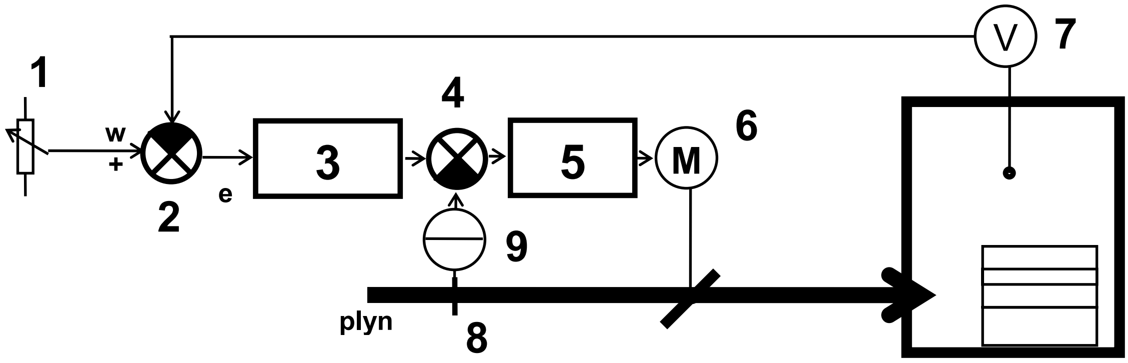
E - zcela nevyhovující, nestabilní regulační pochod.

5.3. Složitější regulační obvody

Jednoduchý regulační obvod např. podle obr. 3.2. nezajišťuje ve všech případech požadovanou kvalitu regulace a odolnosti proti poruchám. Regulovaná soustava teploty v peci má poměrně dlouhé časové konstanty a tím se rychlé změny v průtoku plynu způsobené poruchovými veličinami např. změnou tlaku plynu, projeví až po delší době, kdy dojde jejich vlivem ke změně teploty v peci a zasáhne regulátor.

Pro dosažení vyšší přenosti a kvality regulace teploty musíme použít složitější regulační obvody.

Tyto problémy může řešit tzv. *obvod s malou regulační smyčkou*, která odstraňuje vliv poruchové veličiny dané rychlými změnami množství plynu a která je též pro tento účel patřičně seřízena. Na obr. 5.2. je takový obvod rozkreslen. Žádaná teplota v peci je zadávána ze zdroje žádané hodnoty 1 a vstupuje na porovnávací člen 2. hlavního regulátoru 3. Výstupem hlavního regulátoru je žádaná hodnota množství plynu, která postupuje na porovnávací obvod 4 pomocného regulátoru množství plynu 5, jehož výstupní signál ovládá přes servopohon 6 regulační klapku množství plynu do pece. Množství plynu je měřeno clonou 8 a diferenčním manometrem 9 a vedeno jako měřená hodnota do porovnávacího členu 4.

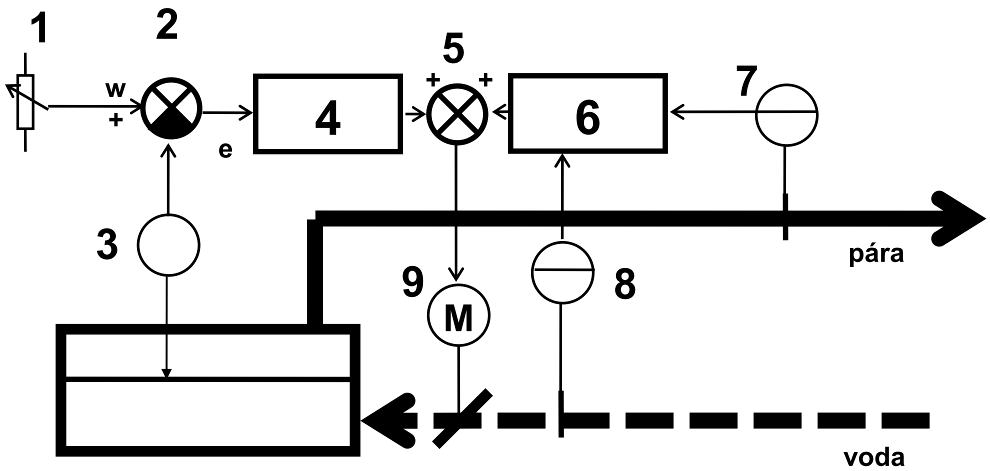


Obr. 5.2. Regulační obvod s malou regulační smyčkou

Malá regulační smyčka - regulace množství plynu - umožňuje podstatně kvalitnější odstranění poměrně rychlých poruch v množství plynu. Teplota je řízena hlavním regulačním obvodem, který pak může být seřízen podle odpovídajících časových konstant podstatně "pomalejší" soustavy. Dosahuje se tak podstatně kvalitnějšího regulačního pochodu a odstranění poruch působených změnou tlaku plynu.

Další možností odstranění vlivu poruchových veličin na regulovanou veličinu je zavádět měřenou poruchovou veličinu do samostatného regulačního obvodu. Tento pomocný obvod přiřazuje poruchové veličině akční veličinu tak, že vliv poruchové veličiny je jeho působením odstraněn podstatně dříve, než kdyby byla soustava vybavena pouze hlavním regulačním obvodem.

Tento obvod se nazývá regulační *obvod s měřenou poruchovou veličinou* a jako příklad si uvedeme regulaci hladiny v parním kotli (obr. 5.3.).



Obr. 5.3. Regulační obvod s měřenou poruchovou veličinou

Žádaná hodnota výšky hladiny vody v kotli se zadává ze zdroje 1 a je ve sčítacím členu 2 porovnávána s hodnotou skutečnou, měřenou hladinoměrem 3. Regulační odchylka vstupuje do hlavního regulátoru 4 a jeho výstupní signál po zpracování pak do sčítacího členu 5, kde se sčítá s výstupem z pomocného regulátoru 6.

Do pomocného regulátoru 6 vstupuje informace o množství odebírané páry 7 a tento regulátor je seřízen tak, aby jeho výstupní signál působil přes sčítací člen 5 na akční orgán množství vody 9 v tom smyslu, že se vyrovná množství páry odváděné z kotle s množstvím vody do kotle přiváděným a měřeným prostřednictvím měřicí clony diferenčním manometrem 8.

Pomocný regulační obvod by mohl sám zajistit, že hladina v kotli nebude při odběru páry kolísat, neboť při změně odběru páry se okamžitě přizpůsobí i přívod vody. Ve skutečnosti se ale nedá regulátor přesně seřídit tak, aby byla obě množství stejná (nepřesnost měřicích přístrojů). Proto je nutno instalovat i hlavní regulační obvod s regulátorem 4. Tento obvod mívá zpravidla regulátor I nebo PI a tím, že měří regulovanou veličinu, zajišťuje, aby bylo vždy dosaženo správné úrovně hladiny i při nepřesném seřízení pomocného regulačního obvodu. Poruchy v odběru páry se podstatně dříve vyrovnávají působením pomocného regulačního obvodu, něž by tomu bylo v případě, že by pro regulaci bylo použito pouze obvodu hlavního, kde se zvýšený odběr páry může projevit až na snížení hladiny vody v kotli.

5.4. Seřizování regulačních obvodů

Pro seřizování regulačních obvodů byla navržena řada metod, které jsou různě náročné na provedení experimentálních měření, matematický popis regulačního obvodu atd. Při provozních seřizováních je často používán postup navržený Zíeglerem a Nicholsem - uvedeme pro regulátor PID:

1. Kontrola a seřízení rozsahů a nulových poloh všech přístrojů včetně servomotorů.
2. Při vypojeném I a D přenosu regulátoru zvětšujeme zesílení P tak, až se regulační obvod rozkmitá. Přitom určíme kritické zesílení r_{0k} a kritickou periodu kmitů T_k. Doporučené hodnoty nastavení PID regulátoru jsou: $r_0 = 0{,}6\ r_{0k}$, $T_I = 0{,}5\ T_k$, $T_D = 0{,}12\ T_k$..
3. Tyto hodnoty postupně nastavíme na regulátoru a kontrolujeme kvalitu požadovaného regulačního děje při úmyslně vyvolané změně žádané hodnoty - podle typu technologického procesu by to měl být některý z vyhovujících průběhů podle obr. 5. 1. (B, C).
4. Zkontrolujeme, zda seřízení vyhovuje pro různá zatížení regulovaného obvodu (malé příkony, velké příkony), případně seřízení opravíme.

Při seřizování používáme pro zápis důležitých veličin zapisovačů s dosti rychlým posuvem. Na závěr seřizování provedeme dlouhodobé pozorování chování regulačního obvodu především při méně běžných provozních stavech.

Seřízení je nutno občas zkontrolovat. Nové nastavení je nutno provést zejména po opravách a rekonstrukcích zařízení.

6. LOGICKÉ ŘÍZENÍ

6.1. Logická proměnná, logická funkce

Při vyhodnocování stavů technologického procesu mnohdy dostačuje zjistit, zda nějaká činnost nastala nebo nenastala, např. motor se točí - netočí, bylo dosaženo určité teploty, ventil je otevřen - zavřen. Hodnoty mezi těmito dvěma stavy nás nezajímají. Informace o této skutečnosti nabývá pouze dvou hodnot. Výhodou je, že zpracování takové informace je možno provést jednoduššími a spolehlivějšími prostředky než při zpracování spojitých signálů.

Vstupní členy převádějí (zpravidla spojité) vstupní veličiny na nespojitý výstupní signál, který nabývá pouze dvou hodnot. Jsou to např. kontaktní nebo bezdotykový snímač polohy, kontaktní manometr, kontaktní teploměr, různá tlačítka, spínače apod.

Výstupní členy zpracovávající takovou dvouhodnotovou informaci a působí jako akční členy v navazujících obvodech. Jsou to např. relé, stykače, elektromagnetické spojky, elektromagnety apod.

Filozofická disciplína *logika* - nauka o výrocích a vazbách mezi nimi - přiřazuje takovým informacím označovaným jako *logické proměnné* čísla 0 a 1 nebo též 0 a I. Říkáme, že logická proměnná má hodnotu logické nuly nebo logické jedničky. Význam logických hodnot je

0 - výrok neplatí, činnost nenastává, signál neexistuje, obvod nevede....
1 - výrok platí, činnost nastává, signál existuje, obvod vede....

Logická proměnná vyjadřuje pouze dva stavy. Je-li logických proměnných n, pak lze jimi vyjádřit 2^n různých stavů.

