

E-learning předmětu Technické prostředky automatizace I. (TZ-3)

Jakub Šimek

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Institut řízení procesů a aplikované informatiky

Děkuji panu prof. Ing. Jaroslavovi Balátěmu, DrSc. za odborné vedení práce a za cenné připomínky, které mi v průběhu vypracování práce poskytl.

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Tato bakalářská práce zapadá do koncepce CAAC – počítačová podpora automatického řízení. Jak již sám název bakalářské práce napovídá, cílem bylo vytvořit elektronickou učební pomůcku pro předmět Technické prostředky automatizace I (TZ-3), pro programové prostředí Acrobat Reader, MS Word a MS PowerPoint. V práci je nejen popsán software, který byl k vytvoření pomůcky využíván, ale také informace o e-learningu a CAAC. Také je zde uveden obsah elektronické učební pomůcky.

Abstrakt ve světovém jazyce

This Baccalaureate work fits into conception of CAAC - Computer aided automatic control. As the term tells us the main purpose is to create electronically teaching aids in subject of Technical means of automation I. (TZ-3) for programmatic world Adobe Reader, MS Word and MS Power Point. In this work isn't only described the software, which was used for creation of this teaching aid but there are information about e-learning and CAAC too. The content of electronic teaching aids is also mentioned here.

OBSAH

OBSAH.....	5
ÚVOD	7
I. TEORETICKÁ ČÁST	8
1 E-LEARNING	9
1.1 Co je to e-learning.....	9
1.2 Typy e-learningu.....	9
1.3 Distribuce informací.....	9
1.4 Výhody a nevýhody e-learningu	10
1.5 Vztah e-learningu a klasické výuky	11
1.6 Trendy v e-learningu	12
2 INFORMAČNÍ SYSTÉM CAAC	13
2.1 Základní popis informačního systému CAAC	13
2.1.1 Koncepce informačního systému CAAC.....	13
2.1.2 Struktura informačního systému CAAC.....	14
2.1.3 Stromové struktury subsystémů informačního systému CAAC	15
2.2 Informační systém CAAC na WWW stránkách.....	15
2.2.1 Postup vytváření hierarchie CAAC v prostředí WWW	15
2.3 Využití informačního systému CAAC.....	16
3 FINEREADER 7.0	18
3.1 Vkládání dokumentu	18
3.1.1 Integrální vnímání přizpůsobivé na daný účel.....	18
3.2 Vlastnosti programu FineReader 7.0	19
3.3 Podporované formáty pro ukládání.....	20
3.4 Podporované obrazové vstupy.....	20
3.5 Podporované jazyky	21
3.6 Základní ovládání.....	21
3.7 Požadavky na systém.....	23
4 ADOBE ACROBAT 6.0 CE PROFESSIONAL	24
4.1 Co je to PDF?	24
4.2 Způsob vytvoření PDF pomocí Adobe Acrobat	24
4.3 Funkce programu Acrobat 6.0	25
4.3.1 Metody zabezpečení dokumentu	25
4.4 Požadavky na systém.....	26
5 CORELDRAW 11.....	27
5.1 Vektorová a rastrová grafika	27
5.1.1 Vektorová grafika	27
5.1.2 Rastrová grafika.....	27
5.2 Pracovní plocha.....	28
5.3 Požadavky na systém.....	31
II. PRAKTICKÁ ČÁST.....	32
6 OPAKOVÁNÍ Z TEORIE AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ	33
7 TECHNICKÉ PROSTŘEDKY AUTOMATIZACE	36
7.1 Úvod	36
7.1.1 Technický rozvoj technických prostředků automatizace.....	36
7.1.2 Vývoj řízení výrobních procesů a technických prostředků automatického řízení	36
7.1.3 Kybernetika a řídicí technika.....	37

7.1.4	Základní funkce a klasifikace technických prostředků automatického řízení	42
7.1.5	Provozní podmínky a technické požadavky	45
7.2	Snímače.....	46
7.2.1	Měření.....	46
7.2.2	Blokové schéma měřicí soustavy	47
7.2.3	Snímač jako člen pro získání informace.....	48
7.2.4	Přehled snímačů a jejich použití	55
7.2.5	Měřicí převodníky neelektrických veličin	55
7.2.6	Vývojové směry v oblasti snímačů a měřicích metod	69
7.3	Členy k obnově transformaci informace	72
7.3.1	Obecné vlastnosti a úkoly.....	72
7.3.2	Zesilovače.....	73
7.3.3	Operační zesilovače.....	75
7.3.4	Oddělovací zesilovače	79
7.3.5	Výkonové zesilovače.....	79
7.3.5.1	Elektrické výkonové zesilovače	80
7.3.5.2	Pneumatické výkonové zesilovače	94
7.3.5.3	Hydraulické výkonové zesilovače	96
7.3.6	Tvarovače signálů.....	99
7.3.7	Modulátory	100
7.3.8	Převodníky.....	102
7.3.8.1	Převodníky přirozeného signálu na jednotný	102
7.3.8.2	Mezisystémové převodníky	104
7.3.8.2	A/D převodník	107
7.3.8.3	D/A převodník	110
7.4	Servomotory	110
7.4.1	Elektrické servomotory	111
7.4.2	Pneumatické servomotory	113
7.4.3	Hydraulické servomotory	115
7.5	Regulační orgány	118
7.6	Stavebnicové systémy - příklady	123
7.6.1	Modulový systém (princip MODIN - ZPA:Závody průmyslové automatizace).....	124
7.6.2	Příklad koncepce centralizovaného řídicího systému (princip ZPA)	128
7.6.3	Příklad koncepce decentralizovaného systému (princip DERIS)	129
7.6.4	Příklad pneumatického stavebnicového systému	131
7.6.5	Příklad automatického systému řízení budov (topologie METASYS ®).....	133
7.6.6	Historie vývoje automatických regulátorů – od přímých regulátorů k řídicím systémům.....	134
ZÁVĚR.....		135
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		136
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		137
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		141
SEZNAM TABULEK		143
SEZNAM PŘÍLOH.....		144

ÚVOD

Hlavním cílem této bakalářské práce je seznámit se s obsahovou náplní předmětu *Technické prostředky automatizace I. (TZ-3)*, a vypracovat, dle doporučené literatury, elektronickou učební pomůcku, pro studijní program - Procesní inženýrství, studijní obor - Technologická zařízení. Osnova předmětu se skládá z přednášek a laboratorních cvičení.

V dnešní době se výpočetní technika prosazuje prakticky ve všech oblastech lidské činnosti, a proto převedení studijního materiálu do elektronické podoby zajistí lepší dostupnost a zkvalitnění výuky. Dle dohody z vedoucím bakalářské práce byla elektronická učební pomůcka zpracována pro následující programové prostředí:

- Acrobat Reader – určeno studentům,
- MS Word – určeno autorovi,
- MS PowerPoint – určeno autorovi (přednášejícímu).

Práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část. Teoretická část je věnována k objasnění pojmů e-learning, CAAC, a je v ní popsán software, který byl využit k vytvoření této elektronické učební pomůcky (dále jen e-dokument). V praktické části je uveden e-dokument, který je rozdělený na dva hlavní okruhy:

- 1. okruh obsahuje opakování z předmětu *Řízení technologických procesů*. V této části e-dokumentu jsou uvedeny jen odkazy na doporučenou literaturu (Balátě, J. [2003, resp.2004]. Automatické řízení. BEN-technická literatura, Praha.) a slouží jen pro připomenutí probrané látky ze 4. semestru, předmětu *Řízení technologický procesů – 4ŘT*.
- 2. okruh obsahuje látku z předmětu *Technické prostředky automatizace (TZ-3)*, který je stěžejní částí tohoto e-dokumentu a seznamuje posluchače s problematikou technických prostředků automatického řízení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 E-LEARNING

1.1 Co je to e-learning

E-learning, není nic převratně nového, pouze máme v současné době k dispozici daleko použitelnější technologie a infrastrukturu v celé společnosti. E-learning v širším slova smyslu znamená proces, který popisuje a řeší tvorbu, distribuci, řízení výuky a zpětnou vazbu na základě počítačových kurzů, kterým stále častěji říkáme e-learningové kurzy. Tyto aplikace většinou obsahují simulace, multimediální lekce, tj. kombinace textového výkladu s animacemi, grafikou, schématy, auditem, videem a elektronickými testy. Každý student si může zvolit formu vzdělávání, která mu nejvíce vyhovuje [6].

Stručně a jednoduše řečeno, e-learning je efektivní využívání informačních technologií v procesu vzdělávání.

1.2 Typy e-learningu

- off-line studium
 - komunikace prostřednictvím diskusních skupin
 - komunikace prostřednictvím e-mailu
- on-line studium
 - chat
 - sdílení aplikací
 - video konference
 - virtuální třídy

1.3 Distribuce informací

E-learningové kurzy mohou být distribuovány různými způsoby, například s pomocí počítačových sítí nebo s pomocí CD ROMů. Kromě samotné distribuce informací v multimediální podobě obsahuje e-learningový systém vzdělání také mechanismy pro zpětnou vazbu a její vyhodnocení. Účastníci vzdělávání tak mají téměř okamžitou kontrolu získaných znalostí formou cvičení a různých variant testů. Distributor (lektor) této formy

vzdělání může také získávat informace o postupu studujících, o jejich spokojenosti, požadavcích na konzultaci, apod.

Účastníci ke komunikaci s lektorem nebo mezi sebou mohou navzájem využívat on-line formu komunikace (chat, videokonference, apod.) nebo off-line formu (diskusní fóra, e-mail, apod.). Předávané informace (znalosti, vědomosti a dovednosti) jsou v e-learningu zpracovány formou multimediálních výukových programů, které vhodně kombinují text, obraz a zvuk a také mohou mít i různé podoby, např. [6]:

- kurzy jako elektronické příručky, kdy je studujícímu je umožněn přístup k informacím a jejich aktualizaci, neexistuje však možnost konzultace s lektorem či komunikace s ostatními studujícími,
- nepodporované (nelektorované) kurzy, kdy je studujícímu umožněn přístup k informacím, jejich aktualizaci i testům, existuje komunikace s ostatními studujícími, neexistuje však komunikace s lektorem,
- podporované (lektorované) kurzy, kdy na rozdíl od nelektorovaných kurzů jsou studující vedeni (řízeni) lektorem, mají možnost konzultovat s ním vzniklé problémy, apod.

1.4 Výhody a nevýhody e-learningu

Výhody využívání e-learningu [6]:

- svobodná volba času studia
- úspora času a nákladů na vzdělání (týká se to zejména cestování na větší vzdálenosti)
- jednotný systém výuky a testování znalostí
- absence stresu z momentálního studijního neúspěchu
- možnost konzultace s lektorem a s ostatními studenty
- vyškolení velkého počtu studentů v krátkém čase
- relativně snadná aktualizace obsahu
- průběžné doplňování znalostí
- kontrola osvojení znalostí a dovedností

- sledování průběhu a výsledků studia
- variabilita a interaktivita
- tvorba znalostní báze

Nevýhody využívání e-learningu [6]:

- vysoce sofistikovaná metoda výuky
- absence motivujícího „živého“ prostředí
- vysoké počáteční náklady na pořízení potřebného vybavení (počítač), nutnost připojení k Internetu

1.5 Vztah e-learningu a klasické výuky

Formy klasického vzdělávání pod vedením lektorů existuje již od počátku historie a pro určité oblasti bude nezastupitelné patrně i v budoucnosti. Klasické vzdělání má však i řadu nedostatků, protože například předpokládá, že všichni studenti v učebně vnímají stejně rychle, všem vyhovuje mluvený výklad lektora, všichni chtějí v dané chvíli látku studovat, atd. E-learning tyto nedostatky eliminuje. Student prochází výukovým kurzem svým tempem, sám si určuje způsob průchodu, vracení se k tématům, vybírá si z více variant výkladu. Rovněž si studijní program spouští ve chvíli, kdy potřebuje, to znamená, že chce studovat a bude se výkladu věnovat. Prostřednictvím řady otázek, simulací a testů je vtahován aktivně do výuky, což významně zvyšuje zapamatování výuky.

E-learning nemá za cíl nahradit klasické vzdělání ve všech oblastech. Je však vhodným doplňkem i pro oblasti, kde je osobní kontakt s lektorem považován za nezastupitelný. Lze například elektronicky „přeškolit“ studenty, kteří pak na školení s lektorem přicházejí již s řadou informací a dotazů. Lektor se pak může věnovat pouze obtížným částem látky a lze tak významně zkrátit dobu školení.

Lektor navíc není vůbec vyloučen z procesu e-learning, jak by se mohlo zdát. E-learning přináší řadu komunikačních nástrojů počínaje e-mailem a konče videokonferencemi, které umožňují lektorům individuálně se věnovat jednotlivým studentům. Na základě zpětných informací z kurzů má lektor přesné informace, jak si student vedl v které lekci, kolik kde dosáhl bodů a kolik času strávil v jednotlivých oblastech výuky. Díky řadě komunikačních technologií, jako jsou e-mail, videokonference, chat apod., může pak se studentem komunikovat intenzivněji, než jak je tomu v hodinách klasické výuky. E-learning dodává

lektorům výkonné nástroje pro snadný a rychlý převod vlastních znalostí, zkušeností a dovedností do normy, která tyto aktiva udělá okamžitě dostupné všem, kteří je potřebují [6].

1.6 Trendy v e-learningu

V poslední době se prosazují následující trendy [6]:

Dynamický obsah

Dynamický obsah se přizpůsobuje a mění na základě toho, jak se sním student interaguje. Technologie umožňují organizovat obsah do malých segmentů, které se nazývají učební objekty. Učební objekt obsahuje nejen výuku, ale obsahuje zároveň svůj vlastní popis, např. cíl studia, autor, jazyk, informace o charakteru obsahu atd. Tyto informace se nazývají metada. Přizpůsobení se dělá na základě informací získaných z profilu studenta, výsledků testů, dosažených dovedností apod.

Blended learning

Jak již bylo uvedeno e-learning se převážně využívá v kombinaci s dalšími typy výuky, jako je např. lektorem vedený kurz. Organizace využívající e-learning se snaží zajistit optimální vzdělávání, kde je výuka integrovaná do každodenního pracovního života zaměstnance. Používání více metod zprostředkování výuky pro dosažení cílového efektu se nazývá „blended learning“.

Knowledge management

Tento pojem, je spojován se způsobem, jak organizace sbírá, organizuje, sdílí a analyzuje své vědomosti, zahrnující zdroje, dokumenty a lidské dovednosti. V organizaci můžeme najít dva typy vědomostí: specifikované (reprezentované ve fyzické formě např. manuál, dokument apod.) a nespecifikované (nositelé těchto informací jsou lidé v organizaci). V poslední době e-learning a knowledge management konvergují.