Jestliže jednotlivým logickým proměnným přisoudíme jednotlivé řády binárního čísla, pak dekadický ekvivalent tohoto binárního čísla označujeme jako stavový index s.

Vztah mezi logickými proměnnými je určen tzv. logickou funkcí.

Logická funkce je předpis, který přiřazuje kombinacím hodnot jedné nebo více vstupních logických proměnných hodnotu výstupní proměnné.

Jedním ze způsobů vyjádření logické funkce je tzv. pravdivostní tabulka. V její levé části jsou uvedeny všechny možné kombinace hodnot vstupních proměnných, v pravé části je těmto kombinacím přiřazena výstupní hodnota logické funkce.

6.2. Základní logické funkce

Pro označení vstupních proměnných obvykle užíváme malá písmena ze začátku abecedy (budeme užívat písmena *a, b*), pro výstupní proměnné malá písmena z konce abecedy (užijeme písmeno *y*).

6.2.1. Funkce jedné proměnné, negace

Nejsnáze lze demonstrovat logické funkce na případu funkcí jedné vstupní proměnné *a*. Pravdivostní tabulka této funkce bude mít na levé straně pouze jeden sloupec. Hodnotám této jediné nezávislé proměnné lze přiřadit výstupní hodnoty čtyřmi způsoby, tedy existují čtyři logické funkce jedné proměnné y_1 až y_4, jejichž pravdivostní tabulky shrneme do společné tabulky s jediným vyjádřením hodnot vstupní proměnné a.

a	y_1	y_2	y_3	y_4
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

Z těchto čtyř funkcí je nejdůležitější funkce y_3, která přiřazuje výstupu opačnou hodnotu než má vstup. Tuto funkci nazýváme *negace***.**

Slovní označení: **negace, inverse, "non"**

$y = \overline{a}$ tedy $\overline{1} = 0$, $\overline{0} = 1$

Pravdivostní tabulka:

a	y
0	1
1	0

6.2.2. Funkce dvou proměnných

Počtu n vstupních proměnných lze obecně přiřadit 2^{2^n} logických funkcí. Dvě vstupní proměnné dávají čtyři kombinace vstupních hodnot, kterým lze přiřadit 16 různých logických funkcí. Nejdůležitější z nich jsou logický součin a součet.

6.2.2.1. Logický součin

Slovní označení: **logický součin, "i", "AND", konjunkce, průnik**

$y = a \cdot b$ tedy 1 . 1 = 1, 1 . 0 = 0, 0 . 0 = 0

Pravdivostní tabulka:

a	b	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

6.2.2.2. Logický součet

Slovní označení: **logický součet, "nebo", "OR", disjunkce, sjednocení**

$y = a + b$ tedy 1 + 1 = 1,1 + 0 = 1, 0 + 0 = 0

Pravdivostní tabulka:

a	b	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Funkce logického součtu i logického součinu lze samozřejmě definovat pro libovolný počet vstupních proměnných.

6.2.3. Složené logické funkce

Mezi šestnáct možných logických funkcí dvou proměnných patří i následující dvě funkce, jejichž hlavní význam je ve skutečnosti, že libovolnou logickou funkci lze realizovat výhradním užitím členů realizujících jednu z nich.. Můžeme je ale definovat rovněž jako funkce složené z výše uvedených tří funkcí.

6.2.3.1. Negovaný logický součin- funkce Shefferova

$$y = \overline{a \cdot b}$$

Pravdivostní tabulka:

a	b	$a.b$	$y = \overline{a \cdot b}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

6.2.3.2. Negovaný logický součet - funkce Pierceova

$$y = \overline{a + b}$$

Pravdivostní tabulka:

a	b	$a+b$	$y = \overline{a + b}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

6.3. Operace s logickými proměnnými, funkcemi

Pro operace s logickými funkcemi lze definovat tzv. *logickou algebru*, tedy soubor axiómů, který musí být:

- *konzistentní* (bezesporný), tj. že při správném postupu nelze odvodit odporující si výroky,

- *úplný*, tj. že přidáním jakéhokoli dalšího pravidla, výroku, axiómu by se porušila konzistentnost této algebry.

Nejznámější a v technické praxi nejužívanější logickou algebrou je tzv. Booleova algebra nazvaná po významném irském matematikovi a logikovi Georgu Booleovi (1815 - 1864), která se opírá o tři základní operace:
- negaci,
- logický součin (konjunkci),
- logický součet (disjunkci).

6.3.1. Základní axiómy Booleovy algebry

Jedem z možných systémů definujících Booleovu algebru zavedl v roce 1904 Američan E. V. Huntington.

Booleovou algebrou pak nazýváme každou množinu B obsahující dva různé prvky 0 a 1 a dále prvky x, y, z, ...a v níž jsou definovány operace součtu ($x+y$), součinu (xy) a negace ($\overline{x}$) tak, že platí následující soubor axiómů:

(I) Vnitřní zákony kompozice:
Jestliže x a y jsou prvky množiny B, pak také $x+y$ a xy jsou prvky této množiny.

(II) Zákony absorbce:
V množině B je význačný prvek 0 takový, že $x + 0 = x$ je splněno pro libovolný prvek x množiny B. Obdobně existuje význačný prvek 1, u něhož platí $x.1 = x$.

(III) Komutativní zákony:
Pro prvky x a y množiny B je vždy splněno $x + y = y + x$ a současně $xy = yx$.

(IV) Distributivní zákony:
Pro prvky x, y a z z množiny B je vždy splněno $x + (yz) = (x + y)(x + z)$ a současně $x(y + z) = xy + xz$.

(V) Zákony vyloučení třetího:
Ke každému prvku x z množiny B se vyskytuje prvek $\overline{x}$, pro který platí $x\overline{x} = 0$ a současně $x + \overline{x} = 1$.

(VI) Jsou alespoň dva takové prvky x a y z množiny B, že platí $x \neq y$.

Z těchto axiómů lze odvodit veškerá pravidla pro operace s logickými funkcemi a proměnnými prováděnými užitím Booleovy algebry.

Logický výraz, tzv. Booleův se tedy skládá ze symbolů 0 a 1, z písmenného označení logických proměnných $x, y, z,$ ...a ze symbolů operací Booleovy algebry, tedy součinu, součtu a negace.

6.3.2. Pravidla pro logické operace

Pro operace platí následující pravidla:
- operace se provádí v pořadí nejprve operace negace, další operace logického součinu a nakonec operace logického součtu,
- jestliže jsou ve výrazu užity závorky, provádí se nejprve operace uzavřené v nejvnitřnějších závorkách,
- při negaci složitějšího výrazu znak negace nad tímto výrazem nahrazuje uzavření tohoto výrazu do závorek, což je nutno respektovat při aplikaci předchozího pravidla.

6.3.3. Souhrn pravidel Booleovy algebry

Pro operace v takto definované Booleově algebře lze odvodit následující základní pravidla zahrnující rovněž její základní axiómy:

1. Zákon agresivnosti a neutrálnosti prvků 0 a 1

$x + 1 = 1 \qquad x + 0 = x \qquad x.0 = 0 \qquad x.1 = x$

2. Komutativní zákon

$x + y = y + x \qquad xy = yx$

3. Asociativní zákon

$x + (y + z) = (x + y) + z \qquad x(yz) = (xy)z$

4. Distributivní zákon

$x + (yz) = (x + y)(x + z) \qquad x(y + z) = xy + xz$

5. Zákony absorpce

$x + x = x \qquad xx = x$

$x + xy = x \qquad x(x + y) = x$

6. Zákony absorpce negace

$x + \overline{x}y = x + y \qquad x\left(\overline{x} + y\right) = xy$

$\overline{x} + xy = \overline{x} + y \qquad \overline{x}\left(x + y\right) = \overline{x}y$

7. Zákon dvojité negace

$$\overline{\overline{x}} = x$$

8. Zákon vyloučení třetího

$x + \overline{x} = 1 \qquad x\overline{x} = 0$

9. De Morganovo pravidlo (pravidla o vytvoření negace)

$\overline{x + y + z} = \overline{x} \cdot \overline{y} \cdot \overline{z} \qquad \overline{x \cdot y \cdot z} = \overline{x} + \overline{y} + \overline{z}$

Negace součtu proměnných je rovna součinu negovaných proměnných.
Negace součinu proměnných je rovna součtu negovaných proměnných.
DeMorganovo pravidlo platí pro libovolný počet logických proměnných.

6.4. Vyjádření logických funkcí

Základní grafické vyjádření logických funkcí jsou pravdivostní tabulky, logické výrazy a logické mapy.

Tyto formy zápisu se užívají pro úvodní operace zápisu a zpracování logických funkcí, logických výrazů tak, abychom získali konečnou formu výrazu vhodnou pro jeho realizaci v logickém řízení. Tato forma je v dalším zpravidla minimalizována, tj. hledáme takový tvar logického výrazu, aby bylo pro jeho realizaci možno použít minimálního počtu prvků.

6.4.1. Pravdivostní tabulka

Definujme např. logickou funkci tří proměnných $y = f(a, b, c)$. Nechť je tato funkce popsána pravdivostní tabulkou tab. 6.1. V prvých třech sloupcích pravdivostní tabulky jsou zapsány všechny kombinace hodnot vstupních proměnných, ve čtvrtém pak hodnota funkce odpovídající příslušné kombinaci vstupních proměnných. Někdy pro orientaci uvádíme v pravdivostní tabulce i stavový index s.

Tab. 6.1. Pravdivostní tabulka zadané funkce

s	c	b	a	y
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	1
6	1	1	0	0
7	1	1	1	0

Touto pravdivostní tabulkou je příslušná logická funkce plně zadána.

6.4.2. Logický výraz

Užívají se dva základními tvary zápisu logické funkce logickým výrazem:

- úplná disjunktivní normální forma (ÚDNF), tedy součet součinů základních proměnných nebo jejich negací,
- úplná konjunktivní normální forma (ÚKNF), tedy součin součtů základních proměnných nebo jejich negací.

Při přepisu funkce zadané pravdivostní tabulkou do tvaru logického výrazu lze postupovat víceméně mechanicky.

Přepis do tvaru součtu součinů (ÚDNF) provedeme tak, že vyhledáváme ty kombinace vstupních proměnných, pro které má výstupní proměnná hodnotu 1. Pro každou takto nalezenou kombinaci napíšeme takový součin vstupních proměnných, resp. jejich negací, aby tento součin měl právě hodnotu 1. Znamená to, že v případě, že vstupní proměnná má v daném řádku hodnotu 1, zapíšeme tuto proměnnou přímo, pokud má vstupní proměnná hodnotu 0, zapíšeme do výrazu negaci této vstupní proměnné. Součet takto vytvořených součinů je logickým výrazem dané logické funkce.

Přepíšeme logickou funkci zadanou tabulkou 6.1 do logického výrazu ve tvaru ÚDNF. V tabulce postupně shora vyhledáváme ty řádky, v nichž je hodnota $y = 1$

člen odpovídající stav. indexu $s =$ 0 4 5

$$y = \bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}\bar{b}c + a\bar{b}c \tag{6.1}$$

Při přepisu do tvaru součinu součtů (ÚKNF) naopak vyhledáváme ty řádky, kde je hodnota funkce $y = 0$ a do jednotlivých součtů zapisujeme podmínky odpovídající nulové hodnotě tohoto součtu. Tedy naopak proti minulému postupu musíme zapsat přímou proměnnou v případě, že tato proměnná má v daném řádku hodnotu 0 a negaci této proměnné, jestliže má tato proměnná hodnotu 1. Součinem těchto podmínek dostaneme výslednou výraz určující podmínky nulové hodnoty této funkce. Pro funkci zadanou tabulkou 6.1:

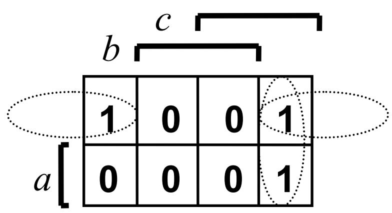
člen odpovídající stavovému indexu

$$
\begin{array}{lccccc}
s = & 1 & 2 & 3 & 6 & 7 \\
y = & \left(\overline{a}+b+c\right) & \left(a+\overline{b}+c\right) & \left(\overline{a}+\overline{b}+c\right) & \left(a+\overline{b}+\overline{c}\right) & \left(\overline{a}+\overline{b}+\overline{c}\right)
\end{array}
\tag{6.2}
$$

6.4.3. Mapy

Mapa je tvořena obdélníkem nebo čtvercem rozděleným na políčka, přičemž každému políčku odpovídá jedna kombinace vstupních proměnných. Do políčka pak zapisujeme hodnotu logické funkce odpovídající této kombinaci vstupních veličin. Z řady různých možných druhů map patří mezi nejznámější mapa Karnaughova (čti Karnafova), která je definována tak, že při změně logické hodnoty pouze jedné vstupní proměnné sousedí políčko odpovídající této nové kombinaci vstupních veličin s políčkem výchozím.

Příklad možného tvaru Karnaguhovy mapy funkce podle tab. 6.1 je na obr. 6.1. Třem vstupním proměnným přísluší osm hodnot logické funkce, tedy mapa musí mít osm polí. Zvolíme tvar dva řádky po čtyřech sloupcích. Na okrajích jsou označeny svorkou ty řádky, resp. sloupce, které odpovídají hodnotě příslušné vstupní proměnné rovné logické jedničce. Pak zapisujeme logickou 1 do polí, které odpovídají příslušné kombinaci vstupních proměnných.



Obr. 6.1. Karnaughova mapa logické funkce z tab. 6.1

Zbývá upozornit, že základní vlastnost takto definované mapy, tj. při změně jediné vstupní veličiny, dochází k přechodu do sousedního políčka, je zachována i pro okrajové prvky mapy, tedy např. Mezi prvky v horních rozích tabulky jak je naznačeno elipsami.

6.5. Minimalizace logických výrazů

Zadání logické funkce některým z uvedených způsobů není pro konečnou realizaci vhodné. Proto musíme získaný logický výraz zjednodušit, tzv. minimalizovat, a případně upravit do takového tvaru, aby byl realizovatelný zvolenými prvky.

Zápis logické funkce ve tvaru pravdivostní tabulky je poměrně přehledný, ale není vhodným výchozím tvarem pro minimalizaci výsledného logického výrazu.

Logický výraz (6.1) můžeme upravovat podle pravidel uvedených v odst. 6.3.3. Zde záleží na zkušenostech, zda dosáhneme minimálního vyjádření zadané logické funkce. Nicméně jsou tyto postupy vhodné pro vytvoření takového výsledného výrazu, který umožňuje realizovat logickou funkci vybranými technickými prostředky.

Upravme výraz (6.1), přitom se budeme odvolávat na zákony uvedené v odstavci 6.3.3:

$$y = \bar a\bar b\bar c + \bar a\bar b c + a\bar b c = \bar a\bar b\bar c + \bar a\bar b c + \bar a\bar b c + a\bar b c = \bar a\bar b\left(\bar c + c\right) + \left(\bar a + a\right)\bar b c$$

Podle zákona **5** byl zdvojen střední člen, podle zákona **4** byly z dvojic členů vytčeny společné proměnné. V dalším postupu aplikujeme na závorky zákon **8** a vytkneme společnou proměnnou podle zákona **4**.

$$y = \bar a\bar b + \bar b c = \bar b\left(\bar a + c\right) \tag{6.3}$$

Obdobně můžeme upravit vztah (6.2). Podle zákona **7** celý výraz dvakrát negujeme a aplikujeme zákon **9**:

$$y = \bar{\bar y} = \overline{\overline{\left(\bar a + b + c\right)} + \overline{\left(a + \bar b + c\right)} + \overline{\left(\bar a + \bar b + c\right)} + \overline{\left(a + \bar b + \bar c\right)} + \overline{\left(\bar a + \bar b + \bar c\right)}}$$

Aplikací zákona **9** na negované závorky, v dalším kroku vytknutím podle zákona **4** a nakonec aplikací zákona **8** obdržíme:

$$y = \overline{a\bar b\bar c + \bar a b\bar c + ab\bar c + \bar a bc + abc} = \overline{a\bar b\bar c + \left(\bar a + a\right)b\bar c + \left(\bar a + a\right)bc} = \overline{a\bar b\bar c + b\bar c + bc}$$

Zdvojením středního členu podle zákona **5**, vytknutím společného členu ve dvojicích podle **4**, aplikací zákona **6** na prvou a **8** na druhou závorku a po roznásobení prvé závorky obdržíme:

$$y = \overline{a\bar b\bar c + b\bar c + b\bar c + bc} = \overline{\left(a\bar b + b\right)\bar c + b\left(\bar c + c\right)} = \overline{\left(a + b\right)\bar c + b} = \overline{a\bar c + b\bar c + b}$$

Vytknutím *b,* aplikací zákona **1** na závorku a konečnou aplikací zákona **9** na celý výraz a dále na prvý člen získáme výsledný tvar shodný s tvarem (6.3):

$$y = \overline{a\bar c + b\left(\bar c + 1\right)} = \overline{a\bar c + b} = \overline{a\bar c}\cdot\bar b = \left(\bar a + c\right)\bar b \tag{6.4}$$

Při úpravě výsledného výrazu na vyjádření negovaným logickým součinem, neboli Shefferovou funkcí se obvykle postupuje tak, že se výraz dvakrát neguje a aplikuje se zákon **9**. Tím se prakticky dostaneme k předposlednímu vyjádření výsledků ve vztahu (6.4).

Velmi přehlednou minimalizaci umožňuje Karnaughova mapa. V mapě vyhledáváme sousedící dvojice, čtveřice, osmice, ... logických jedniček. Protože Karnaughova mapa je uspořádána tak, že pro přechod z jednoho pole označeného jedničkou na sousedící pole označené rovněž jedničkou se musí změnit hodnota jedné vstupní proměnné, pak z toho plyne, že v tomto případě dosahuje logická funkce hodnoty 1 pro oba stavy této vstupní proměnné, tedy na této vstupní proměnné nezávisí. Do výsledného výrazu pak tuto proměnnou nezapisujeme. Například v mapě na obr. 6.1 jsou tyto dvojice označeny čárkovanou elipsou. Jedna hodnota logické 1 může být užita vícekrát. Výsledný výraz pak určíme tak, že pro společnou skupinu logických jedniček zapíšeme součin pouze těch vstupních veličin, které se v označené skupině nemění a to podle pravidel pro zápis ÚDNF. Tedy pro náš případ je výsledný výraz:

$$y = \bar b c + \bar a\bar b = \left(\bar a + c\right)\bar b \tag{6.4}$$

Užitím Karnaughovy mapy jsme velmi rychle došli k minimalizovanému výrazu.

Existuje řada dalších metod minimalizace logických funkcí a to ať mapových, např. mapa Svobodova, nebo vhodné algoritmy, např. metoda Quineova - Mc Cluskeyova a další.

6.6. Realizace logického řízení

. Logických funkcí používáme k řízení technologických procesů. Jedná se jak o systémy zcela jednoduché, např. dvoutlačítkové ovládání motoru, až po vrchol současného logického řízení - číslicový počítač - který veškeré funkce včetně matematických operací s čísly - provádí užitím základních logických funkcí.

Logické funkce jsou realizovány logickými obvody. Ty mohou mít různou technickou podstatu, lze je realizovat mechanicky (např. dveřní zámek tvoří funkci logického součinu), pneumaticky, elektricky. V současné době převládá realizace elektronickými polovodičovými obvody, tzv. integrovanými obvody, které mají na jedné křemíkové destičce - substrátu - integrovány elektronické obvody realizující tyto logické funkce. Nejsložitějším z těchto obvodů je mikroprocesor - srdce všech moderních počítačů. Nejrozsáhlejší jsou polovodičové paměti.

Logické obvody dělíme podle následujícího schématu:

Logické obvody (funkce)
- kombinační
- sekvenční
  - synchronní
  - asynchronní

Kombinační - hodnota výstupních veličin závisí jen na kombinaci vstupních veličin.
Sekvenční - hodnota výstupních veličin závisí jednak na kombinaci vstupních veličin a dále na předchozím stavu (např. logické automaty pro řízení výrobních linek, automatické pračky apod.). Tyto obvody musí vždy obsahovat vnitřní proměnné (paměti).
Synchronní - všechny změny v logickém obvodu probíhají současně. Změny jsou řízeny synchronizačními impulsy.
Asynchronní - stav obvodu se mění ihned po změně vstupu, práce obvodu není synchronizována.

Pro realizaci sekvenčních obvodů se užívá stejných kombinačních prvků jako pro obvody kombinační. Informace o předchozím stavu systému se získávají zavedením výstupních veličin na vstupy zpracovávajících členů současně se vstupními veličinami.