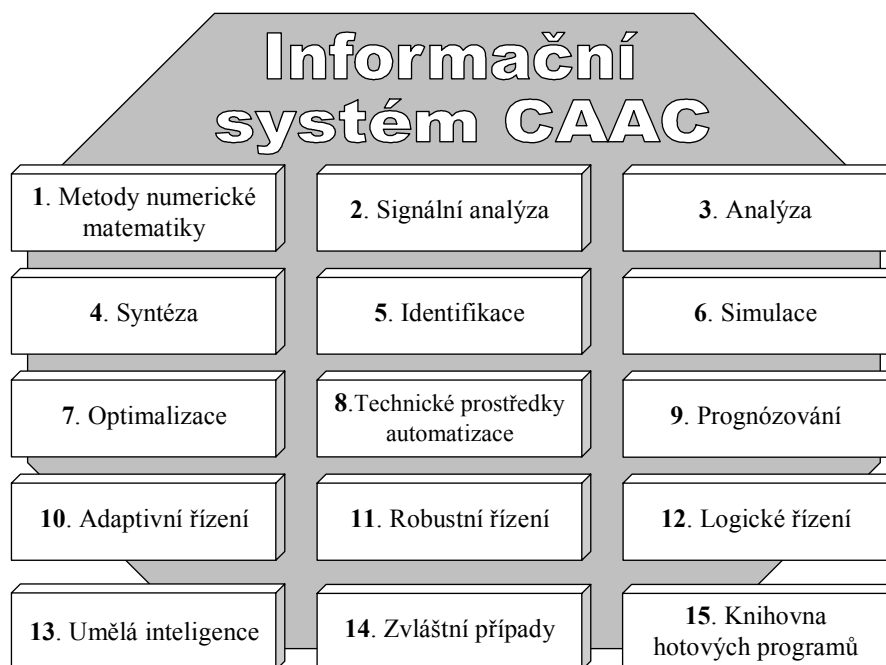
2 INFORMAČNÍ SYSTÉM CAAC

Zpracováno podle disertační práce Ing. Pavla Navrátila, PhD. [3].

2.1 Základní popis informačního systému CAAC

2.1.1 Koncepce informačního systému CAAC

Teorie automatického řízení je členěna do specializovaných tematických okruhů (Obr. 1). Při řešení konkrétního návrhu automatického řízení technologického procesu je nutné využívat některých z metod analýzy řízených systémů resp. jejich identifikace, syntézy regulačních obvodů, řešení robustnosti navržených řídicích systémů případně adaptivních algoritmů, návržení optimálních algoritmů pro řízení, simulace chování řízených systémů včetně regulačních pochodů, případně predikace časových řad a prediktivního řízení, s cílem zlepšení kvality průběhu regulačních pochodů při současném zajištění bezpečnosti technologických procesů, jejich hospodárnosti a jejich vlivu na životní prostředí. S tím souvisí i problémy zpracovávání signálů, přenos signálů a vlastní tvorby řídicích algoritmů.



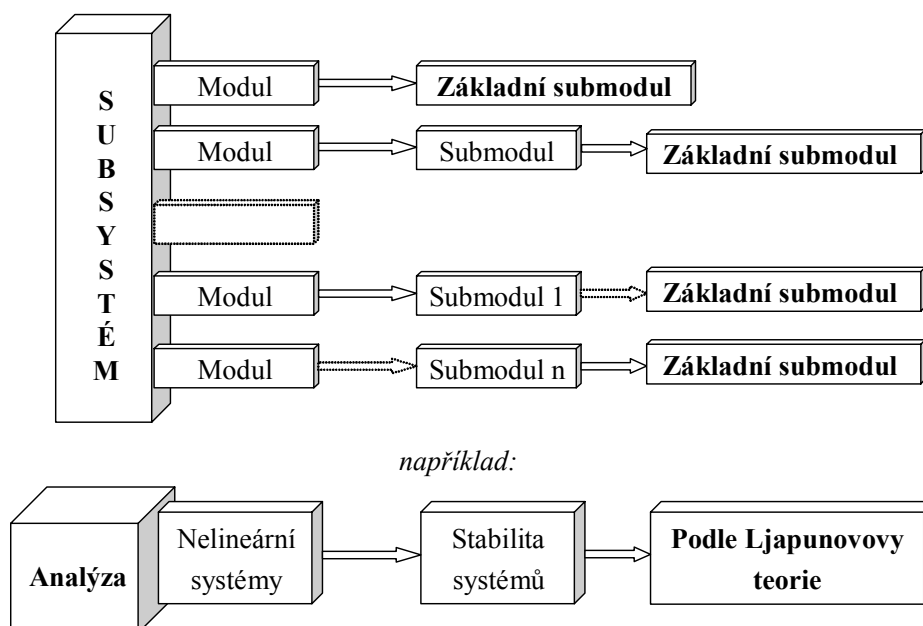
Obr. 1 Výčet názvů tematických okruhů (subsystémů) informačního systému CAAC

Navržený informační systém CAAC (Computer Aided Automatic Control) je synonymní s termínem CADCS (Computer Aided Design in Control System), který je více rozšířený. Informační systém CAAC představuje průběžně tvořený otevřený systém dílčích tematických okruhů, tzv. subsystémů pro počítačovou podporu teorie automatického řízení. Informační systém CAAC je prozatím rozložen do 15-ti subsystémů (Obr. 1), které zahrnují teorii automatického řízení.

Z výše uvedeného obrázku je patrné, že informační systém CAAC je poměrně rozsáhlý, proto se v další části práce budu zabývat pouze vybranými částmi dvou konkrétních subsystémů, tj. subsystémem „Analýza“ a „Syntéza“.

2.1.2 Struktura informačního systému CAAC

Ve všech výše zmiňovaných subsystémech informačního systému CAAC (Obr. 1) je formulována tzv. problémová specifikace. Každý subsystém je rozčleněn na moduly, které se dále člení na submoduly až do základních submodulů (Obr. 2). Základní submodul je nejnížší úroveň hierarchického uspořádání informačního systému CAAC, který řeší konkrétní problém (např. stabilita systému podle Ljapunovy teorie) daného subsystému (např. Analýza) a měl by obsahovat odborný popis, ukázkový příklad, výpočetní program a použitou případně doporučenou literaturu. Výjimku tvoří pouze subsystém „Knihovna hotových programů“, kde základní submodul by měl obsahovat výpočetní program vytvořený pro vybrané části konkrétního subsystému nebo subsystémů a dále pak popis tohoto programu.



Obr. 2 Struktura informačního systému CAAC

Jak lze vidět z obrázku (Obr. 2), základním submodule se může stát již třetí úroveň daného subsystému, tzn., že subsystém bude vždy obsahovat modul a základní submodule. Pokud bude mít daný subsystém více než tři úrovně pak bude obsahovat kromě modulu a základního submodule také submodule. Počet úrovní submodule daného modulu závisí potom na celkovém počtu úrovní daného subsystému. Maximální počet úrovní každého subsystému byl stanoven z hlediska snadnější orientace uživatele na šest, tzn., že počet úrovní submodule daného modulu může být maximálně tři.

2.1.3 Stromové struktury subsystémů informačního systému CAAC

Stromová struktura všech subsystémů odpovídá členění, tak jak je naznačeno na obrázku (Obr. 2) a slouží jako podklad pro tvorbu WWW stránek. Některé stromové struktury subsystémů vznikaly dílčím způsobem v již dříve zpracovaných pracích a v současnosti jsou vždy podle nejnovějších informací upravovány. V současné době jsou navrženy stromové struktury všech 15-ti subsystémů.

2.2 Informační systém CAAC na WWW stránkách

Počítačová síť Internet je v současné době nejrozsáhlejší počítačovou sítí ve světě, nikdo ji jako celek nevlastní a nemá žádné centrální řízení. Internet je celosvětová počítačová síť, která vzájemně propojuje počítačové sítě pomocí vysokorychlostních datových spojů. Všichni uživatelé mohou spolu po této síti komunikovat, nabízet informace a využívat nabízené informace. Z toho důvodu informační systém CAAC se snaží využívat Internetu pomocí služby WWW jako nástroje pro počítačovou podporu automatického řízení.

2.2.1 Postup vytváření hierarchie CAAC v prostředí WWW

Informační systém CAAC se skládá z velkého množství základních submoduleů, které svým obsahem určují jeho kvalitu. Je důležité uvědomit si tedy rozsah celého informačního systému CAAC, aby se daly velmi rychlým a bezpečným způsobem doplňovat nové základní submodule, popřípadě upravovat stávající.

Na informační systém CAAC v prostředí WWW stránek jsou proto kladeny následující požadavky:

- hierarchické uspořádání a intuitivní názvy jednotlivých adresářů a souborů
- jednoznačná struktura jednotlivých WWW stránek informačního systému CAAC
- bezpečnost při aktualizaci a při doplňování jednotlivých částí systému
- rychlé vyhledání souborů pro jejich aktualizaci

Jeden ze způsobů jak splnit výše uvedené požadavky je rozčlenit problémy, vzniklé plněním těchto požadavků, do tří hlavních částí. Proto byly vytvořeny struktury adresářů a navrženo umístění souborů v informačním systému CAAC, dále pak byly vytvořeny osnovy WWW stránek pro jednotlivé části informačního systému CAAC a nakonec byly vytvořeny informační seznamy o aktuálním stavu řešení jednotlivých částí informačního systému CAAC.

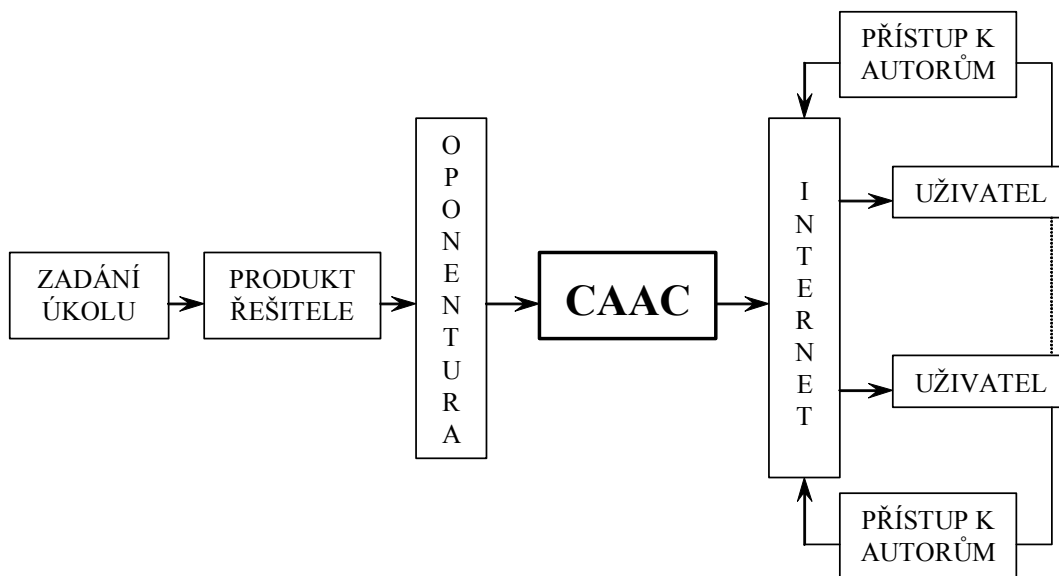
Při tvorbě informačního systému CAAC je využíváno různých programovacích jazyků, např. PHP, JavaScript, HTML, DHTML, CSS (kaskádovité styly). V postupu vytváření WWW musí být brát ohled také na uživatele, kteří využívají různé internetové prohlížeče. Ne každý internetový prohlížeč totiž podporuje veškeré příkazy jazyka a mohlo by dojít k tomu, že by se uživatel nedostal k potřebným datům.

2.3 Využití informačního systému CAAC

Využití informačního systému CAAC se předpokládá zejména pro didaktické účely, jedná se tedy o výukový systém. Informační systém CAAC je možno využít pro didaktické účely buď jako doplnění klasické formy výuky nebo v určitých případech i jako náhradu klasické formy výuky, například u kombinované formy studia.

Pomoc při využití informačního systému CAAC k didaktickým účelům lze nalézt v dnešní době použitím WWW stránek na Internetu, kde prvky jednotlivých subsystémů 1-14 (Obr. 1) budou podrobně popsány v základních submodulech. Samotné hotové programy, které budou řešit problémy v daném okruhu budou uloženy v subsystému 15, tj. v subsystému "Knihovna hotových programů" (Obr. 1). Informační systém CAAC tedy přináší možnost využívat moderní technologie Internetu každému jedinci a zajistit tak, při minimálních nákladech, kvalitní vzdělávání všem zájemcům, kteří chtějí získat znalosti v tomto oboru, a kteří mají zájem o rozšiřování svých znalostí. Jedná se svým způsobem o určitou formu e-learningu, který je poslední dobou velmi rozšiřován a propagován.

Na následujícím obrázku (Obr. 3) je naznačeno, jak budou protékat informace informačním systémem CAAC. Vyřešený úkol projde oponenturou, která doporučí nebo nedoporučí zařadit vyřešený úkol do informačního systému CAAC. V případě kladného posouzení vyřešeného úkolu bude tento zpřístupněn uživatelům pomocí služby WWW stránek Internetu. Uživatelé pak mohou podle svých zkušeností připomínkovat řešení prostřednictvím autora.



Obr. 3 Informační toky informačním systémem CAAC

Vybrané části informačního systému CAAC jsou zpřístupněny na internetové adrese: <http://www.caac.zde.cz>. Více o tomto systému se dozvíte v literatuře [3].

3 FINEREADER 7.0

FineReader je OCR program od firmy ABBYY software Ltd., který umožňuje opticky rozpoznávat text s různorodým typem písma. To znamená, že systém rozpoznává texty vyhotovené v neelektronické podobě, nastavené v prakticky jakémkoliv typu písma a tyto texty umožňuje vkládat do počítače. Rozpoznaný text lze uložit ve formátu RTF/DOC/Word XML, PDF, HTML nebo exportovat rozpoznaný text do databáze. Program vyniká vysokou přesností rozpoznávání a nízkou citlivostí na chyby tisku [9].

3.1 Vkládání dokumentu

Vkládání dokumentu je možno rozdělit na dvě etapy:

1. **etapa - skenování.** V první etapě skener funguje jako "oko" vašeho počítače: dívá se na zobrazení a přemístí ho do počítače. Získané zobrazení není nic jiného jako obrázek, který není možno upravovat v žádném textovém procesoru.
2. **etapa – rozpoznávání.** V této etapě vykonává OCR zpracování zobrazení. To se skládá z analýzy obrazové souboru přeneseného skenerem (analýza uspořádání) a rozpoznávání každého znaku. Proces analýzy uspořádání (vyčlenění oblasti rozpoznávání, tabulek, obrázků a jednotlivých znaků) a načtení zobrazení se vzájemně ovlivňuje. Proces rozpoznávání je založen na principech Integral Purposeful Adaptive perception (integrální vnímání přizpůsobivé na daný účel).

Konečným výsledkem těchto etap je rozpoznaný text, který můžete upravovat a uložit v libovolném vhodném formátu [9].

3.1.1 Integrální vnímání přizpůsobivé na daný účel

Integrita – objekt rozpoznávání je popsán jako jedna entita pomocí sady jednoduchých prvků a jejich vzájemných vztahů.

Účelovost – rozpoznávání je procesem vytváření a účelového ověřování předpokladů.

Přizpůsobivost – schopnost samoučení systému.

Tyto tři principy předurčují chování systému. Systém vytváří předpoklad o nějakém objektu rozpoznávání (znak, část znaku, několik slitých znaků) a potom ho akceptuje, nebo odmítá a snaží se krok za krokem najít všechny konstrukční prvky a jejich vzájemné vztahy. Tyto konstrukční prvky jsou počítačové ekvivalenty znakových částí, rozhodujících pro lidské vnímání (oblouky, kruhy, tečky, atd.). Potom program přizpůsobí sám sebe textu - sám sebe vyladí - používá pozitivní zkušenost, získanou z prvních spolehlivě rozpoznaných znaků. Účelové vyhledávání a používání informací kontextu poskytuje systému schopnost rozpoznávat dokonce i roztrhané a zkreslené znaky, a takto je systém téměř necitlivý k tiskovým chybám[9].

3.2 Vlastnosti programu FineReader 7.0

Přesnost rozpoznávání [9]

- Program analyzuje a rozpoznává dokumenty s textem na barevném nebo rastrovém pozadí, dokumenty s tabulkami.
- Program obsahuje i specializované anglické a německé slovníky, které obsahují nejčastěji používanou právníckou a lékařskou terminologii.

Rozpoznávání PDF dokumentů [9]

- Většina PDF dokumentů má text na pozadí. FineReader 7.0 může extrahovat tento text a použít jej na kontrolu výsledků rozpoznávání a zlepšení kvality rozpoznávání
- Rozpoznané PDF dokumenty lze editovat přímo v editoru programu FineReader a změny, které uděláte, budou uloženy v libovolném z podporovaných PDF formátů pro uložení.

Nové možnosti uložení [9]

- FineReader 7.0 obsahuje hned dva nové formáty pro uložení. Formát pro uložení MS PowerPoint a MS Word XML.

Některé další vlastnosti [9]

- rozpoznávání čárových kódů,

- vyhledávání s morfológickou podporou. Každá dávka vytvořená v programu FineReader může být použita jako malá databáze s vyhledávacími full-textovými schopnostmi. Vyhledávat můžete slova ve všech jejich gramatických tvarech.,
- podpora Intel Hyper-Threading,
- duplexní skenování.

3.3 Podporované formáty pro ukládání

Program FineReader umožňuje ukládat výsledky rozpoznání textů do následujících formátů [9]:

- Microsoft Word Document (*.DOC)
- Rich Text Format (*.RTF)
- Microsoft Word XML Document (*.XML) (pouze Microsoft Word 2003)
- Adobe Acrobat Format (*.PDF)
- HTML
- Microsoft PowerPoint Format (*.PPT)
- Comma Separated Values File (*.CSV)
- Jednoduchý text (*.TXT). FineReader podporuje různé kódové stránky (Windows, DOS, Mac, ISO) a kódování Unicode.
- Microsoft Excel Spreadsheet (*.XLS)
- DBF

3.4 Podporované obrazové vstupy

FineReader umožňuje uživateli otevírat obrazové soubory v následujících formátech [9]:

- PDF – verze 1.5, nebo dřívější
- BMP – 2 až 32 bitové
- PCX, DCX – 2 až 24 bitové

- JPEG (2000) – šedé, barevné
- TIFF – černobílé - nekomprimované, v škále šedi – nekomprimované, TrueColor – nekomprimované, Palette – nekomprimované, mulit obraz TIFF
- PNG – černobílé, v škále šedi, barevné

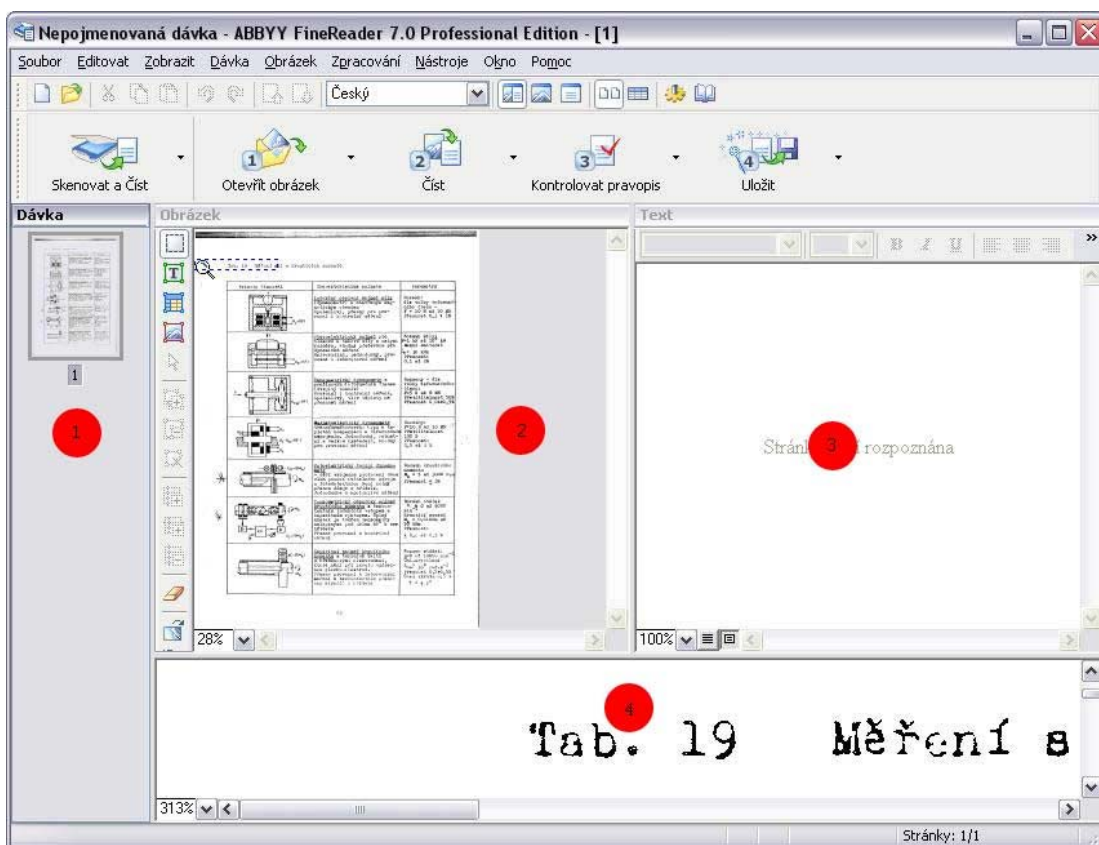
3.5 Podporované jazyky

FineReader 7.0 podporuje 177 rozpoznávaných jazyků, které jsou rozděleny do 5 skupin [9]:

1. **Hlavní jazyky** - je sem zařazeno celkem 28 jazyků. Do této skupiny patří např. čeština, slovenština, angličtina, němčina, francouzština, ruština atd.
2. **Doplňkové jazyky** - je zde celkem jazyků. Sem se řadí např. jazyk Rómský, Albánský, Rwandský, Slovinský atd.
3. **Umělé jazyky** - Esperanto, Interlingua, Ido, Occidental
4. **Programovací jazyky** – Basic, C/C++, COBOL, Fortran, JAVA, Pascal, jednoduché chemické vzorce (chemické vzorce, utvořené z názvů chemický prvků a dolních indexů, např. H₂O).
5. **Jazyky se specializovaným slovníky** – Anglický (Německý) s právníckým slovníkem, Anglický (Německý) s lékařský slovníkem

3.6 Základní ovládání

Ovládání programu je díky přehlednému menu a české lokalizaci velice jednoduché. Na obrázku (Obr. 4) je uvedeno grafické prostředí programu.



Obr. 4 Grafické prostředí programu FineReader 7.0

Okno **Dávka** (1) – v tomto okně jsou všechny aktuálně otevřené obrazové soubory, které se budou rozpoznávat. Může ji být až 9999.

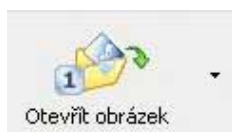
Okno **Obrázek** (2) – v tomto okně je náhled obrazové souboru, který máme označený v okně **Dávka**. Obraz může být označený celý pro rozpoznávání nebo je jeho část.

Okno **Text** (3) – po procesu rozpoznávání je do tohoto okna vložen rozpoznávaný text.

Okno **Obrázek a textu** (4) – zde je zvětšen aktuální výběr obrazového souboru.



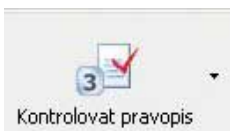
Tlačítko **Skenovat a Čist** slouží k naskenování a okamžitého rozpoznávání zdrojového dokumentu.



Pokud nemáte skener a přesto chcete rozpoznávat obrazové soubory, které máte uloženy na nějakém médiu, tak k tomu slouží tlačítko **Otevřít obrázek**. Tlačítko obrazový soubor jen otevře a přidá ho do dávky, která se bude rozpoznávat.



Tlačítko **Čist** slouží k rozpoznávání obrazového souboru nebo obrazových souborů, které máme otevřené a přidané v dávce.



Tlačítko **Kontrolovat pravopis** v rozpoznaném textu vyhledá neurčitě rozpoznané znaky a slova, která se nenašla ve slovníku a nabídne nejpravděpodobnější tvar slova nebo písmene.



Tlačítko **Uložit** umožňuje rozpoznaný a zkontrolovaný text uložit do požadovaného formátu (*.doc, *.xls apod.)

3.7 Požadavky na systém

Pro spuštění FineReaderu budete potřebovat následující:

- PC s procesory Intel® Pentium®/Celeron®/Xeon™ nebo AMD K6/Athlon™/Duron™ nebo kompatibilním procesorem. Procesor musí být 200MHz nebo vyšší.
- Microsoft® Windows® XP, Microsoft® Windows® 2000, Windows® NT® 4.0 s Service Pack 6 nebo větším, nebo Windows ME/98 (pro práci s lokalizovaným konverzačním rozhraním, je vyžadována odpovídající jazyková podpora).
- 150 MB volného prostoru na harddisku pro instalaci typického programu
- 70 MB volného místa na harddisku pro provoz programu.
- 100% Twain-kompatibilní skener, digitální kamera nebo fax-modem.
- Video karta a monitor (min. rozl. 800×600)
- Klávesnice, myš nebo jiné ukazovací zařízení.

4 ACROBAT 6.0 CE PROFESSIONAL

Vytvořila společnost Adobe Systems Incorporated. Tento program slouží nejen k vytváření dokumentů Adobe PDF (dále jen PDF), ale má i řadu dalších funkcí jako např. recenzování a přidávání poznámek, zabezpečení dokumentu, vytváření formulářů pomocí JavaScriptu apod.

4.1 Co je to PDF?

Formát souborů PDF (Portable Document Format) byl vytvořen firmou Adobe jako standard pro distribuci elektronických dokumentů, zejména na internetu. Dokument může obsahovat grafiku, text, odkazy na WWW stránky atd. Dokument PDF je jako elektronický klon nebo digitální snímek, kde se vše uloží a nic neztratí. Acrobat při vytváření klonu soubor automaticky komprimuje, a to až desetkrát bez jakékoliv ztráty kvality. Vytvářet soubory PDF lze i z více dokumentů, také lze převádět soubory PDF to jiných formát (např. DOC, HTM, JPG a další) **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**

Pro prohlížení těchto dokumentů je třeba Acrobat Reader, který je šířen zcela zdarma nebo již zmíněný Acrobat, ale ten je placený. Při vyvolání dokumentu z WWW stránky, funguje Acrobat Reader jako tzv. plug-in (doplněk WWW browseru), který se automaticky spustí a zobrazí obsah PDF.

4.2 Způsob vytvoření PDF pomocí Adobe Acrobat

Soubory PDF můžeme vytvořit z mnoha běžných programů (např. MS Office, WWW browser, AutoCad apod.). Ve všech případech se pro převod používá PDFMaker, který je součástí instalace Acrobatu 6.0. Nový soubor PDF se standardně uloží do stejné složky jako převáděný soubor i se stejným názvem, jen s koncovkou PDF. Způsobů na vytvoření souboru PDF existuje celá řada, např.:

- **panel PDFMaker** – pro bezproblémové převádění dokumentů by měl být software ze kterého hodláme převádět nainstalován před instalací Adobe Acrobatu. Pokud tomu tak je, tak instalace Adobe Acrobatu přidá do panelů nástrojů programů panel se třemi tlačítky (Obr. 5) pro převod do dokumentu do

PDF . Prvním tlačítko převede otevřený dokument do formátu PDF, druhé převede otevřený dokument do PDF a automaticky otevře výchozí e-mailový klient a soubor PDF připojí jako přílohu e-mailu.



Obr. 5 Panel PDFMaker

- **Ze skeneru** – v menu programu stačí jen zvolit Soubor > Vytvořit PDF > ze skeneru. Dokument snímáný skenerem se nám neuloží jako obrazový soubor, ale jako soubor PDF.
- **Vyvoláním místní nabídky (menu)** – pokud máte soubor, který chceme převádět již někde na pevném disku, stačí v nějaké windowsovském manažeru (např. Průzkumník, Total Commander apod.) vyvolat na příslušném souboru místní nabídku (např. stisknutím pravého tlačítka myši) a z menu vyberete možnost převést do Adobe PDF.

4.3 Funkce programu Acrobat 6.0

Jak již bylo předesláno, tak Acrobat má řadu funkcí jak výsledný dokument PDF modifikovat, např. převádět PDF dokument do jiného typu souboru (např. DOC, HTML apod.), recenzovat dokument, vybírání a úprava textu, vytváření vrstev atd.

Funkcí, které se budeme věnovat je funkce **Zabezpečit**. Při vytváření dokumentů PDF, mohou autoři použít zabezpečení heslem, aby do něho přidali určitá omezení, která mohou zabránit otevření, vytištění nebo úpravám dokumentu [10].

4.3.1 Metody zabezpečení dokumentu

- omezení otevírání, úprav a tisku. Dokument PDF může mít hesla dvou typů: heslo pro otevření dokumentu (každý kdo bude chtít otevřít dokument musí znát toto heslo) a heslo pro práva (slouží pro zamezení tisku a úprav, dokument lze otevřít i bez znalosti hesla). K zabezpečení heslem využívá Adobe Acrobat RC4 od společnosti RSA.

- Omezení přístupu k dokumentu PDF jen na určené uživatele. Určení, kteří uživatelé mohou dokument PDF otevřít, se nazývá *šifrování*.
- Certifikování dokumentu PDF. Když je dokument certifikovaný, potvrzujeme pravost jeho obsahu a můžeme určit jaké změny jsou povoleny, aby dokument zůstal certifikovaný.
- Změna nastavení práv pro přehrávání filmů a zvukových klipů. Této možnosti se využívá pokud chceme zabezpečit přehrávání multimediálních souborů v důvěryhodných dokumentech a zakázat jejich přehrávání v nedůvěryhodných dokumentech.

4.4 Požadavky na systém

Acrobat 6.0 CE Professional vyžaduje následující minimální konfiguraci systému:

Windows

- procesor třídy Pentium®,
- Windows NT Workstation 4.0 plus Service Pack 6, Windows 2000 plus Service Pack 2, Windows XP Professional, Home nebo Tablet PC,
- 64 MB paměti RAM
- 245 MB volného místa na pevném disku (pro typickou instalaci)
- jednotku CD-ROM, pokud instalace probíhá z CD
- Internet Explorer 5.01 nebo vyšší.

Macintosh

- Procesor PowerPC G3
- Systém Mac OS X v. 10.2.2
- 64 MB RAM (doporučeno 128 MB)
- 405 MB volného místa na pevném disku
- Monitor s rozlišením 1024 x 768
- Mechanika CD-ROM

5 CORELDRAW 11

CorelDRAW 11 od firmy Corel Corporation je profesionální program pro práci s vektorovou grafikou a ve svém oboru patří ke špičce. Program obsahuje velkou sadu nástrojů pro práci s vektorovou grafikou, plně podporuje práci s rastry, má plnou podporu tvorby WWW stránek včetně animovaných GIF a JPEG. CorelDRAW 11 umožňuje otvírat (změny se zapíší do otevřeného souboru) řadu grafických souborů (cca 29 typů) a importovat (načtení souboru do nové grafiky, soubor ze kterého se importovalo zůstává nezměněn) cca 75 typů (včetně souborů, které umožňuje otvírat) grafických [8].