Při realizaci vycházíme zpravidla z minimalizovaného tvaru logické funkce.

6.6.1. Realizace užitím relé

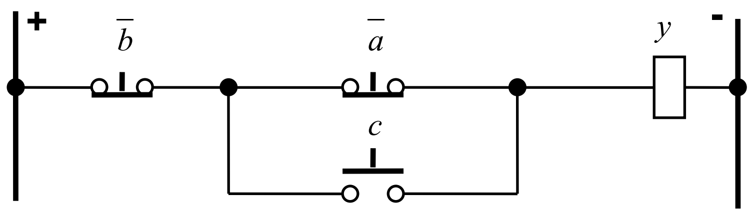
Relé je přístroj obsahující elektromagnet, který ovládá spínání kontaktů. Kontakty jsou dvojího druhu, tzv. pracovní (spínací), které jsou sepnuty tehdy, je-li cívka relé pod proudem, a dále klidové (rozpínací), které jsou sepnuty v bezproudém stavu cívky a po připojení proudu se rozepnou.

Klidové a pracovní kontakty mají i různé ovládací prvky, jako jsou tlačítka, koncové spínače apod.

Při realizaci logické funkce je

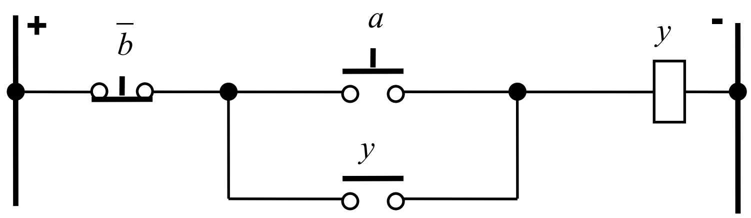
- pracovní kontakt vyjádřením přímého vstupu funkce,
- klidový kontakt vyjádřením negace vstupu funkce,
- sériové zapojení kontaktů realizuje logický součin,
- paralelní zapojení kontaktů realizuje logický součet.

Příklad realizace příkladu logické funkce podle vztahu (6.3) je na obr. 6.2.



Obr. 6.2. Realizace funkce $y = \bar{b}\left(\bar{a} + c\right)$ pomocí relé

Jako příklad nejjednoduššího sekvenčního obvodu uveďme na obr. 6.3 ovládání motoru dvěma tlačítky pomocí stykače, což je relé vybavené silnoproudými kontakty pro spínání motoru (nekresleno) a dále pomocnými ovládacími kontakty. Stiskem tlačítka *a* sepne stykač *y*. Tím sepne i pomocný kontakt *y*, který přemostí tlačítko *a*, takže i po puštění tlačítka zůstává stykač přitažen. Kontakt *y* je vnitřní proměnnou sekvenčního obvodu. Stiskem rozpínacího tlačítka *b* se obvod rozepne, stykač odpadne a motor se zastaví.



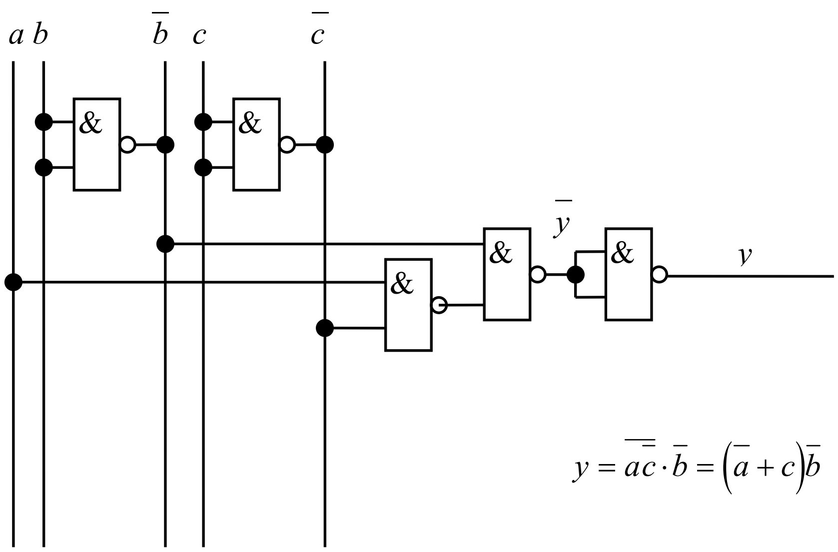
Obr. 6.3. Sekvenční logický obvod ovládání motoru

6.6.2. Realizace užitím logických členů

V současné době jsou k disposici elektronické prvky, tzv. logické integrované obvody. Na křemíkové destičce, tzv. čipu, jsou vytvořeny polovodičové obvody realizující různé logické funkce. Propojením vývodů těchto základních obvodů lze vytvořit složitější funkce. Jestliže chceme použít integrované obvody realizující negované logické součiny, upravíme logický výraz do tvaru vyjadřující funkci pomocí negovaných logických součinů. Výsledný tvar je pak návodem pro realizaci obvodu.

Schématický znak funkce negovaného logického součinu je obdélník se znakem &, kolečko na výstupu je znakem negace.

Jako příklad použijeme předposlední tvar výrazu (6.4). Negaci signálu vytvoříme tak, že na oba vstupy členu realizujícího negovaný logický součin přivedeme stejný signál - viz pravdivostní tabulka tohoto členu.



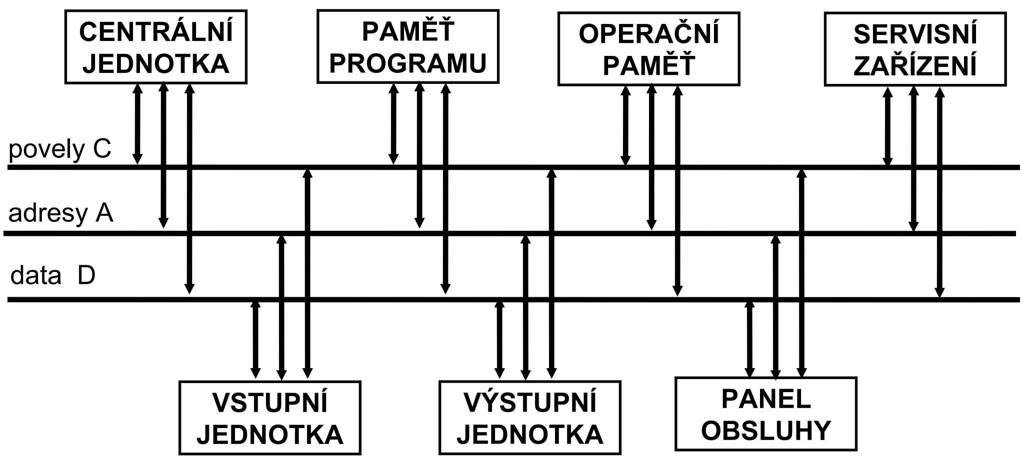
Obr. 6.4. Realizace funkce $y = \bar{b}(\bar{a} + c)$ negovanými logickými součiny

6.6.3. Logické automaty

Realizace logické funkce jednoduchými prvky jako jsou např. kontakty, integrované obvody realizující základní logické funkce apod. má nevýhodu v tom, že funkce je zadána vodivým propojením těchto prvků např. drátovými spoji. Při změně logické funkce musíme tyto spoje rovněž změnit, což je pracné a přináší nebezpečí možných omylů.

Zejména složitější logické řízení se proto realizuje pomocí tzv. *logických automatů*, což jsou jednoúčelové počítače přizpůsobené právě pro zpracování logických funkcí.

Základní schéma logického automatu je:



Obr. 6.5. Blokové schéma logického automatu

Logická funkce, kterou automat realizuje, je uložena v paměti ve formě programu, který může být běžnými prostředky výpočetní techniky zapisován, editován, měněn. Navíc celý vývoj logické funkce je zde podporován řadou programů umožňujících testování jednotlivých vstupních a výstupních proměnných, ladění, "krokování" programu, výpisy stavů atd. Výsledná logická funkce - odladěný program - se pak často ukládá do nemazatelné paměti (ROM - read only memory).

Pro vstup a výstup logických proměnných je automat vybaven deskami pro zpracování signálů různých napěťových úrovní, změnovými kartami, kontaktními výstupy, polovodičovými výstupními spínači, kartami pro řízení krokových motorů apod.

Logické řízení zajišťuje i běžný číslicový počítač - zejména specializovaný řídicí počítač. I zde je realizace logického řízení podporována účinnými programovacími prostředky.

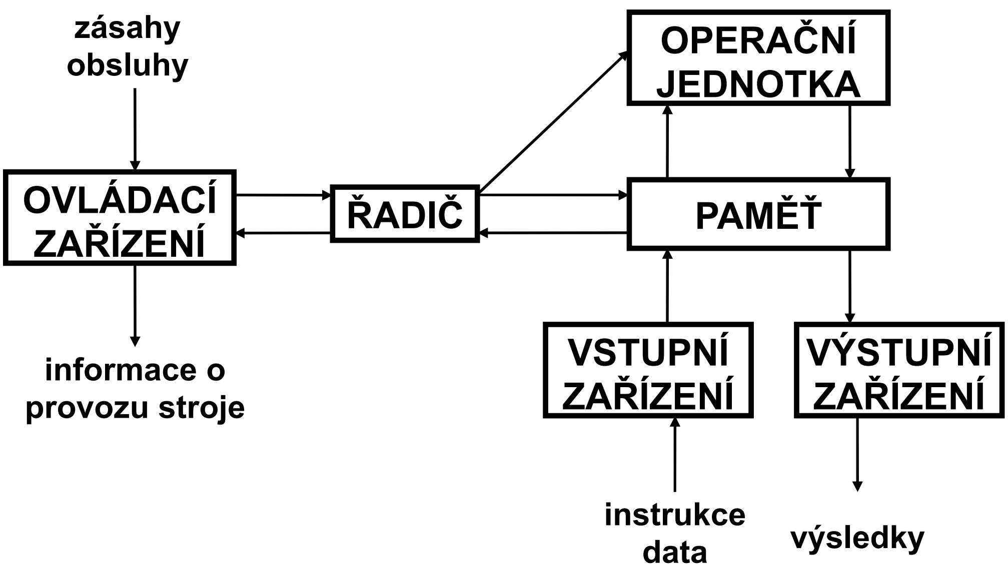
7. ČÍSLICOVÉ POČÍTAČE

Číslicový počítač je zařízení pro zpracování informací, matematických výpočtů, logických funkcí.