5.1 Vektorová a rastrová grafika

5.1.1 Vektorová grafika

Obrázek je složený z objektu. Každý objekt je definován svými význačnými body a vlastnostmi (matematicky popsán). Body řídí obrys a tvar objektu. Vlastnosti pak určují, které body jsou spojené křivkou, tvar křivky, jaká je barva a tloušťka křivky, zkosení, je-li objekt uzavřen tak jaká je vyplň objektu, zda je průhledný atd. Objekty se mohou slučovat do skupina a mohou mít další vlastnosti. V obrázku je určeno pořadí jednotlivých objektu ve směru pohledu (tj. který objekt překrývá druhý atd.).

Výhody :

- snadná editace obrázku
- obvykle menší objem dat
- možnost velkých výřezů při stejné kvalitě zobrazení

Nevýhody:

- nelze dosáhnou dokonalého přirozeného vzhledu obrázku zobrazujících přirozené prostředí.

5.1.2 Rastrová grafika

Typickým příkladem rastrového obrázku je třeba nasnímaná fotografie, jejíž obraz je tvořen jednotlivými čtverečky – pixely. Základní vlastnost rastrového obrázku je pak ta, že zvětšováním nebo zmenšováním dochází ke ztrátě kvality v důsledku toho, že se ony

elementární informace o obraze zvětšují či zmenšují, mění se jejich počet a je třeba jejich barevné hodnoty přepočítávat, aproximovat. V konečném důsledku obrázek vypadá kostrbatě, mdle, ztrácí se jeho kontrast, mizí detaily apod.

Výhody :

- možnost tvorby dokonalých obrázků ve fotorealistické kvalitě,
- snadné získání z předloh.

Nevýhody :

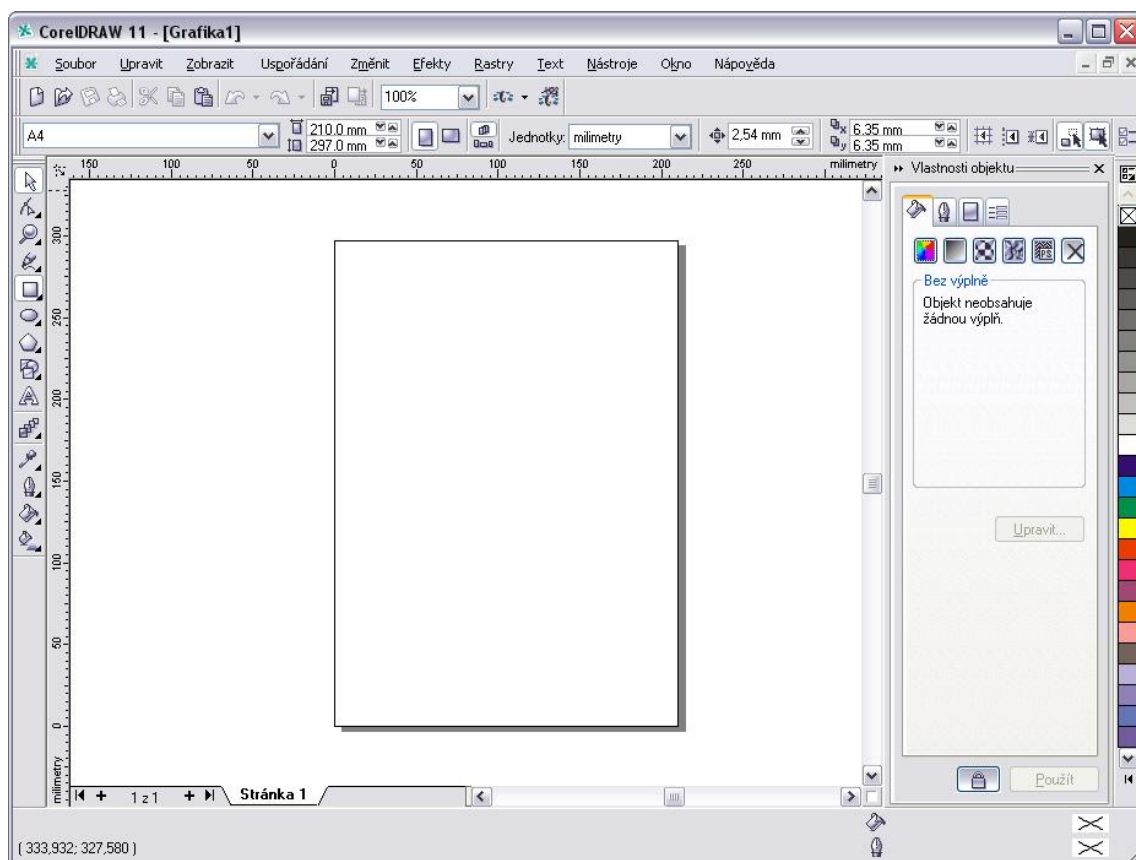
- velký objem dat,
- výřezy jsou možné jen do určité úrovně pak je viditelný rozpad obrazu na pixely,
- horší možnost editace obrázku.

5.2 Pracovní plocha

Program CorelDRAW 11 je navržen jako pracovní prostředí, které má fungovat podobně jako paleta malíře, prkno technického kreslíře nebo list grafika s jeho výtvarnými potřebami. Je jasné, že mezi reálným světem a programem jsou značné rozdíly, přesto se však CorelDRAW 11 snaží maximálně využít pracovní plochu tak, aby bylo vše co nejsnadněji dosažitelné, a přesto nezabíralo zbytečně mnoho místa. Rozložení plochy a jednotlivé nástroje jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 6).

Pruh nabídky (lišta menu) – obsahuje všechny potřebné příkazy pro práci CorelDRAW 11. Jeho ovládání je stejné jako v ostatní programech běžící pod operačním systémem Windows [8].

Pracovní plocha s tisknutelnou stranou – je umístěna uprostřed obrazovky a graficky je zobrazena jako položený list papíru (viz Obr. 6), který představuje hlavní pracovní prostor. Tisknou se bude jen to, co je umístěno na tomto listě. Pracovní plochy se označují jako **Stránka** s uvedeným číslem. Těchto stránek může být v dokumentu více [8].



Obr. 6 Pracovní plocha CorelDRAW 11

Panely příkazů – výchozími panely jsou *Standardní panel*, *Panel vlastností*, *Okno nástrojů*, *Pruh nabídky*[8].

- *Standardní panel* obsahuje příkazy – Nová, Otevřít, Uložit, Tisk, Vyjmout, Kopírovat, Vložit, Zpět, Znovu, Importovat, Exportovat, Úrovně lupy, Spustit aplikaci (spustí přidružené aplikace Corel), Služby společnosti Corel online (přejde na webové stránky společnosti Corel).



Obr. 7 Standardní panel

- **Panel vlastností** je panel, který mění svůj obsah dynamicky podle toho, se kterým nástrojem právě pracujeme nebo jaký je objekt upravujeme.



Obr. 8 Panel vlastností

- **Okno nástrojů** je panel, který se obvykle nachází v levé části pracovní plochy CorelDRAW 11. Na tomto panelu jsou umístěny nástroje k vlastnímu kreslení a tvarování jednotlivých objektů, ale i nástroje pro vyplňování, práci s obrysem a v neposlední řadě i řada nástrojů s interaktivními efekty. Nástrojů je celá řada a jejich vyjmenování a funkce nejsou předmětem této práce, tak vyjmenuji jen ty základní, bez dalšího dělení do skupin a jejich funkcí. Jsou to: Výběr, Tvar, Lupa, Ruční režim, Obdélní, Elipsa, Základní tvary, Text, Interaktivní přechod, Kapátko, Obrys, Výplň, Interaktivní výplň.



Obr. 9 Okno nástrojů

Některé další palety [8]:

- **Barevná paleta**, která je ve výchozím nastavení umístěna při pravém okraji obrazovky (pracovní plochy) slouží k aplikování barvy (výplně nebo obrysu) na objekt. Jejím prostřednictvím můžeme jednoduchým způsobem míchat a připravovat další



Obr. 10 Barevná paleta

- **Ukotvitelné panely** - jsou ve výchozím nastavení také umístěny při pravém okraji obrazovky. Jsou zvláštním typem okna, ve kterém můžeme vyvolat obrazovku a umístit do něj například knihovnu klipartů, symbolů nebo z nich provádět nějaké operace s objekty např. typ výplně, změnu typu čáry a barvy objektu...



Obr. 11 Ukotvitelné panely

- **Pravítka** – jsou umístěny při levém a horním okraji pracovní plochy. Jsou důležitá zejména pro polohování objektů, určování velikosti obrázku apod. Při pohybu kurzorem myši se po pravítku pohybují tenké přerušované čáry, které ukazují aktuální polohu kurzoru myši. Na pravítku je hlavně důležité jednotky, ve kterých pravítko měří (výchozí jednotkou jsou milimetry) a pozice nuly (počátek souřadného systému je standardně nataven na spodní levý roh tisknutelné strany). Pozice nuly a jednotky jdou nastavit.

5.3 Požadavky na systém

Minimální požadavky na systém:

- Operační systém Windows98, Windows 2000, Windows NT 4.0, Windows Me nebo Windows XP.
- 64 MB RAM (doporučeno je 128 MB, v případě operačního systému Windows XP je 128 MB nezbytných).
- Počítač minimálně s procesorem Pentium II, 200 MHz nebo vyšším.
- CD-ROM, myš, tablet.
- Monitor pracující v rozlišení alespoň 1024 × 768 obrazových bodů.
- 200 MB volného místa na pevném disku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 OPAKOVÁNÍ Z TEORIE AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ

V této kapitole jsou uvedeny odkazy na doporučenou literaturu (Balátě, J. [2003, resp.2004]. Automatické řízení. BEN-technická literatura, Praha.) a slouží pro připomenutí probrané látky ze 4. semestru, předmětu *Řízení technologický procesů – 4ŘT*.

- Linearizace.....	str. 48
- linearizace tečnou v rovině	str. 49
- linearizace metodou minimálních kvadratických odchylek.....	str. 54
- Laplaceova transformace	str. 56
- definiční vztahy.....	str. 56
- základní vlastnosti Laplaceovy transformace	str. 60
- Heavisideův rozvoj	str. 61
- způsob použití L transformace.....	str. 64
- Popis statických a dynamických vlastností systému	str. 70
- popis systému lineární diferenciální rovnicí.....	str. 72
- přenos systému	str. 73
- přechodová funkce a charakteristika systému	str. 77
- impulsová funkce a impulsová charakteristika systému	str. 78
- kmitočtový přenos.....	str. 81
- amplitudo-fázová kmitočtová charakteristika v komplexní rovině	str. 84
- kmitočtové charakteristiky v logaritmických souřadnicích	str. 85
- vnitřní popis dynamických vlastností systému	str. 94
- poloha pólu a nul přenosu	str. 96
- Typové dynamické členy regulačních obvodů	str. 97
- základní dynamické členy.....	str. 98
- fyzikální realizovatelnost členů	str.101
- dynamické členy s minimální fází	str. 102

- Bloková algebra	str. 104
- Regulované soustavy	str. 112
- proporcionální regulované soustavy	str. 113
- integrační regulované soustavy	str. 115
- regulované soustavy s neminimální fází	str. 119
- regulované soustavy s dopravním zpožděním	str. 120
- jednoduché metody identifikace regulovaných soustav	str. 128
- úprava přenosů regulovaných soustav	str. 138
- Regulátory	str. 144
- dynamické vlastnosti spojitých regulátorů	str. 146
- stavitelné parametry regulátorů	str. 151
- význam zpětné vazby u spojitých regulátorů	str. 154
- charakteristika činnosti spojitých regulátorů	str. 155
- interakce konstant regulátorů	str. 156
- nespojité regulátory	str. 158
- Regulační obvod	str. 164
- Stabilita regulačního obvodu	str. 169
- Kritéria stability	str. 173
- algebraická kritéria stability	str. 173
- kmitočtová kritéria stability	str. 179
- Oblast stability regulačního obvodu	str. 204
- oblast stability jednoho nastavitelného parametru	str. 204
- oblast stability v rovině dvou nastavitelných parametrů	str. 207
- Přesnost regulace	str. 210
- Citlivostní analýza struktury řízení	str. 215
- otevřená struktura – systém ovládání	str. 215

- uzavřená struktura – systém regulace	str. 216
- Syntéza.....	str. 218
- Charakteristika syntézy.....	str. 218
- Volba struktury regulátoru k dané regulované soustavě.....	str.221
- Jakost regulačního pochodu.....	str. 222
- posouzení jakosti regulačního pochodu ze stupně stability	str. 222
- metoda kritického zesílení regulátoru (metoda Ziegler-Nicholsova)	str.229
- seřízení regulátoru na základě znalosti přechodové charakteristiky regulované soustavy.....	str. 234
- seřízení regulátoru podle funkcí standardního tvaru.....	str. 236
- kritérium jakosti regulace podle funkcionálu odchylky (integrální kritéria).....	str. 244
- seřízení regulátoru podle optimálního modulu	str. 259
- kmitočtovém metody syntézy	str. 265
- seřizování analogových regulátorů metodou požadovaného modelu (metodou inverze dynamiky)	str.275

7 TECHNICKÉ PROSTŘEDKY AUTOMATIZACE

7.1 Úvod

7.1.1 Technický rozvoj technických prostředků automatizace

Pro 18. století a začátek 19. století byl charakteristický přechod od ruční práce ke strojové průmyslové výrobě. Technický rozvoj v období mechanizace osvobodil člověka od těžké fyzické práce, avšak ho nezabavoval přímé účasti na průběhu výrobních procesů. Pro vývoj průmyslu byla charakteristická jednak mechanizace procesů, postupné rozčleňování výrobního pochodu na stále jednodušší operace prováděné jednotlivými stroji a nástroji.

V posledních desetiletích se podstatně zrychlilo tempo technického rozvoje a neustále roste. Hlavním článkem a rozhodujícím směrem technického rozvoje je *automatické řízení*. Odstraňuje závislost výrobních pochodů na fyziologických vlastnostech člověka. Ten přestává být přímým účastníkem na průběhu výrobních procesů. Jeho dosavadní manuální a duševní činnost v systémech řízení je přejímána technickými prostředky měření, ovládání, rozhodování a regulace, které souhrnně nazýváme *technické prostředky automatizace*.

7.1.2 Vývoj řízení výrobních procesů a technických prostředků automatického řízení

Úspěšný rozvoj automatizace řízení je podmíněn dostatečným zabezpečením technickými prostředky. Prostředky automatického řízení prodělaly při svém vývoji několik stupňů. Na počátku to byla sporadická měření jednotlivých veličin charakterizujících výrobní proces. Pak následovalo díky rozvoji telemechaniky centrální shromažďování informací z mnoha měřicích míst do dozorny a tak bylo provozním technikům umožněno plně proniknout do průběhu procesu. Dalším stupněm tohoto vývoje byla realizace automatického ovládání a regulace. V posledních desetiletích se k těmto převážně analogovým prostředkům automatického řízení přidaly i prostředky číslicové a v dnešní době se využívají řídicí počítače pro přímé číslicové řízení i pro automatickou optimalizaci průběhu řízených procesů, zpracování dat, zlepšení komunikace mezi strojem a člověkem.