Hodnoty proměnných jsou v počítači zobrazovány nejčastěji ve formě binárních čísel, tj. čísel vyjádřených v číselné soustavě se základem 2. Při tomto zobrazení mohou tyto proměnné nabývat pouze určitých, diskretních hodnot. Přesnost zobrazení je dána počtem použitých binárních řádů pro vyjádření hodnoty proměnné.

S hodnotami takto zobrazených proměnných pak na základě zadaného programu provádí příslušné operace. I nejsložitější matematické výpočetní operace musí být převedeny na operace logické - realizovatelné základními logickými funkcemi.

Schéma číslicového počítače je na obr. 7.1.



Obr. 7.1. Blokové schéma číslicového počítače

Operační jednotka - je část počítače, která provádí matematické a logické operace.

Paměť - je zařízení sloužící k uchovávání hodnot jednotlivých proměnných tj. dat, čísel, se kterými se má počítat, a dále programu.

Řadič - řídí chod celého zařízení podle programu uloženého v paměti.

Program - je souhrn jednotlivých kroků výpočtu, tzv. instrukcí určujících postup řešení problému. Je uložen v paměti počítače.

Vstupní a výstupní zařízení - slouží ke vkládání dat a programů do paměti počítače a k výstupu výsledku.

Vstupní jednotkou je např. klávesnice, deska analogo-číslicových převodníků, deska číslicových vstupů, kterými se počítač připojuje na řízený proces.

Výstupní jednotkou je např. obrazovka monitoru, tiskárna, výstupní jednotky číslicových výstupů, číslicově-analogových převodníků apod.

bit - nejmenší množství informace - může nabýt hodnoty 0 nebo 1.

Byte (bajt) - nejmenší přístupná (programovatelná) část paměti, v současné době se ustálila velikost 1 Byte = 8 bitů.

U moderních počítačů je řadič, operační jednotka a část paměti integrována v jediném integrovaném obvodu tzv. *mikroprocesoru*. Počítač vybavený mikroprocesorem nazýváme *mikropočítač.*

Současné obvyklé konstrukční řešení počítače má na základní desce, tzv. motherboardu, umístěný mikroprocesor, integrované obvody operační paměti a sběrnici, tj. souhrn vodičů umožňující přenos signálů mezi jednotlivými částmi počítače. Do konektorů sběrnice se zasunují desky zajišťující komunikaci počítače s dalšími vnějšími zařízeními, tzv. periferiemi jako je klávesnice, monitor, tiskárny, jednotky pro styk s technologickým procesem apod. a dále jednotky pro spolupráci s vnějšími pamětmi, které mají většinou velkou kapacitu, ale jsou podstatně pomalejší než operační paměť, se kterou spolupracuje procesor.

Jako vnější paměti slouží např. disketové jednotky s výměnným paměťovým médiem, harddisk - disková jednotka s vysokou kapacitou paměťového prostoru, zapouzdřená, bez možnosti výměny paměťového média, přídavné polovodičové paměti atd.

7.1. Funkce počítače

Velmi zjednodušeně popíšeme funkci počítače.

Operační jednotka obsahuje tzv. střadač, tj. registr posledního výsledku a dále tzv. střadač adres.

Program je uložen spolu s daty, která mají být výpočtem zpracována, v operační paměti.

Každé místo v operační paměti má své číslo, tzv. adresu.

Program je v paměti uložen ve tvaru instrukcí, přičemž každá instrukce obsahuje kód adresy a operační kód. Instrukce jsou řazeny na následujících adresách se vzestupnými čísly adres v pořadí, v jakém mají být postupně prováděny. Při zahájení výpočtu se zapíše do střadače adres adresa prvé instrukce programu. Do operační jednotky se načte obsah této adresy, tj. operační kód, a podle něho se přestaví operační jednotka na provedení funkce odpovídající tomuto operačnímu kódu, např. na sčítání, odečítání, logickou operaci apod. Dále se přečte podle adresního kódu instrukce obsah adresy, která obsahuje tzv. operand, tj. číslo se kterým má být proveden výpočet. Nyní operační jednotka provede operaci s tímto operandem a obsahem střadače. Výsledek výpočtu zůstane uložen ve střadači. Obsah střadače adres se zvýší o jedničku, tím je určena adresa další instrukce programu a postup se opakuje.

Tím, že lze provádět operace nejen s operandy, ale i s adresami, lze realizovat i různé skokové funkce, porovnávací funkce apod.

Na této úrovni zápisu je program i adresy uloženy ve tvaru binárních čísel, tzv. binárních souborů.

Přímý zápis programu v binárním tvaru je velmi složitý a náročný, proto byla vyvinuta řada programovacích jazyků (BASIC, FORTRAN, ALGOL, COBOL, PASCAL, C-jazyk atd.), které umožňují zápis programu pomocí různých mnemotechnických zkratek a matematických výrazů. Současně obsahují i řadu pomocných prostředků pro hledání chyb v programu, jeho ladění, úpravy atd.

Program zapsaný v programovacím jazyce je zkontrolován po formální stránce, zda splňuje pravidla tzv. gramatiky jazyka, tedy užívá pouze povolených slov, výrazů, znaků a jejich vazeb. Takto zapsaný tzv. *zdrojový* program je pak počítačem přeložen prostřednictvím speciálního programu tzv. *překladače* do binární formy vhodné pro zpracování úlohy výše uvedeným postupem.

7.2. Řídicí počítače

Používají se k přímému řízení výrobního procesu. Jejich použití má především tyto výhody:

- možnost realizovat takové přenosy regulátorů, které nelze realizovat klasickými analogovými prvky,
- centralizace zařízení - jediný počítač nahrazuje řadu přístrojů a provádí řadu funkcí,
- snadná změna postupu řízení - tak zvaného algoritmu řízení,
- možnost pružného přizpůsobování algoritmu řízení skutečným podmínkám, tedy možnost realizace tzv. adaptivního řízení, adaptivních algoritmů,
- možnost realizace speciálních optimalizačních algoritmů řízení,
- snadný přenos informací mezi jednotlivými řídicími systémy,
- vypracování protokolů ve formě vhodné pro další zpracování počítači (na vhodném paměťovém médiu - disketě, ...).

Vzhledem k současnému rozvoji mikroelektroniky se zejména mikroprocesory staly velmi dostupnými a prakticky vytlačují i v základních přístrojích klasickou analogovou regulační techniku. Často se přístroj z hlediska vnějšího připojení chová jako analogový, přitom vnitřní zpracování dat je provedeno mikropočítačem.

Nevýhody počítačového řízení jsou:

- protože počítač většinou realizuje současně větší množství různých funkcí, které při výpadku počítače všechny přestanou pracovat, je nutno počítač vhodně zálohovat,

- příprava pro nasazení řídicího počítače je zpravidla složitější než pro užití klasické regulační techniky, i když moderní technologie montáže a připojování už značně tuto nevýhodu potlačily.

Řídicí počítač musí mít následující vlastnosti:

- univerzálnost - musí umožnit řešit různé typy úloh,
- stavebnicová koncepce systému - musí být k disposici řada druhů desek pro připojení počítače na proces tak, aby šlo s daným počítačem řešit různé regulační úlohy - jiná aplikace je u válcovací stolice, jiná u ohřívací pece, obráběcího stroje apod., přitom vlastní procesorová deska může být pro všechny případy stejná,
- musí být vybaven analogově-číslicovými (A/D) a číslicově-analogovými převodníky (D/A) pro připojení na proces,
- vysoká rychlost,
- vysoká spolehlivost a nenáročnost na údržbu.

8. AUTOMATIZOVANÉ SYSTÉMY ŘÍZENÍ

Při praktických aplikacích automatizovaných systémů řízení technologických procesů (ASŘTP) se vyskytuje velký počet regulovaných soustav, kombinace různých typů automatických regulačních obvodů, ovládání a ručního řízení. Jedná se pak o složité mnohoparametrové úlohy, jejichž popis nelze uskutečnit z jediného úhlu pohledu.

Všechny vazby se nedají popsat jedinou strukturou vazeb. Systém je nutno popisovat z různých hledisek. Prvky charakteristické pro určité hledisko vytvářejí vazby určitého druhu - vznikají specifické struktury, které spolu souvisí. Doporučuje se rozlišovat tyto struktury:

- rozhodovací S1
- funkční S2
- organizační S3
- informační S4
- technická S5

Jednotlivé struktury je možno obecně vyjádřit v podobě orientovaných grafů, nebo blokových schémat. Popis ASŘTP je pak dán průnikem jednotlivých struktur.

Rozhodovací struktura S1

Chápe se jako řešení obecné úkoly řízení. Popisuje zákony a strategii řízení na dané rozlišovací úrovni. Tato struktura odráží technologii výroby. Někdy lze již na této úrovni sestavit dále popsanou algoritmickou strukturu.

Funkční struktura S2

Vyjadřuje všechny druhy činnosti systému při jeho práci. Je rozvinutím rozhodovací struktury a spolu s ní vyjadřuje všechny procedury, které podmiňují a provázejí rozhodování. Pro každou funkci se stanovují požadavky na její automatizaci.

Funkční struktura může být dále dokomponována podle různých hledisek. Nejčastěji se jedná o hierarchické členění.

Organizační struktura S3

Určuje skladbu a vzájemné vztahy všech řídicích center, mezi jejichž operátory je rozdělena množina funkcí systému. Každému prvku organizační struktury přiřazuje souhrn odpovídajících funkcí. Znázorňuje se opět grafem, v němž uzly představují množinu všech řídicích center a hrany vyjadřují hierarchii vztahů mezi těmito centry – tj. vztahy administrativní podřízenosti. Odvozuje se ze struktury funkční. Organizační struktura ve formě schématu se doplňuje tabulkovým soupisem funkcí příslušejících danému prvku, soupisem vstupních a výstupních informací, adresami zdrojů a uživatelů informací atd. V ASŘTP postihuje úlohu lidského činitele.

Informační struktura S4

Vyjadřuje směry a charakteristiky informačních toků v systému. Lze ji znázornit orientovaným grafem, kde uzly představují množinu funkcí nebo řídicích center a hrany vyjadřují informační toky mezi nimi. Ke každé spojnici se přiřazují parametry předávaných informací, jejich četnost atd.

Technická struktura systému S5

Představuje výpočetní a automatizační prostředky určené k realizaci algoritmů řízení.

V orientovaném grafu uzly představují množinu technických prostředků pro sběr, zpracování a přenos informací, hrany jsou informační kanály.

Technická struktura se znázorňuje rovněž ve tvaru blokového schématu, doplněného textem, který zobrazuje potřebné režimy činnosti a údaje o informačních tocích. Na straně procesu se měřením získávají informace o stavu procesu. Dále jsou zde zařízení a informace pro podsystém přerušení (signály o dosažení mezních hodnot). výkonové mechanizmy (motory, ventily), které ovlivňují proces. Spojení s počítačem je obvykle uskutečněno jednotkami styku s prostředím, které normalizují úroveň a formu signálů (analogové., digitální, binární).

Na straně uživatele se uskutečňuje vazba s procesem přes počítač. V jednotce styku s operátorem provádí testování, získávání údajů, vyhodnocování trendů atd. Stykovým zařízením je konzola, která informuje o činnosti procesu a dovoluje zásah do procesu.

Počítač spolu se softwarovým zabezpečením tvoří výpočetní systém. Může se jednat o systém se soustředěnou jednoprocesorovou strukturou - jedna centrální jednotka s velkou kapacitou operační paměti. Stále častěji se užívá rozložená mnohoprocesorová struktura. Automatizační jednotky se pak na různých úrovních realizují různými malými decentralizovanými systémy spojenými v síti. Výhody jsou v menších nárocích na paměť, automatizovaný systém je možno realizovat po etapách, počítačové jednotky jsou blízko u agregátů a tím vzniknou úspory na kabeláži, zvýší se frekvence sběru dat, zvýší se spolehlivost systému.

8.1. Algoritmická a programová struktura

Má-li být automatické řízení zabezpečováno prostřednictvím řídicího počítače, je nezbytné, aby jeho provedení bylo formulováno jako výpočetní proces. Ten je představován algoritmem řízení. Je odvozen od funkční struktury a je formulován tak, aby byl zajištěn vytýčený cíl řízení systému. Algoritmus řízení je uzlovým prvkem algoritmické struktury. Algoritmus je soustava pravidel a předpisů pro správný výkon funkce řízení na technických prostředcích systému. Algoritmická struktura zachycuje informační vazby mezi jednotlivými uzlovými prvky představovanými algoritmy řízení. Vzájemný vztah funkční a algoritmické struktury je možno charakterizovat tak, že algoritmická struktura vytváří formální předpoklady (v úrovni logického schématu systému) pro praktickou realizaci funkční struktury. Algoritmus převedený do podoby řídicího programu je praktickým provedením určité funkce řízení.

Obecná funkce řízení zachycená schématem *vstup - zpracování - výstup* je popisována seznamem informací. Technologie řízení je zachycena v sekci zpracování, tj. v transformační části, kde je po krocích popsán způsob převodu vstupních informací na informace výstupní a to buď prostřednictvím matematického nebo logického výrazu, nebo i verbálně. Hovoříme o technologickém algoritmu - představuje funkci řízení.

Obr. 8.1. Funkce řízení

Technologický algoritmus reprezentující funkci řízení je nutno převést do podoby systémového algoritmu. Ten představuje zadání pro programátora na vytvoření řídicího programu. Zde je již respektována skutečnost, že praktické provedení algoritmu řízení bude provedeno na počítači určitých vlastností a je třeba jej formulovat s ohledem na zatížení centrální jednotky či operační paměti.

Praktické provedení automatické funkce řízení na řídicím počítači je pak řídicí program.

8.2. Funkce automatizovaných systémů řízení technologických procesů

Uvedené struktury systémů řízení jsou schopny plnit následující funkce:

- funkce informační,
- funkce řídicí,
- funkce pomocné.

Informační funkce

Úkolem informačního podsystému ASŘTP je kontrola chodu výroby a sledování průběhu vlastního technologického procesu. Podsystém poskytuje informace operátorům a dispečerům o stavu procesu a o odchylkách od žádaného průběhu tak, aby bylo možno proces operativně řídit. V případě výpadku řídicího počítače musí být poskytnuty všechny informace potřebné k nouzovému řízení procesu.

Vyskytuje se zde sběr a prvotní zpracování údajů, kontrola a registrace, analýza činnosti blokování a ochrany, diagnostika a predikce průběhu procesu, diagnostika informací, operativní zobrazení, přenos informací do vyšší úrovně řízení.

Řídicí funkce ASŘTP

Řídicí funkce jsou určeny k realizaci úloh bezprostředního řízení technologických procesů s cílem dosáhnout optimálního průběhu regulačního děje i optimálního průběhu procesu podle kritérií zabezpečujících splnění ekonomických požadavků.

Jedná se o logické řízení, stabilizaci, optimalizaci, kontrolu zatížení strojů a toků materiálu, řízení návaznosti na okolí, havarijní režimy, diagnostiku.

Jiné funkce ASŘTP

- ochrana zdraví,
- ochrana okolí,
- respektování omezujících podmínek.

8.3. Automatizované systémy řízení jako kybernetické systémy

Automatizované systémy řízení technologických procesů je možno řadit mezi kybernetické systémy

Kybernetika zkoumá podobnosti v chování živých organizmů a složitých strojů a určuje obecné zákonitosti řízení systémů se složitou vnitřní strukturou. Pro toto zkoumání je základním hlediskem přenos informace - stranou zůstává hledisko energetické, které se používá při studiu fyzikální podstaty chování systémů.

Informace je ústředním pojmem technické kybernetiky. S tím souvisí rozšíření definice kybernetiky – je to věda o obecných zákonech vzniku, přenosu a zpracování informací ve složitých systémech.

Technická kybernetika je dnes uznávaná jako jedna ze základních teoretických disciplín oborů zabývajících se řízením technologických procesů.

Vlastní proces rozvíjení kybernetiky ve smyslu vnitřního členění obsahuje: teorii informace, teorii systémů, teorii řízení, teorii rozhodování a umělou inteligenci.

Systémy ASŘTP jsou do této kategorie systémů řazeny na základě těchto vlastností:

- spojitost systémů,
- dynamika systému,
- existence podsystému,
- hierarchická struktura,
- prvky samočinné organizace,
- velký počet typů technických prostředků,
- účast člověka na řízení.

8.4. Klasifikace ASŘTP

Zařízení užitá pro realizaci automatizace technologických procesů se dají rozlišovat podle následujících hledisek:

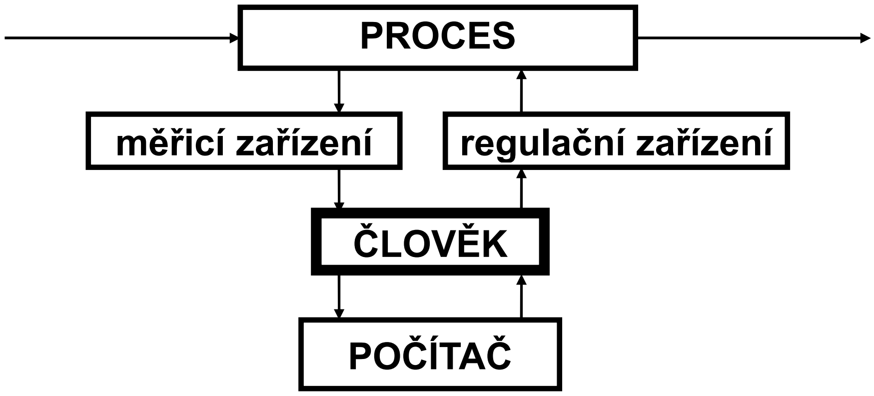
- podle charakteru řízeného procesu - spojité, diskrétní, kombinované, dopravní, montážní,
- podle stupně složitosti - počet kontrolovaných a řízených veličin, velké systémy mají více jak 1000 prvků,
- podle dosahu automatizovaného systému řízení - lokální, integrované, zahrnující základní technologické procesy i procesy pomocné,
- podle stupně automatizace - určuje intelektuální rozdělení funkcí mezi počítačem a člověkem,
- systémy s automatickým sběrem a zpracováním informací - automatické informační systémy - řídicí funkce zde vykonává člověk,
- systémy s automatickou analýzou stavu systému a s vytvořením rad operátorům - počítač je v tomto případě off-line,
- systémy automatického řízení - procesy jsou řízeny automaticky bez přímé účasti člověka - zapojení počítačů in line,
- podle funkčně algoritmických příznaků:
  - systémy logického a programového řízení,
  - systémy stabilizace parametrů,
  - systémy extremálního řízení,
  - systémy adaptivního řízení,
  - systémy organizačně technologického řízení, atd.,
- podle příznaků architektury řídicích systémů:
  - jednoúrovňové systémy s jedním výpočetním komplexem,
  - dvou a víceúrovňové řízení s využitím počítačů na různých úrovních řízení.

Často je užitečné rozlišovat systémy podle vazeb počítačů a lokálních regulátorů navzájem a s procesem. Prolíná se zde dělení podle stupně automatizace i podle architektury řídicího systému. Některé ze základních vazeb jsou:

8.5. Základní vazby řídicího počítače na proces

8.5.1. OFF-LINE

Člověk přijímá a zpracovává informace z procesu. Zavádí je do počítače a informace z počítače po zhodnocení využívá zpětně k řízení procesu.



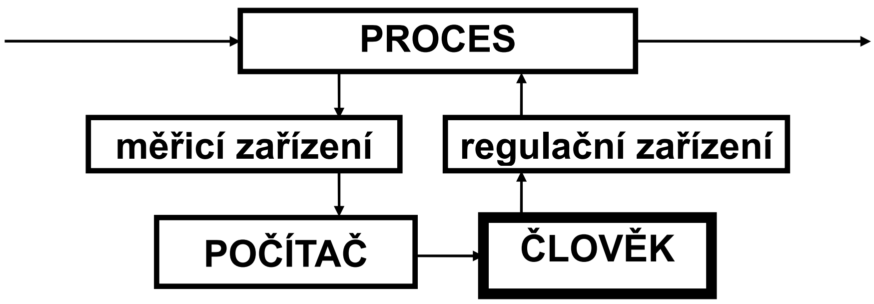
Obr. 8.2. Spojení počítače s procesem off-line

8.5.2. ON-LINE

Při způsobu připojení on-line je počítač přímo spojen s procesem.