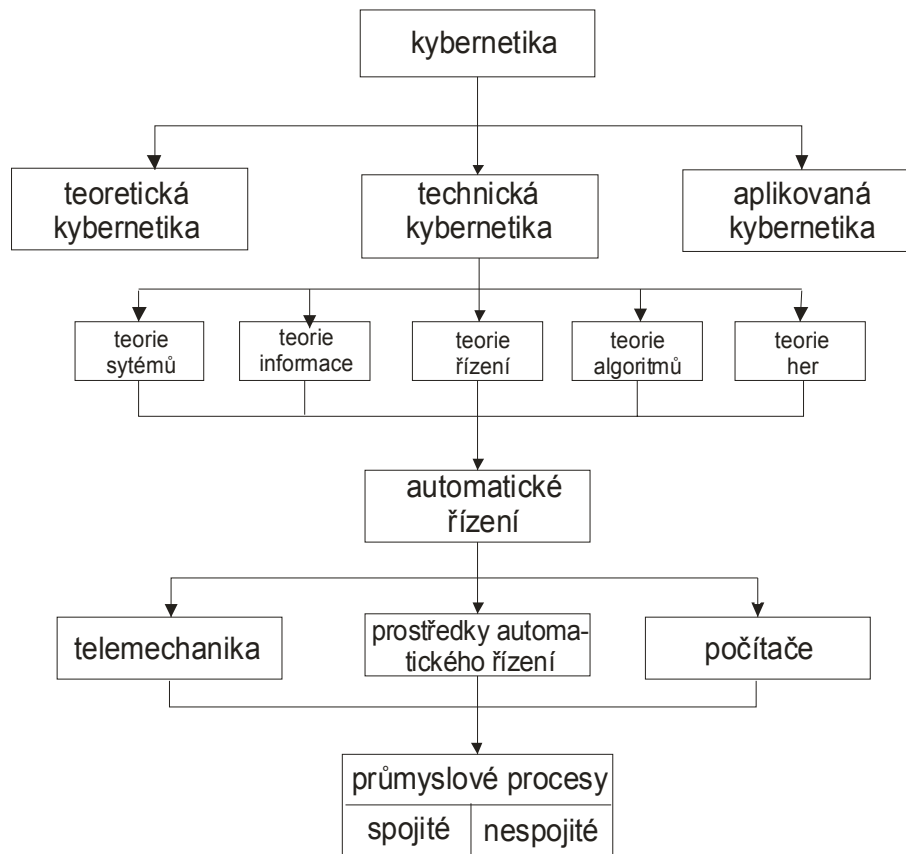
Výrobní procesy byly během technického rozvoje vybavovány různými přístroji pro měření a řízení. Tento stav vynutil snahy k zjednodušování a k jednotnosti. Potíže se

zapojováním technických prostředků do řetězců byly překonány a také standardizace byla úspěšná. Byly dohodnuty jednotné signály a vývoj prostředků je uskutečňován na základě společné koncepce. Vytvořila se systematika vycházející z jednotlivých řešení, která nakonec vedla k realizaci určitých řad přístrojů. Tím byla podstatně usnadněna organizace v projektování a stavbě řídicích celků. V současné době byla překonána i tato koncepce. Dnešní automatizované řídicí systémy se nesestavují pouhým propojením jednotlivých samostatných funkčních bloků nebo členů, ale vytvářejí se jako integrované celky. Dříve byly způsoby a prostředky získávání informace řízení i řídicí počítače a prostředky ke zpracování dat hodnoceny odděleně. Dnes jsou posuzovány a navrhovány jako funkční komponenty určitého automatizovaného řídicího systému, s požadovanými vlastnostmi danými jeho činnostmi. Z toho plynou nové možnosti jak pro další vývoj technických prostředků automatického řízení, tak i pro způsoby jejich projektování.

7.1.3 Kybernetika a řídicí technika

Kybernetika je moderní samostatný vědní obor, který se zabývá zkoumáním a popisem dějů a zákonitostí u hmotných dynamických objektů, se zaměřením na živou i neživou přírodu i na objekty umělé. Zkoumá je jako systémy tvořené soubory prvků, které na sebe vzájemně působí a ovlivňují se. Analyzuje a popisuje jejich vlastnosti a chování z hlediska toku informací mezi prvky, systémy a okolím. Kybernetiku tedy lze definovat jako vědu, která se zabývá studiem chování systémů hlediska jejich informační výměny s okolím a studiem struktur těchto systémů z hlediska informační výměny mezi jejich prvky. Využívá poznatků matematiky, fyziky, biologie a techniky. Je tedy vědou hledající neustále nové vazby mezi různými obory.

Aplikaci kybernetických systémů v technice se věnuje technická kybernetika. Využívá poznatků plynoucích ze systémových souvislostí informačních a řídicích procesů vyskytujících se v přírodě a v živých organismech k vývoji technických prostředků.



Obr. 12 Strukturální rozdělení kybernetiky

Obrázek (Obr. 12) znázorňuje dělení kybernetiky s důrazem na obory, které určujícím způsobem ovlivňují stavbu technických prostředků. Jsou to tyto obory:

- *teorie systémů* - zabývá se analýzou systémů a subsystémů z hlediska jejich dynamických souvislostí, studuje druhy struktur a vztahy mezi systémy a okolím;
- *teorie řízení* - studuje příčiny a vliv poruch v regulovaných soustavách, pro které pak hledá takové řízení, které umožní obnovení jejich porušených rovnovážných stavů;
- *teorie informace* - zabývá se číselným hodnocením množství informace v systému, výběrem informace, přenosem a zpracováním informace;
- *teorie algoritmů* - vyhledává a stanoví takové logické postupy (kroky), které je nutné v informačním procesu daného systému uskutečnit, aby určité vstupní informace byla přiřazena správná informace výstupní;
- *teorie her* - zabývá se vzájemným chováním hmotných dynamických systémů i jejich vztahem k okolí, analyzuje podmínky a možnosti vzniku konfliktních situací mezi nimi.

Kybernetika se tedy zajímá o takové vztahy mezi prvky systému, systémem a okolím, které mají informační obsah. U hmotných kybernetických systémů jsou to podněty, reakce a vazby mezi prvky, které mají vždy signální charakter. Vstupy, výstupy a vazby mezi prvky jsou pak signálními cestami.

Kybernetické systémy lze klasifikovat z různých hledisek a jejich úplné hodnocení se vymyká rámci učebnice. Zjednodušeně je lze třídit takto:

a) podle druhu podnětů, reakcí a vztahů:

analogové systémy - pro zobrazení informace využívají analogového kódu,

diskrétní systémy - pro zobrazení informace využívají číslicového kódu.

U diskrétních systémů jsou vazební závislosti mezi prvky nespojitými funkcemi (např. logické funkce)

b) podle chování, tj. podle způsobu, jakým jsou vstupní informace transformovány na výstup:

sdělovací systémy, jejich funkcí je spolehlivý přenos informace,

paměťové systémy - jejich funkcí je schopnost uchování přijaté informace,

dekodéry - uplatňují se jako transformátory kódu.

Pro projektování, vývoj a stavbu technických prostředků automatického řízení, ale i pro pochopení jejich funkce a poslání v rámci automatizovaných systémů řízení je osvojování poznatků technické kybernetiky a využívání jejích metod nezbytné.

Vymezení základních pojmů

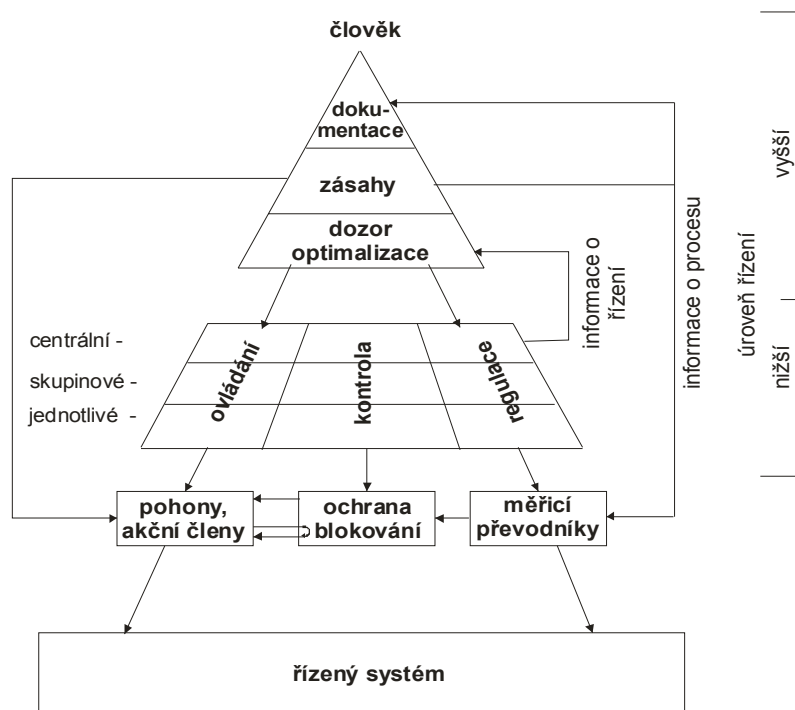
Řízením se rozumí činnost směřující k dosažení vytyčeného cíle podle daného funkčního algoritmu. Název zahrnuje dva základní druhy řízení - ovládání a regulaci (a často i optimalizaci a kontrolu). Ovládání je způsob řízení bez využití informace o výsledku (bez zpětné vazby), regulace je takový způsob řízení, při kterém je informace o výsledku této činnosti využívána. Obojí tuto činnost lze provádět jak s přímou účastí člověka (např. ruční ovládání, ruční regulace), tak bez jeho přímé účasti. Příslušný způsob řízení bez přímé účasti člověka se nazývá automatický (např. automatické ovládání, automatická regulace).

Technické vybavení nutné k zajištění této činnosti nazýváme technické prostředky automatického řízení.

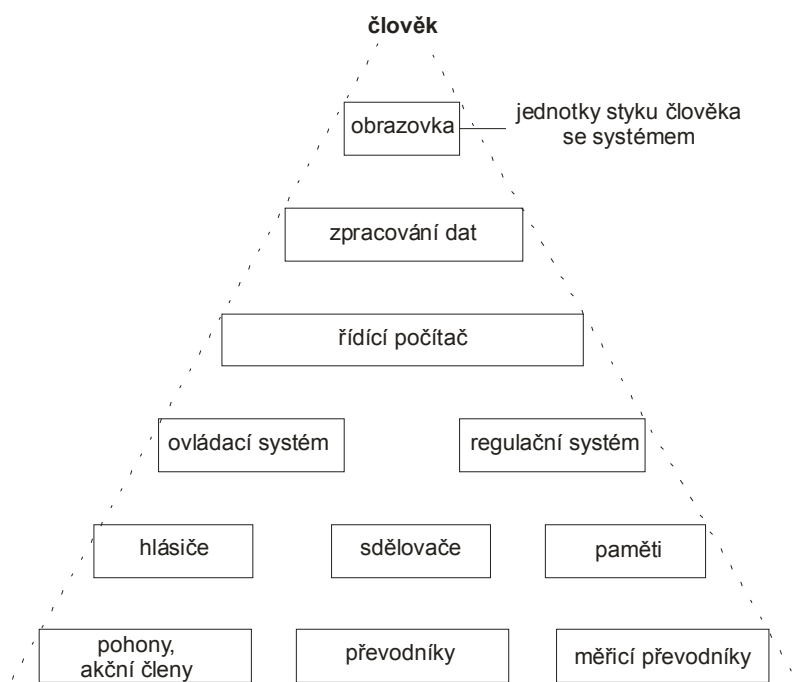
Objekt je reálný celek, určený v čase i v prostoru. Zvolený objekt je identifikován a zkoumán vždy z určitého zájmového hlediska. Daným zájmovým hlediskem je z objektu vymezen systém. Systém je soubor vzájemně závislých prvků (sestavených pro dosažení zadaného cíle a splňujících předepsanou funkci) nebo soubor prvků (mezi nimiž existují funkční vztahy) popsany svou strukturou a vztahem k okolí.

Prvek systému je základní částí systému. Vyznačuje se tím, že z hlediska příslušné rozlišovací úrovně (na níž je definován systém) tvoří nedělitelný celek, jehož strukturu nemůžeme nebo nechceme rozlišovat.

Systém řízení je realizován řídicím systémem. Rozdílný význam těchto pojmů je vysvětlen pomocí obrázků (Obr. 13 a Obr. 14). Na obrázku (Obr. 13) je systém řízení zobrazen jako pyramida složená ze vzájemně se doplňujících technických prostředků a způsobů řízení. Její základnou je řízený systém, na kterém jsou vybudovány ve vzájemné návaznosti způsoby řízení v určité hierarchii. Vrchol této pyramidy tvoří člověk, který tento systém řízení vytvořil a na jehož funkci zodpovědně dohlíží. Řídicí systém (Obr. 14) lze rovněž znázornit uspořádáním ve tvaru pyramidy sestavené z příslušných funkčních bloků. Na základně, kterou tvoří provozní přístroje určené pro styk s řízeným systémem, jsou v hierarchii plynoucí z jejich funkce a potřeb řízení seřazeny další funkční bloky technických prostředků automatického řízení. Vrcholem této pyramidy je opět člověk, který (je-li to nutné) může ovlivnit řídicí systém. Funkční blok je konstrukčně ucelená samostatná část řídicího systému, vykonávající několik vzájemně souvisejících elementárních funkcí. Skládá se z funkčních členů, což jsou části funkčního bloku s danými strukturami a funkcemi.



Obr. 13 Hierarchická struktura systému řízení



Obr. 14 Řídicí systém

Technické prostředky automatického řízení jsou v této učebnici zaměřeny na řízení průmyslových procesů. Toto omezení účelně vyjadřuje metrologické, funkční i spolehlivostní požadavky. Požadavky na průmyslová a jiná zařízení a jejich řízení se totiž výrobně liší právě z těchto hledisek. Např. součástková základna pro tzv. investiční elektroniku je jiná než součástková základna tzv. spotřební elektroniky; konstrukční řešení

průmyslových přístrojů se liší od řešení přístrojů laboratorních. Místo přívlastku "průmyslový" se u pojmu "proces" v literatuře často vyskytují přívlastky "technologický", "technický" nebo "výrobní". Zde používaný pojem průmyslový proces představuje soubor operací, kterými se uskutečňuje nějaká fyzikální nebo chemická přeměna, přitom je však nutné zvlášť definovat dopravu hmoty, energie a přenos informace.

7.1.4 Základní funkce a klasifikace technických prostředků automatického řízení

V průběhu posledních tří desetiletí prodělaly technické prostředky automatického řízení rychlý vývoj, který stále pokračuje. Charakteristické znaky současných prostředků jsou:

- systémový návrh s vyřešením vazby na ostatní druhy prostředků, zejména na číslicové počítače,
- jednotné modulové nebo kompaktní konstrukční řešení,
- normalizace technických parametrů a signálů,
- použití mikroelektronických obvodů, nových materiálů a technologií výroby.

Rozdělení technických prostředků vychází z obecného pojmu *informace* a zahrnuje i vyšší řídicí systémy včetně přídatných zařízení. Podle vykonávané funkce rozdělujeme technické prostředky takto: .

- *pro získání informace,*
- *pro transformaci a přenos informace,*
- *pro zpracování informace,*
- *pro záznam informace,*
- *pro využití informace,*
- *pro zobrazení informace a styk s operátorem.*

Technické prostředky automatického řízení lze také rozdělit podle fyzikální veličiny, která je nositelem informace - např. *elektrické, optické, pneumatické, hydraulické, mechanické a kombinované.*

V průmyslových aplikacích jsou elektrické prostředky automatického řízení rozšířeny přibližně stejně jako prostředky pneumatické. Se zaváděním vyšších řídicích systémů a mikropočítačové techniky začínají převažovat elektrické prostředky automatického řízení,

s velkým rozmachem se začínají prosazovat optoelektronické informační systémy pro přenos a zpracování informace.