8.5.2.1. Způsob činnosti ON-LINE, OPEN-LOOP (otevřená smyčka)

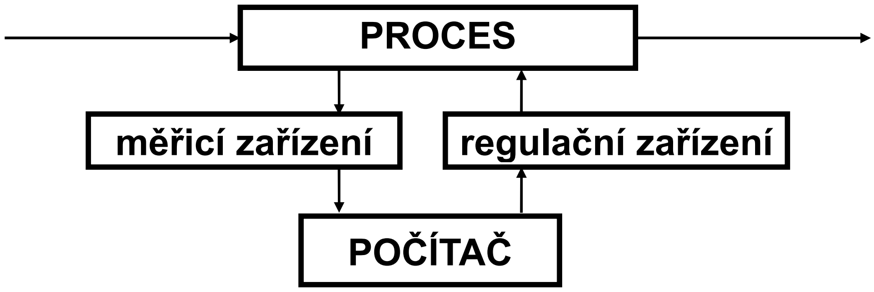
Převod informací z procesu do počítače probíhá automaticky, člověk zhodnocuje výstup z počítače a zavádí ho zpět do procesu.



Obr. 8.3. Spojení počítače s procesem on-line, open-loop

8.5.2.2. Způsob činnosti ON-LINE, CLOSED-LOOP (uzavřená smyčka)

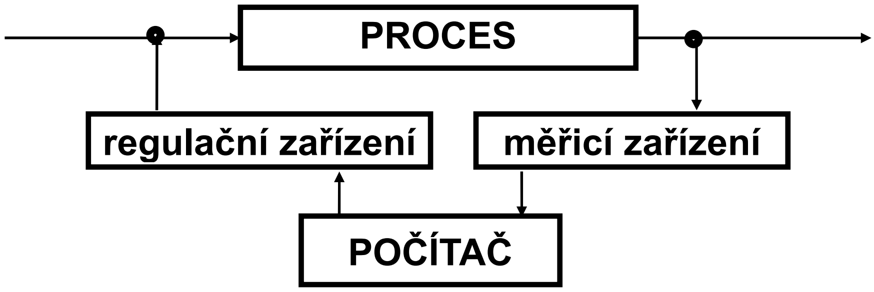
Převod informací z procesu do počítače i z počítače zpět na proces probíhá automaticky, bez zásahu člověka. Ten má zde jen kontrolní funkci.



Obr. 8.4. Spojení počítače s procesem on-line, closed-loop

8.5.3. Spojení soustavy s počítačem způsobem FEED-BACK

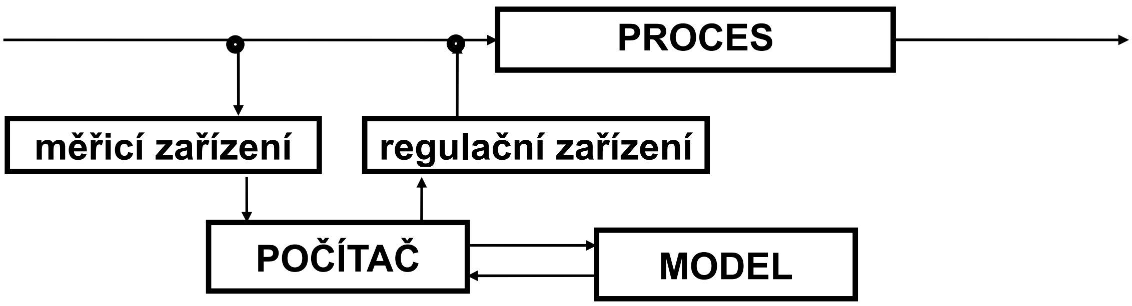
Při tomto spojení se na základě naměřených hodnot vstupních a výstupních veličin procesu přestavují konstanty řízení.



Obr. 8.5. Spojení způsobem feed-back

8.5.4. Spojení soustavy s počítačem způsobem FEED-FORWARD

Počítač zavádí vstupní data do modelu, který mu určí chování systému podstatně rychleji, než k němu opravdu dojde na řízeném procesu. Tím může počítač okamžitě reagovat na změny v procesu a zkvalitňovat tak řízení. Problém je se zpětnou kontrolou kvality modelu.



Obr. 8.6. Spojení způsobem feed-forward

8.6. Syntéza algoritmů řízení

Algoritmy řízení musí řešit úlohy v jednotlivých úrovních řízení.

8.6.1. Úlohy v oblasti rozvrhování výroby

Cílem algoritmizace je sestavit optimální rozvrh výrobních úkolů, dosáhnout shody mezi požadavky zakázek a možnostmi výroby v daném období, provádět transformace zakázek na úroveň dne nebo směny, ovlivňovat průchodnost zakázek, přiřazovat technologické operace jednotlivým agregátům.

Kriteriální funkcí může být odchylka kapacitních nároků a možností. Kritériem optimality může být např. minimalizace nákladů nebo maximální využití výrobního zařízení.

8.6.2. Úlohy ASŘ v operativním řízení výroby

Cílem je optimální plnění požadavků v daném časovém intervalu. Reaguje se na stav zásob, připravenost pomůcek, stav výrobního zařízení, propustnost dopravních cest, možnost dodávek energie, nepředvídané situace.

Typické úkoly zde jsou:

- operativní kontrola stavu výrobních zařízení,
- snímání údajů z výrobního zařízení,
- signalizace havarijních stavů,
- koordinace mezi pracovišti,
- zajištění vazby na ASŘTP a nadřazenou úroveň.

8.6.3. Algoritmy řízení technologických procesů

Úlohy ASŘTP jsou:

- kontrola stavu,
- stabilizace,
- automatické najíždění a odstavování,
- optimalizace technologického procesu,
- optimalizace procesu řízení,
- propojení lokálních regulátorů do ASŘTP.

K tomu je třeba řešit teoretické problémy ASŘTP:

- formulace cílů a efektivnosti řízení,
- problém matematického popisu řízeného systému,
- problém syntézy algoritmu řízení,
- problém získání a přenosu prvotní informace,
- problém transformace informačních signálů na výkonové,
- problém přesnosti realizace algoritmu řízení,
- problém spolehlivosti řízení.

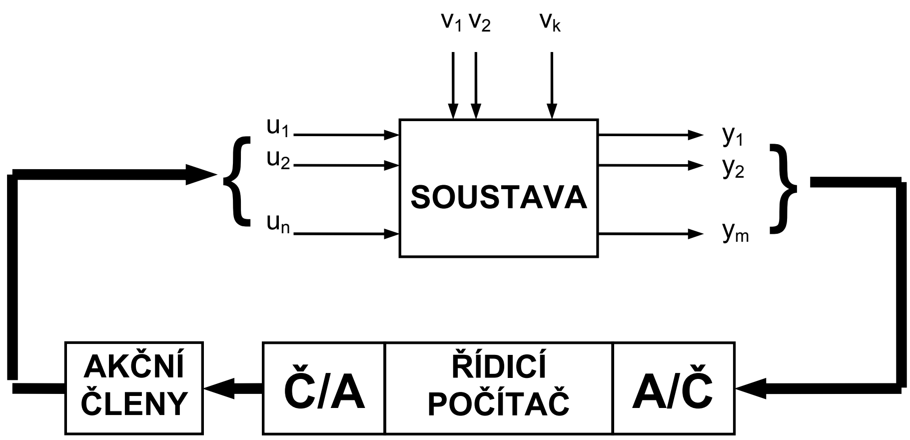
Algoritmy ASŘTP se vyznačují úzkou množinou vstupních a výstupních informací a těžiště spočívá v návrhu jeho střední, tj. transformační části.

Při použití počítače k řízení je nutné pracovat s diskrétními vzorky signálů, které analogově číslicový převodník v diskrétních okamžicích kvantuje a převádí na číselné vyjádření.

Časové konstanty většiny regulovaných soustav jsou o mnoho řádů větší, než je doba potřebná pro výpočet regulačního zásahu. Mezi jednotlivými akčními zásahy je dost času pro využití počítače pro jiné regulační úlohy. Počítač je pak postupně připojován do většího počtu regulačních obvodů.

Uvažujme řízení mnohorozměrné soustavy počítačem:

Objekt identifikace si lze znázornit takto:



Obr. 8.7. Připojení řídicího počítače

Blok A/Č obsahuje vzorkovací zařízení, multiplexor, který je programově řízeným přepínačem pro postupné připojování jednotlivých regulovaných veličin na vstup převodníku a analogově číslicový převodník.

Blok Č/A obsahuje číslicově analogový převodník a tvarovací obvody, které udržují hodnoty akčních veličin po dobu mezi jednotlivými řídícími zásahy na požadované úrovni. Před tvarovacími členy musí být rovněž zařazen multiplexor.

Cílem algoritmu řízení není jen prostá náhrada klasických regulátorů známých z teorie automatického řízení, i když i ta je možná, ale vytváření obecných závislostí mezi akčním signálem a odchylkou regulačního obvodu umožňující změny struktury a parametrů regulátoru v průběhu regulačního děje podle změn vlastností regulovaných soustav. Cílem je dosažení optimálního průběhu regulačního pochodu.

9. OPTIMÁLNÍ ŘÍZENÍ

Praktické řešení algoritmu optimálního řízení vyžaduje značný objem informací.

Existují dvě možnosti:

- nemáme dostatečné apriorní informaci o objektu,
- máme dostatečné apriorní informaci o objektu.

V případě nedostatečnosti informací využíváme průběžné informace, která je výsledkem pozorování experimentu v průběhu řízení. Optimalizujeme-li takový systém, jehož parametry se neustále mění, jedná se o optimalizaci nedeterministickou. Při ní se proces identifikace a řízení vykonává současně. Optimálního řízení se dosáhne adaptivními systémy, které jsou schopny své vlastnosti přizpůsobovat změnou parametrů, nebo učícími se systémy, které jsou schopny své vlastnosti během řízení zlepšovat.

Optimalizujeme-li systém, který jsme schopni matematicky popsat, jedná se o optimalizaci deterministickou. U takových systémů lze podle znalosti chování v určitém časovém intervalu usuzovat i na chování mimo tento interval. Patří sem tedy systémy stochastické, u kterých znalost chování těchto procesů v nějakém úseku umožňuje určit pravděpodobnostní charakteristiky chování i vně tohoto časového intervalu.

V praxi považujeme apriorní informace za základ pro formulaci problému optimálního řízení a průběžnou informaci za prostředek řešení.