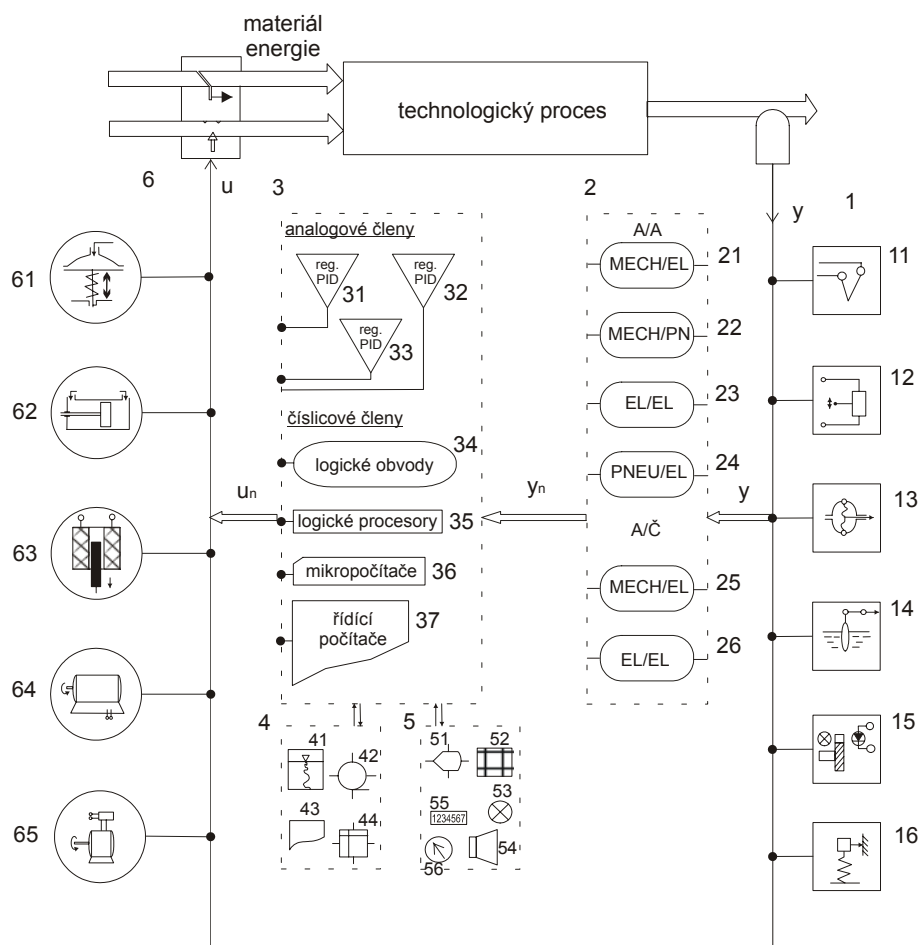
Důležité postavení mezi technickými prostředky automatického řízení mají členy pro sběr informace. Měření je nezbytným předpokladem automatického řízení.

Další technické prostředky umožňují jak realizaci vlastního algoritmu automatického řízení, tak komunikaci mezi člověkem a řídicím systémem (např. zobrazení a záznam informace). Členy pro využití informace zprostředkují akční zásahy do řízeného procesu prostřednictvím akčních orgánů - např. servomotory ovládají regulační ventily nebo klapky.

Přenos informace umožňují technické prostředky, které zajišťují dálkové měření nebo řízení bez nežádoucí ztráty informace a s využitím požadovaného typu signálu.

Podle způsobu zobrazení informace a vlastností měronosného signálu se technické prostředky dělí na analogové a číslicové. Analogový signál je obvykle představován přímo vhodnou fyzikální veličinou jako je elektrické napětí, tlak, frekvence nebo šířka impulsu. Zpracování, přenos a zobrazení tohoto signálu je dnes velmi dobře propracováno a ověřeno. Charakteristickým znakem číslicového signálu je vyjádření počtu zvolených kvant dané fyzikální veličiny pomocí kódu. Podíl číslicových měřicích a řídicích subsystémů se prudce zvětšuje, především v souvislosti s ekonomickou výhodností nasazení mikroprocesorů, které dovolují podstatně rozšířit funkční možnosti, zvětšit spolehlivost a přesnost a umožňují začlenění číslicového subsystému do hierarchického systému řízení výrobního procesu.

Na obrázku (Obr. 15) je znázorněno rozdělení technických prostředků automatického řízení tak, jak jsou uspořádány v obvyklém řídicím systému.



Obr. 15 Rozdělení technický prostředků automatického řízení

u - akční veličina, y - řízená (výstupní) veličina, y_n , u_n - veličiny s normalizovanou hodnotou signálu;

1 - členy pro získávání informace

11 - měření teploty, 12 - měření posunutí, 13 - měření tlaku, 14 - měření výšky hladiny, 15 - měření otáček, 16 - měření chvění;

2 - členy pro transformaci a přenos informace

A/A - analogově analogové převodníky

21 - mechanicko-elektrický převodník, 22 - mechanicko-pneumatický převodník,

23 - zesilovač, normalizační člen, filtr, 24 - pneumaticko-elektrický převodník;

A/Č - analogově, číslicové převodníky

25 - převod poloha-,-číslo, 26 - převod analogové hodnoty elektrického napětí na číslo;

3 - členy pro zpracování informace

31 - regulace PID, 32 - poměrová vlečná regulace, 33 - programové řízení,

34 - logické řídicí obvody, 35 - logické procesory, 36 - mikropočítače, 37 - řídicí počítače a systémy;

4 - členy pro záznam informace

41 - zapisovač, 42 - magnetická páska, 43 - tiskárna, 44 - libovolná paměť RAM;

5 - členy pro zobrazení informace a styk s operátorem

51 - abecedně číslicová nebo grafická zobrazovací jednotka, 52 - klávesnice, 53 optická signalizace,

54 - akustická signalizace, 55 - zobrazovací panel, 56 - analogový ukazovací přístroj;

6 - členy pro využití informace

61 - membránový pohon, 62 - pístový dvojčinný pohon, 63 - solenoidový pohon, 64 - elektrický servomotor,

65 - elektrický krokový motor

7.1.5 Provozní podmínky a technické požadavky

Na technické prostředky automatického řízení působí během jejich provozu v prostředí, pro které jsou určeny, souhrn klimatických a mechanických faktorů, které mohou vyvolat poruchu a způsobit narušení provozuschopnosti prostředku.

Mezi klimatické faktory s ovlivňujícím účinkem patří kombinovaná namáhání vlivem teploty, vlhkosti vzduchu, tlaku vzduchu, slunečního záření, prachu, plísni, solného aerosolu, vody a znečištěného ovzduší.

Mezi mechanické faktory patří všechna působení vnějších sil na technický prostředek, projevující se jeho mechanickým namáháním. Patří sem různé náhodné údery, nárazy a překlopení, působící při přepravě nebo v provozu, dále periodické vibrace trvalého charakteru a stálé zrychlení.

Technické požadavky vyjadřující kvalitativní vlastnosti přístrojů a zařízení tvořících měřicí a řídicí systémy lze tedy shrnout takto:

- funkční způsobilost s charakteristickými dílčími vlastnostmi:
- citlivost,
- přesnost,
- spolehlivost,
- životnost,
- odolnost proti otřesům, vibracím, setrvačným silám a jiným mechanickým vlivům,
- odolnost proti škodlivým účinkům prostředí, které svými ovlivňujícími veličinami narušují funkční způsobilost (teplota, vlhkost, rušivé elektrické a magnetické pole, světelné záření atd.),
- snadná montáž a demontáž na místě určení, např. pH instalaci nebo výměně zařízení,
- jednoduchost a snadnost čtení údaje přístroje,
- snadná a nenáročná údržba,
- malá hmotnost, objem a. energetické nároky,
- velikost a tvar upevňovací příruby, přístrojového pouzdra, číselníku, zobrazovací jednotky atd.,

- povrchová úprava a ergonomické řešení;
- malá hlučnost;
- dostupnost a přiměřená cena.

Kromě těchto obecných znaků může být kvalita přístroje nebo zařízení charakterizována dalšími, někdy specifickými znaky, které jsou vyvolány např. neobvyklými pracovními podmínkami nebo zvláštním charakterem prostředí (např. jiskrově bezpečné, nevýbušné provedení atd.).

7.2 Snímače

7.2.1 Měření

Měření jako zdroj informace je podmínkou automatického řízení. Měřicí technika má v automatizaci v podstatě dvojí poslání:

1. Měření je informačním zdrojem o vlastnostech a chování soustavy či technologického procesu, které se mají. regulovat, a rovněž popisuje vlastnosti prvků, členů obvodů, regulátorů atd., z nichž se řídicí obvod sestavuje. Bez těchto přesných informací není možné soustavu automatického řízení navrhnout, realizovat, nastavit, provozovat a opravovat. Obdobný úkol mají členy k získávání informace v oblasti výpočetní techniky.
2. Měření je rovněž zdrojem informací o stavu a průběhu celého procesu pH vlastním řízením. Bez těchto informací nemůže automatické řízení vůbec probíhat.

Cílem měření je zjistit velikost (popř. množství) dané fyzikální nebo technické veličiny, což je možné jedině na základě experimentálního porovnání velikostí dané veličiny s některou její hodnotou zvolenou za jednotku. Výsledek měření má tedy kvantitativní charakter.

Stále častěji probíhá měření bez přímé účasti člověka a měření je zprostředkováno soustavami přebírajícími i úkony dříve vyhrazené člověku (např. kvantování, kódování, pomocné výpočty, záznam, atd.). Výsledky měření neslouží pouze jako informace pro člověka, ale využívají se bezprostředně k automatickému řízení.

7.2.2 Blokové schéma měřicí soustavy

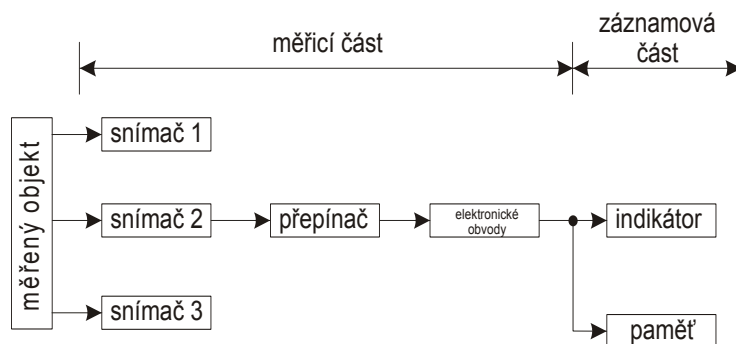
Měřicí soustava obsahuje člen pro sběr informace, nazývaný snímač, který převádí vstupní neelektrický signál na výstupní signál, obvykle elektrický. Měřicí soustava dále obsahuje prepínač, který u vícekanálových soustav umožňuje zapojení více snímačů stejných nebo různých neelektrických veličin na jeden elektronický obvod, kde se upravuje elektrický signál na potřebný tvar. Tento obvod může obsahovat zesilovače, generátory, filtry a další obvody pro zpracování signálu. Na výstupu je obvykle vyžadován signál v normovaném tvaru, který je vhodný pro výstupní členy, jako je indikátor (např. zobrazovací jednotka, jehož údaj v analogovém tvaru nebo číslcové formě je vhodný pro zpracování člověkem. Paralelně může být informace zaznamenána v paměti po určitou požadovanou dobu a odtud předávána k dalšímu vyhodnocení.

Vícekanálové měřicí soustavy mohou zpracovávat až stovky údajů od jednotlivých snímačů. Měřené veličiny v číslcovém tvaru po převodu v analogově číslcovém převodníku, který patří mezi elektronické obvody, lze dále vyhodnocovat (hlášení mezí, výběr měřených kanálů, hlídání poruch snímačů, atd. - Obr. 16).

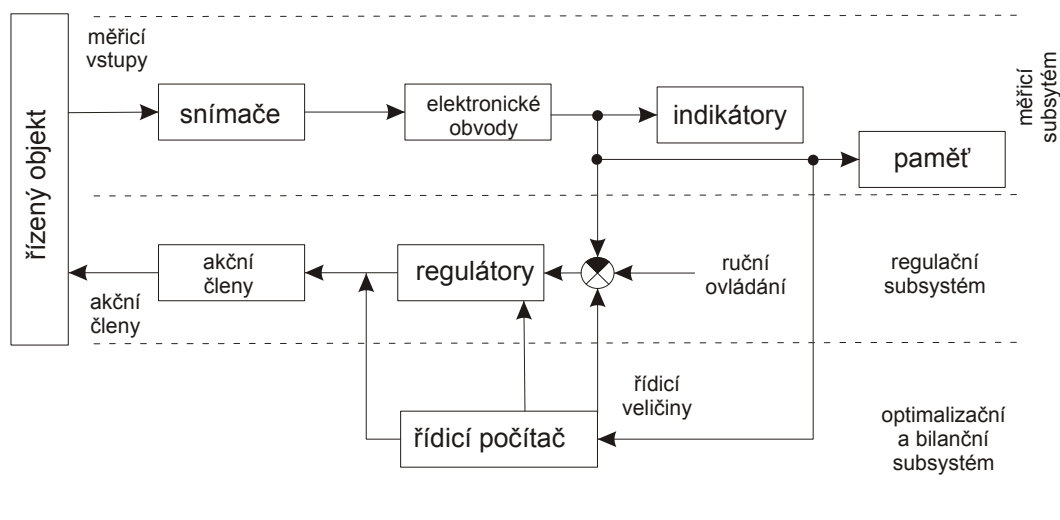
Pro analogové signály se jako paměti používají různé zapisovače nebo měřicí magnetofony, pro číslcové signály polovodičové nebo magnetické paměti (páskové, diskové, bublinové atd.).

Měřicí převodníky se používají nejen pro účely měření; ale také v každém automaticky řízeném systému pro získávání zpětnovazební informace.

Členy pro získávání informace mají tedy nezastupitelné místo v řídicích systémech (Obr. 17). Signál z měřicího kanálu je porovnáván s žádanou hodnotou regulované veličiny a regulační odchylka je zpracovávána regulátorem. Jeho výstupní signál ovládá akční člen zasahující přímo do řízené soustavy. V případě složitějšího výrobního procesu nestačí zpravidla jednoduchá zpětná vazba a používá se řídicí počítač. Ten může buď přebírat funkci regulátoru, nebo řídit Jeho prostřednictvím tak, že vypočítává optimální žádané hodnoty regulované veličiny a na základě porovnání s aktuální hodnotou informace získanou měřicí soustavou určuje regulační odchylku pro vlastní regulátor. Na základě průběžné identifikace řízeného objektu lze popř. přestavovat parametry regulátorů PID.



Obr. 16 Blokové schéma vícekanálové měřicí soustavy



Obr. 17 Blokové schéma automaticky řízené soustavy s počítačem

Z uvedeného popisu vyplývá, že každý řídicí nebo regulační obvod obsahuje *měřicí kanál* (*subsystém*), někdy včetně indikátoru a paměti (např. i zapisovač). *Snímač* je pak jednou ze základních součástí všech těchto měřicích nebo řídicích systémů.

7.2.3 Snímač jako člen pro získání informace

Snímač určuje většinou kvalitu celého měřicího obvodu. Pro jeho konstrukci se využívá mnoha fyzikálních procesů a principů a stále se hledají a zkoušejí nové, které dovolují lépe a snáze kompenzovat parazitní vlivy a rozšiřovat možnosti aplikace snímačů v různých podmínkách provozu, v širokém oboru absolutních velikostí snímaných veličin, při různých velikostech a rychlostech jejich relativních změn.