9.1. Nedeterministická optimalizace

Řídicí systém vykonává funkci identifikace a řízení. Tuto činnost vykonává tzv. optimalizátor. Ten působí aktivně na objekt a podle výsledků působení mění algoritmus řízení tak, aby bylo dosahováno extrému kritéria optimality. Optimální hodnoty jsou charakterizovány dosažením extrému stanoveného kritéria - odtud název extremální regulace. Optimalizace se děje samočinným vyhledáváním extrému kritéria optimality.

Všimněme si extremálního charakteru některých vybraných veličin charakterizujících ohřev. Jedná se především o tyto veličiny:

- spalovací poměr ρ,
- účinnost pece η,
- ztráta tepla odpadními spalinami,
- gradient růstu teploty v peci,
- spotřeba paliva k ohřevu,
- teplota plamene.

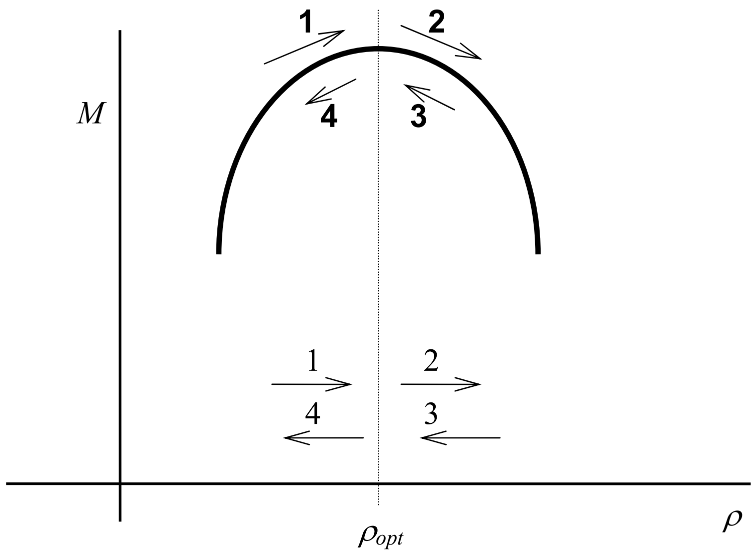
Je žádoucí, aby ohřev probíhal s co nejvyšší účinností. Jedním z činitelů je využití tepla přivedeného do pece. To vyžaduje udržování spalovacího poměru na optimální hodnotě. Poměrová regulace stabilizačního typu však nezajišťuje maximální využití paliva, neboť nerespektuje změny spalovacích poměrů v peci, změny složení paliva, infiltraci studeného vzduchu apod.

Dá se ukázat, že výše uvedené veličiny mají extrém při spalování s přibližně teoretickým množstvím vzduchu. Zároveň bude maximální teplota plamene, nejrychleji poroste teplota vsázky, bude nejmenší spotřeba paliva na ohřev.

Maximální účinnost pece při ohřevu je určena jedinými extrémy výrazných nelineárních závislostí teploty plamene, komínových ztrát, gradientu růstu teploty vsázky a spotřeby paliva v závislosti na spalovacím poměru ρ.

Funkci extremálního regulátoru lze znázornit na obr. 9.1. Jako kritérium optimality si lze představit měřenou teplotu plamene M v závislosti na spalovacím poměru.

Pro soustavy s delšími časovými konstantami je vhodné provedení extremálního regulátoru jako krokového. Krokový extremální regulátor vykonává svou činnost tak, že provede změnu spalovacího poměru ρ tím, že zvýší množství spalovacího vzduchu (1). V případě, že došlo k přírůstku kritéria optimality (**1**), vyhodnotí se tento krok jako správný a provede se další změna spalovacího poměru ve stejném směru (2). Protože však došlo ke snížení hodnoty kritéria optimality (**2**), provede se další krok opačným směrem (3) a množství vzduchu se sníží. Tento krok způsobí opět zvýšení hodnoty kritéria optimality (**3**) a následně proto dojde k opakování kroku stejným směrem, tj. K dalšímu snížení množství vzduchu (4). Tento krok způsobí snížení hodnoty kritéria optimality (**4**) a množství vzduchu se opět zvýší. Celý proces se neustále opakuje a regulátor činí kroky kolem maximální hodnoty zvoleného kritéria. Tím vznikají ztráty hledáním, které jsou tím větší, čím jsou větší pokusné kroky extremálního regulátoru. Zároveň s velikostí kroku roste odolnost regulátoru proti nesprávnému kroku při výskytu nežádoucí poruchy, která se může projevit na hodnotě kritéria optimality aniž je vyvolána pokusným krokem extremálního regulátoru. Vzhledem k tomu, že se poloha extrému neustále mění, musí být regulátor schopen se této změně přizpůsobit. To je zabezpečováno volbou periody kroku.



Obr. 9.1. Funkce extremálního regulátoru

Pro zabezpečení funkce musí být extremální regulátor vybaven zařízením pro měření přírůstku kritéria optimality, zařízením pro zapamatování směru kroku regulátoru a logickým obvodem pro určení směru dalšího kroku. Označíme-li $\Delta\rho$ jako přidání nebo snížení množství vzduchu, tj. kladný nebo záporný směr pokusného kroku, a ΔM zvýšení nebo snížení hodnoty kritéria optimality, tj. kladnou nebo zápornou hodnotu změny kritéria optimality, je možno pravdivostní tabulku logického obvodu pro vyhodnocení směru příštího kroku napsat ve tvaru:

Tab. 9.1. Pravdivostní tabulka logického obvodu

$\Delta\rho_n$	ΔM_n	$\Delta\rho_{n+1}$
+	+	+
+	-	-
-	+	-
-	-	+

n - pořadí pokusného kroku,

$\rho_n - \rho_{n+1} = \Delta\rho_n$ - velikost kroku,

$M_n - M_{n-1} = \Delta M_n$ - přírůstek kritéria.

Přenos extremálního regulátoru je

$$F = \text{sign } \Delta\rho \,.\, \text{sign } \Delta M \qquad (9.1)$$

$F = 1$ - zvětšení množství vzduchu

$F = -1$ - snížení množství vzduchu

9.2. Deterministická optimalizace

Tato optimalizace může být definována jako převedení systému z počátečního stavu do cílového stavu zadaného žádanými hodnotami takovým způsobem, aby bylo minimalizováno kritérium optimality, které je určeno ekonomickými hledisky a to při respektování všech omezení na akční i řízené veličiny systému.

Příkladem může být vedení ohřevu tělesa tak, aby bylo dosaženo minimální spotřeby energie, minimálního okysličení materiálu, minimálních nákladů atd.

Kritérium optimality je zpravidla vyjádřeno jako funkcionál. Obecnou metodou řešení optimálního řízení je variační počet pro hledání extrému funkcionálu. Vzhledem k omezujícím podmínkám se však užívá speciálních metod, jako je Pontrjaginův princip maxima nebo Bellmannova metoda dynamického programování.

10.LITERATURA

BALÁTĚ, J. *Automatické řízení.* 2. přeprac. vyd., Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-148-9

BALDA, M., KRÁL, F. PITRA, Z. *Projektování a provoz automatizovaných systémů řízení technologických procesů*. Praha: ČVUT, 1988.

DRÁBEK, O., TAUFER, I. *Automatizované systémy řízení technologických procesů*. 2. vyd , Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1990. ISBN 80-85113-16-3

HANUŠ, B., BALDA, M. *Základy technické kybernetiky.* 1. vyd., Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1980.

KLÍR, J. , SEIDL, K. *Syntéza logických obvodů.* Praha: SNTL, 1966.

KOTEK, Z., VYSOKÝ, P., ZDRÁHAL, Z. *Kybernetika*. Praha: SNTL, 1990.

NIEDERLINSKI, A. *Číslicové systémy pro řízení technologických procesů. Díl I., II.* Praha: SNTL, 1984.

NUTIL, J., ČECH, V. *Měření v hutním průmyslu*. Praha: SNTL, 1982.

OPLATEK, F. *Automatizace a automatizační technika. 4, Automatické systémy.* 1. vyd., Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-249-1

OPPELT, W. *Příručka regulační techniky*. Praha: SNTL, 1958.

ŠVARC, I. *Automatizace: automatické řízení.* 2. dopl.vyd., Brno: CERM, 2005. ISBN 80-214-2943-7

TOMIS, L. a kol.: *Automatizované systémy řízení technologických procesů v hutnictví.* 2. vyd., *Ostrava:* Vysoká škola báňská, 1984.

TOMIS, L., HEGER, M., BALCOVÁ, J., KADLČÍK, I. *ASŘ TP v hutích - výpočetní a laboratorní cvičení.* 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. ISBN 80-7078-079-7

VÍTEČKOVÁ, M., VÍTEČEK, A. *Základy automatické regulace.* 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1068-9

VORÁČEK, R. *Automatizace a automatizační technika. 2, Automatické řízení.* 1. vyd., Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0796-5

VROŽINA, M., KOBĚRSKÝ J.: Základy automatizace technologických procesů, prozatimní texty kombinovaného studia, FMMI, 1998

PŘÍLOHA 1

Vybrané vztahy ze slovníku Laplaceovy transformace

	f(t)	**F(p)**
1.	δ(t) Diracův impuls	1
2.	η(t) Heavisidův jednotkový skok	$\frac{1}{p}$
3.	a	$\frac{a}{p}$
4.	t	$\frac{1}{p^2}$
5.	t^n	$\frac{n!}{p^{n+1}}$
6.	$e^{-a\cdot t}$	$\frac{1}{p+a}$
7.	$\frac{1}{a}\cdot\left(1-e^{-a\cdot t}\right)$	$\frac{1}{p\cdot(p+a)}$
8.	sin $(b\cdot t)$	$\frac{b}{p^2+b^2}$
9.	cos $(b\cdot t)$	$\frac{p}{p^2+b^2}$
10.	$e^{-a\cdot t}-e^{-b\cdot t}$	$\frac{b-a}{(p+a)\cdot(p+b)}$
11.	$t\cdot e^{-a\cdot t}$	$\frac{1}{(p+a)^2}$
12.	$t^{n-1}\cdot e^{-a\cdot t}$	$\frac{(n-1)!}{(p+a)^n}$
13.	$e^{-a\cdot t}\cdot\left(1-a\cdot t\right)$	$\frac{p}{(p+a)^2}$
14.	$1-\cos(b\cdot t)$	$\frac{b^2}{p\cdot(p^2+b^2)}$

Poznámky: a, b jsou konstanty