Cena snímače je srovnatelná s cenou zbývajících částí měřicího kanálu a při výrazném uplatňování mikroelektronických obvodů pro zpracování a přenos signálů může být vlastní snímač dokonce dražší.

Z hlediska obecného posouzení funkce snímače pro syntézu měřicího kanálu je nutné u snímače znát:

- *informační obsah a informační tok snímače,*
- *energetické poměry,*
- *spolehlivost snímače.*

Informační obsah a informační tok snímače umožňují použít k popisu měření a jeho výsledku metody a prostředky teorie informace. Měříme-li obecnou fyzikální nebo technologickou veličinu $x(t)$, bude měřicí rozsah x_{mr} určen krajními hodnotami veličiny $x(t)$

$$x_{mr} = x_{max} - x_{min} \quad (1)$$

Rozlišovací schopnost přístroje Δx souvisí s jeho třídou přesnosti TP, neboť

$$\Delta x = \frac{2TP}{100} x_{mr} \quad (2)$$

takže počet diskrétních stupňů n měřené veličiny $x(t)$ je

$$n = \frac{100}{2TP} + 1 \quad (3)$$

Informační obsah snímače je pak určen vztahem

$$I = \log_2 n \quad (\text{bit}) \quad (4)$$

a po dosazení vztahu (3) nabývá tvaru

$$I = \log_2 \left(\frac{100}{2TP} + 1 \right) \quad (\text{bit}) \quad (5)$$

Pro určení informačního toku analogového snímače měřicího časově proměnnou spojitou veličinu $x(t)$ lze vyjít z Kotelnikovova vzorkovacího teorému. Sledovanou nestacionární veličinu $x(t)$ můžeme Fourierovým rozvojem rozložit do řady frekvenčních složek f_i a lze předpokládat, že získané spektrum můžeme omezit vhodným výběrem horní frekvenční složky f_h . Potom v časovém intervalu $\langle 0, t \rangle$ je veličina $x(t)$ plně popsána $2tf_h$ vzorky a informační obsah měření je

$$I = 2tf_h \log_2 n \quad (\text{bit}) \quad (6)$$

Pro informační tok $\bar{I}$ snímače dostaneme vztah

$$\bar{I} = \frac{I}{t} = 2f_h \log_2 n \quad (\text{bit.s}^{-1}) \quad (7)$$

Mezní frekvenci f_h můžeme zjednodušeně vázat na dobu přechodu T_p snímače, kterou zjistíme vyšetřením přechodové charakteristiky (součet doby průtahu a doby náběhu). Položíme pak

$$f_h = \frac{1}{2T_p} \quad (\text{Hz}) \quad (8)$$

Informační tok snímače (např. analogového s číslicovým výstupem pomocí analogově číslicového převodníku) je dán vztahem

$$\bar{I} = \frac{\log_2 n}{T_p} \quad (\text{bit.s}^{-1}) \quad (9)$$

U analogových spojitě pracujících snímačů nahradíme hodnotu n podle vztahu (3)

$$\bar{I} = \frac{1}{T_p} \log_2 \left(\frac{100}{2TP} + 1 \right) \quad (10)$$

Analýza energetických *poměrů* u snímačů umožňuje zjistit úzkoprofilová místa v přenosové cestě signálu. Lze též zjistit zpětný vliv snímače na měřený objekt, popř. vliv následujícího elektronického obvodu na vlastní snímače. Energie měřeného objektu využitelná pro snímač musí být mnohem větší, než součet energií nutných k funkci snímače, který je s měřeným objektem spojen. Jinak dochází k ovlivnění měřeného objektu nebo děje. Vlastní energetická spotřeba měřicích přístrojů způsobuje jejich oteplení, a tím může docházet i ke snížení přesnosti, popř. spolehlivosti měřicí soustavy.

Spolehlivost snímače je jeho schopnost plnit během stanovené doby požadované funkce při zachování provozních parametrů daných technickými podmínkami. Nejčastěji používané charakteristiky spolehlivosti měřicích soustav a jejich částí jsou:

- pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ nebo pravděpodobnost poruchy $F(t)$,
- hustota pravděpodobnosti poruch $f(l)$,
- intenzita poruch $\lambda(t)$,
- střední doba mezi poruchami (opravitelné soustavy) T nebo střední doba do poruchy (neopravitelné soustavy) T . Poruchou snímače nebo měřicí soustavy je

takový stav, kdy dochází v činnosti za stanovených podmínek k větším odchylkám, než dovolují přípustné meze. Příčiny vzniku poruchy mohou být v činnosti přístrojů, tj. mohou souviset s jejich návrhem, konstrukcí, technologií výroby a s vlastnostmi použitých materiálů (tzv. vnitřní příčiny). Poruchy z vnějších příčin jsou způsobeny neodborným zacházením, nesprávným použitím, nevhodným zapojením, přetěžováním, špatným ošetřováním atd.

Pravděpodobnost *poruchy* lze vyjádřit vztahem

$$F(t) = \frac{n_F(t)}{n} \quad (11)$$

kde $n_F(t)$ je počet případů poruchy vzniklých v intervalu $\langle 0, t \rangle$, n je sledované celkové množství případů (např. snímačů).

Pravděpodobnost *bezporuchového provozu* je pak dána

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \frac{n_F(t)}{n} = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (12)$$

Hustota pravděpodobnosti poruch je derivace distribuční funkce

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \approx \frac{n_F(t + \Delta t) - n_F(t)}{n \Delta t} \quad (13)$$

Je to tedy rychlost, s jakou narůstají poruchy z počátečního množství n sledovaného souboru prostředků. Hustota pravděpodobnosti poruch má význam zejména pro výrobce technických prostředků. Uživatelé zařízení však zajímají výrobky, které jsou v uvažovaném čase ve stavu funkční způsobilosti. V tomto případě je vhodným ukazatelem spolehlivosti *intenzita poruch* $\lambda(t)$ vyjádřená vztahem

$$\lambda(t) = \frac{dF(t)}{dt \cdot R(t)} = \frac{dn_F(t)}{dt \cdot n R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (14)$$

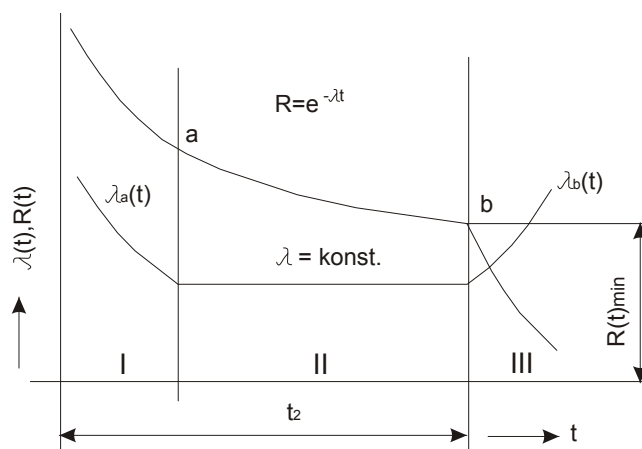
Ze vztahu (12) a (14) plyne že pro $\lambda(t) = \text{konst}$ je

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (15)$$

Střední doba mezi poruchami, někdy označována zkratkou MTBF z angl. Mean Time Between Failures, je určena vztahem

$$\bar{T} = \frac{1}{n_F} \sum_{i=1}^{i=n_F} T_i \quad (h) \quad (16)$$

kde T_i je doba bezporuchového provozu mezi $(i-1)$ -ní poruchou a i -tou poruchou téhož zařízení a n_f je počet všech poruch jednoho zařízení.



Obr. 18 Grafické znázornění životnosti přístroje (soustavy) s intenzitou poruch $\lambda(t)$.

Oblasti křivky $\lambda(t)$:

- I. období časných poruch
- II. období konstantní intenzity poruchy
- III. období poruch dožitím

Jestliže je známa závislost pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$ na čase, lze jako mezní podmínku životnosti zařízení stanovit minimální hodnotu této pravděpodobnosti $R(t)_{\min}$ a vypočítat *technický život* t_z zařízení (Obr. 18). Např. při exponenciálním rozdělení pravděpodobnosti bezporuchového provozu (tj. $\lambda = \text{konst.}$) bude s využitím vztahu (14) určen technický život

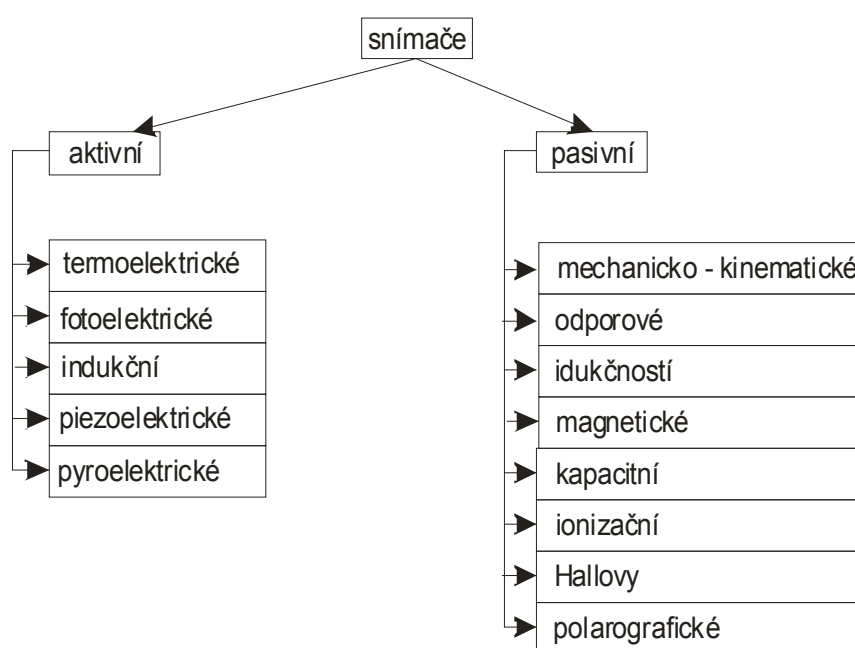
$$t_z = \frac{\ln R(t)_{\min}}{\lambda} \quad (\text{h}) \quad (17)$$

Při výběru snímače požadujeme, aby splňoval určité základní požadavky:

- jednoznačná závislost výstupní veličiny na veličině vstupní, nejlépe lineární závislost,
- vhodný tvar statické charakteristiky s velkou strmostí,
- požadovaná přesnost snímače,
- časová nezávislost parametrů snímače,
- vhodná frekvenční charakteristika (časová konstanta),
- minimální závislost na parazitních vlivech (teplota, vlhkost, tlak, prašnost apod.),

- minimální zatěžování měřeného objektu,
- optimální elektrický výkon snímače,
- jednoduchá konstrukce a údržba,
- dostupnost a cena snímače.

Současné splnění těchto, popř. dalších požadavků je u konkrétního snímače často obtížné a někdy i nemožné. Při kompromisním řešení je nutné zvažovat vlastnosti celého měřicího obvodu z hlediska účelné kompenzace některých nedostatků jednotlivých členů.



Obr. 19 Rozdělení snímačů podle fyzikálního principu

Pro získávání přehledu o vlastnostech snímačů a možnosti jejich porovnání je vhodné rozdělit snímače do dvou základních skupin (Obr. 19):

- aktivní (generátorové) snímače*, které se chovají při působení neelektrické veličiny jako zdroj elektrické energie (např. termoelektrický článek),
- pasivní (parametrické) snímače*, které mění působením neelektrické veličiny některé ze svých parametrů (např. fotorezistor).

Uvedené rozdělení z hlediska využitého principu měření je vhodné pro konstruktéry měřicích členů a subsystémů. Je možné je doplnit rozlišením snímačů podle převodu neelektrické veličiny na výstupní signál v normalizovaném tvaru: .

1. *Vícenásobný převod*, kdy se měřená veličina mění na jinou neelektrickou veličinu a

ta je teprve převáděna na elektrický výstupní signál. Je to velmi častý typ snímače se složitým, násobným převodem, např. měření výšky hladiny kapaliny pomocí plováku s mechanickým převodem na odporový snímač s poměrovým magneto elektrickým přístrojem.

2. *Jednoduchý převod*, kdy se měřená neelektrická veličina mění přímo na elektrický signál, např. mechanická deformace odporového tenzometru zapojeného v můstkovém obvodu s výstupním signálem - elektrickým napětím.

Z hlediska uživatele nebo projektanta je účelné rozdělení snímačů podle vstupních neelektrických veličin:

- *snímače mechanicko-kinematických veličin* - délka, posunutí, deformace, natočení, síly a krouticí momenty;
- *snímače tepelných veličin* - termodynamická teplota, množství tepla;
- *snímače tlaku kapalina plynů* - přetlak, podtlak, tlakový rozdíl;
- *snímače vlhkosti* - absolutní a relativní vlhkost plynů nebo pevných látek;
- *snímače průtah*, - plynů, kapalin, sypkých hmot;
- *snímače výšky hladiny* - kapalin nebo sypkých hmot v uzavřené nebo otevřené nádobě;
- *snímače rychlosti, zrychlení a otáček* - rychlosti posuvné a otáčivé;
- *snímače složení a koncentrace látek* - analyzátory plynů a pevných látek;
- *snímače fyzikálních vlastností kapalin a pevných látek* - konduktivita, koncentrace vodíkových iontů *pH*, viskozita, koncentrace roztoků; popř. defektoskopie.

Volba snímače při řešení konkrétního problému měřicí techniky představuje často obtížný problém, který v některých případech je nutné řešit na základě poznatků několika technických oborů (elektrotechnika, hydro mechanika, elektronika atd.).

7.2.4 Přehled snímačů a jejich použití

Snímače pro měření neelektrických veličin uskutečňují vzájemné přetváření některých forem energie (mechanické - tj. kinetické nebo potenciální, elektrické, magnetické, tepelné, elektromagnetické, jaderné atd.).

Nejrozšířenějším měronosným signálem pro přenos informace od snímače k řídicímu centru je elektrický signál (napětí nebo proud, jejich fáze, frekvence) nebo pneumatický signál (tlak) a v poslední době i optický signál. Z těchto důvodů se budeme dále zaměřovat většinou na ty snímače, které převádějí měřenou neelektrickou veličinu na normalizovaný elektrický nebo pneumatický signál.

7.2.5 Měřicí převodníky neelektrických veličin

Z hlediska uživatele nebo projektanta měřicích a řídicích systémů je účelné sestavit přehledové tabulky využití typických snímačů včetně jejich zapojení pro hlavní skupiny neelektrických veličin. V tabulkách 1 až 10 jsou naznačeny principy činnosti, charakteristiky a parametry měřicích převodníků pro tyto fyzikální a technické veličiny:

Tabulka 1 Měření posunutí, deformace a rozměrů

Tabulka 2 Měření tlaku

Tabulka 4 Měření vlhkosti

Tabulka 5 Měření průtoků a rychlost proudění

Tabulka 6 Měření výšky hladiny

Tabulka 7 Měření rychlosti, zrychlení a otáček

Tabulka 8 Měření sil a krouticích momentů

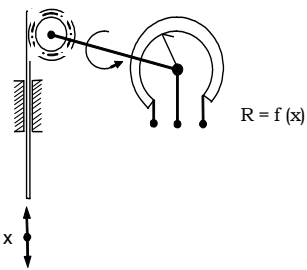
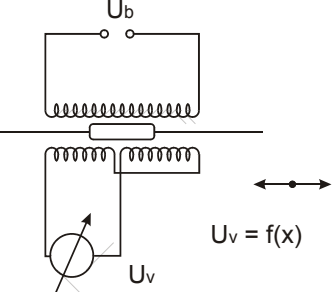
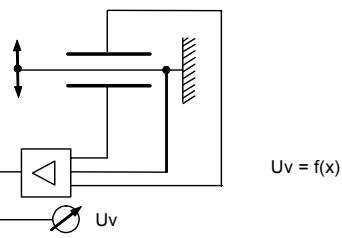
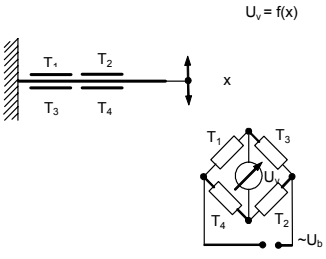
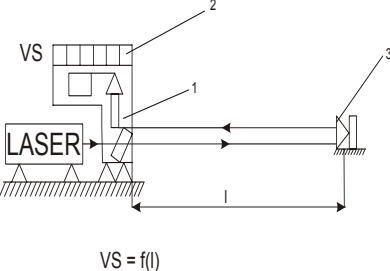
Tabulka 9 Analýza složení a koncentrace látek

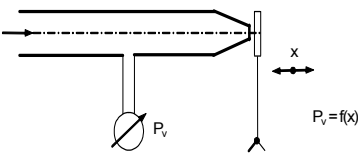
Tabulka 10 Fyzikální vlastnosti kapalin a pevných látek

V každé tabulce je uvedeno šest nebo sedm příkladů použití snímačů pro měření příslušné veličiny. V první polovině tabulky jsou popsány stručně nejrozšířenější typické způsoby měření, v druhé pak méně obvyklé nebo perspektivní metody. Údaje o rozsazích a přesnosti snímačů jsou pouze informativní, konkrétní informace je nutné vyhledat v katalozích výrobců. V charakteristice snímače je zdůrazněn způsob použití, zda jde o

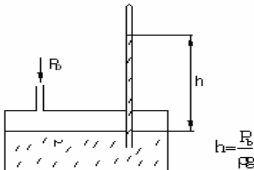
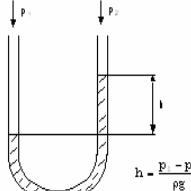
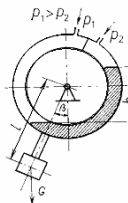
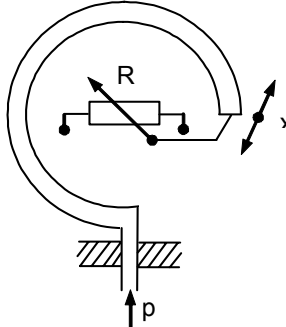
metodu vhodnou pro ověřovací nebo laboratorní měření nebo zda je snímač určen pro provozní nasazení při běžném provedení měřicího převodníku.

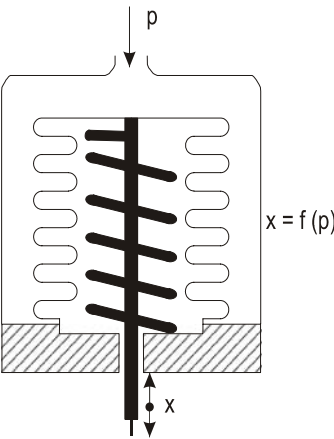
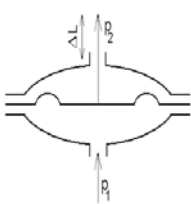
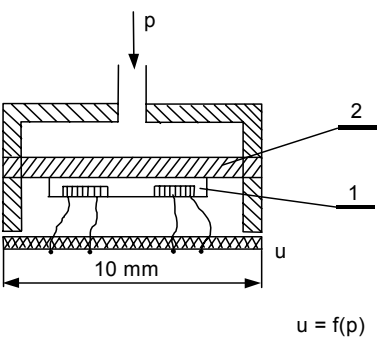
Tabulka 1 Měření posunutí, deformace a rozměrů

Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
	Odporový potenciometrický snímač otočný s mechanickým převodem. Vyhodnocení velikosti odporu např. poměrovým magnetoelektrickým přístrojem. Vhodný pro laboratorní i provozní měření a regulační přístroje.	Rozsah: $\alpha = 270^\circ$ nebo víceotáčkové Přesnost: 0,002 až 1%, Teplotní rozsah : -20 až 60°C
	Indukční snímač polohy s otevřeným magnetickým obvodem v diferenčním zapojení. Výchylka je na snímač přenášena mechanickým převodem, statické i dynamické měření. Výstupní napětí je řádově ve voltech	Rozsah: např.: $x = \pm 4 \text{ mm}$ Přesnost 0,80% Budící napětí: $U_b = 7\text{V}/50\text{Hz}$, Teplotní rozsah -20 až 60°C.
	Kapacitní snímač polohy se směnou vzdálenosti desek v diferenčním zapojení. Vhodný pro laboratorní a cejchovací měření s malým ovlivněním objektu, statická i dynamická měření malých posunutí, výchylek a deformací	Rozsah : např.: $x = 3 \text{ } \mu\text{m}$ až 1 mm Přesnost: 0,5 až 1%, Provozní teplota: od -40 až 100°C.
	Tenzometrický odporový snímač deformace na jednostranně vetknutém nosníku pro měření výchylky, síly a chvění. Pro laboratorní a přesná provozní měření statická i dynamická – do 50kHz	Rozsah výchylky /dle konstrukčního řešení deformačního členu/: $x = 3\mu\text{m}$ až 300mm, Přesnost: 1%, provozní teplota 50 až 100°C
	Laserinterferometr pro velmi přesná měření rychlosti a pohybu odražeče (3). Měřicí hlava (1) a vyhodnocovací blok (2) umožňují spolupráci s počítačem při číslicovém výstupním signálu VS. Vhodný pro velmi přesná cejchovní laboratorní i provozní měření (číslicově řízené stroje).	Rozsah délek: $l = 10$ až 105mm. Rozsah rychlosti: $v = 0,1$ až 102 m.s-1 Přesnost: $6 \cdot 10^{-10} \text{ mm}$

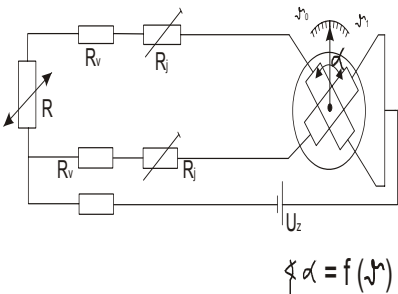
	Pneumatický převodník tryska-klapka s napájecím tlakem $p_n=0,14$ MPa pro měření velmi malých posunutí. Výstupní „laděný“ tlak: $p_v=20$ kPa + 100 kPa. Vhodný pro převozní měřicí a regulační přístroje a zesilovače výkonu.	Rozsah výchylky klapky: $x = 0$ až $30\mu\text{m}$. Přesnost závisí na provedení a dosahuje 1 až 2 %
---	---	---

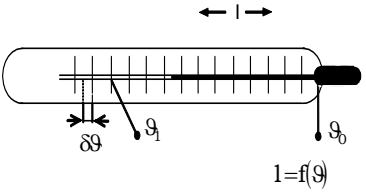
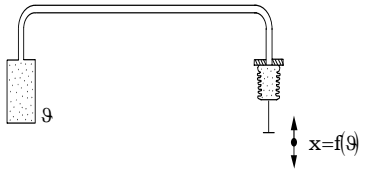
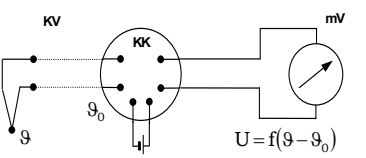
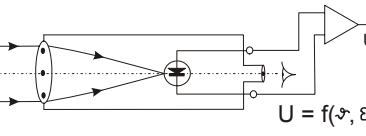
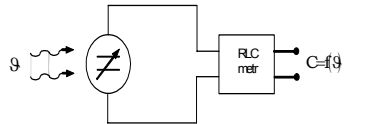
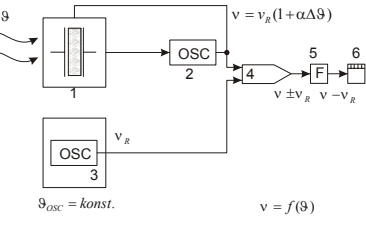
Tabulka 2 Měření tlaku

Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
	Nádobkový tlakoměr s přímým sloupcem pro měření absolutního tlaku P_b se rtuťovou náplní. Přesná laboratorní měření, indikace h (stupnice, indukční snímač).	Rozsah: $p_b = 0$ až 100 kPa Časová konstanta: $\tau = 1$ až 10 s Přesnost: 1-3%
	Diferenční U-tlakoměr pro měření menších podtlaků, přetlaků i diferenciálních tlaků. Náplň – voda, rtuť. Provozní i laboratorní měření statických tlaků	Rozsah (podle délky trubice): $\Delta p = 10$ Pa až 500 kPa. Přesnost (podle odečtu výšky hladiny h) : $0,5$ až 2%
	Prstencový tlakoměr s přepážkou a uzavírací kapalinou. Provozní měření statických diferenčních tlaků.	Rozsah: nízkotlaké $\Delta p = 0$ až 2 kPa, vysokotlaké $\Delta p = 0$ až 25 kPa Časová konstanta: $\tau = 1,6$ s Přesnost: $0,5$ až 2%
	Trubicový deformační manometr (s Bourdonovým perem). Snímacím prvkem je trubice zploštělého průřezu, vytvarovaná do kruhového oblouku se středovým úhlem asi 270°. Pevným koncem je spojena s měřeným prostorem, druhý (volný) konec je uzavřen. Výchylky trubice se měří mechanicky, odporovým snímačem. Nerozšířenější provozní tlakoměr, univerzální, volba rozsahu pro statické tlaky.	Rozsah: $p = 0$ až 10^4 Mpa Časová konstanta: $\tau = 0,1$ až $0,5$ s Přesnost: $1,5$ až 2%

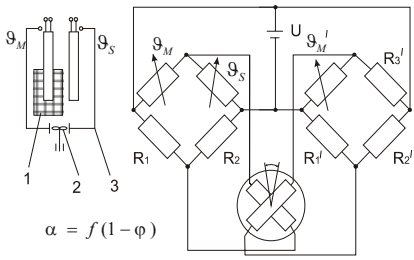
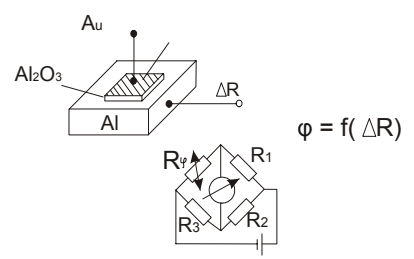
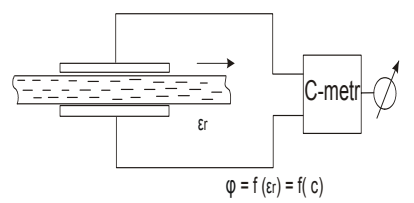
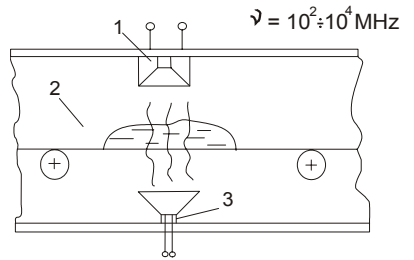
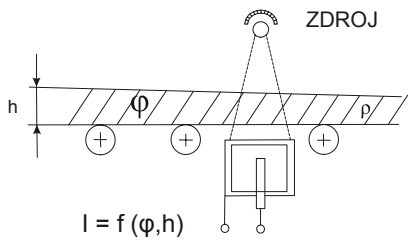
	Vlnový deformací manometr s 10% změnou délky vlnovce (pro max. tlak), výchylka vyhodnocena elektrickým snímačem. Ve funkci snímacího prvku využívá tenkostěnnou trubici válcového tvaru s vyválnými vlnami (tzv. vlnovec). V závislosti na použitém materiálu se používá jak pro citlivé přístroje s malými rozsahy (tombak, pakfong), tak i pro vysokotlaké snímače. Provozní měření, registrační a regulační přístroje.	Rozsah: $p = 0,5$ až 200 kPa Časová konstanta: $\tau < 0,2$ s Přesnost: 1,5 až 2%
	Membránový deformací tlakoměr s kapacitním snímačem (případně indukčním, piezel.). Provozní i laboratorní měření statických i dynamických tlaků.	Rozsah: $\Delta p = 200$ Pa až 20 Mpa Časová konstanta: $\tau < 10^{-2}$ s Přesnost: 0,1 až 1%
	Membránový deformací snímač s piezorezistivním jevem (difúzní odporové tenzometry v křemíkové destičce 1 jsou v kontaktu s membránou 2), miniaturní. Přesná provozní měření statických i dynamických tlaků.	Rozsah: $p = 0$ až 600 kPa Časová konstanta: $\tau < 10^{-3}$ s Přesnost: lepší než 0.5%

Tabulka 3 Měření teploty

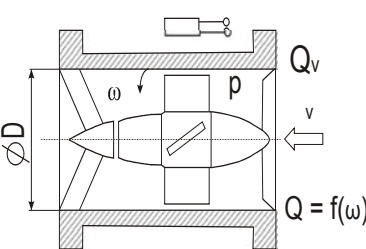
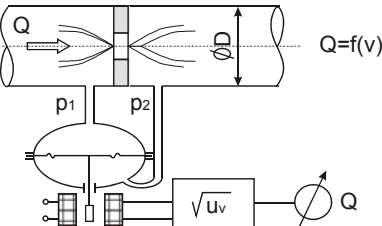
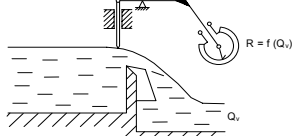
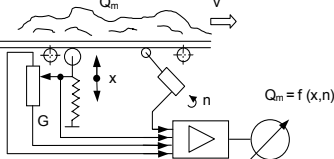
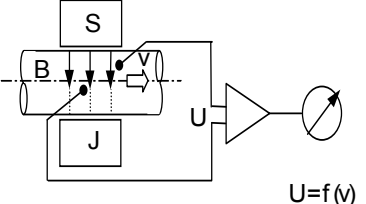
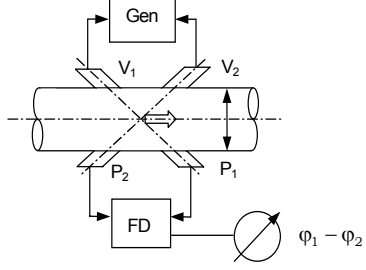
Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
	Platinový odporový teploměr Pt=100 v třívodičovém zapojení s poměrovým přístrojem. Platinová čidla jsou vinutá z odporového drátu nebo jsou vrstevná. Čidla z odporového drátu jsou zhotovena bifilárním vinutím na vnější povrch keramického tělíska, nebo drát je uložen do kapilár nosného tělíska. Na povrchu je čidlo obvykle chráněno keramickým smaltem. Vrstevná čidla jsou většinou vyráběna technologií napařování na keramickou destičku. Pro dlouhodobou stabilitu jsou pokryta speciálními látkami. Jednoduchý a přesný snímač pro povrchová i objemová měření provozní i laboratorní.	Rozsah teplot: -200°C až 900°C Časová konstanta: $\tau = 1$ až 2 min Přesnost: $< 0,1\%$ celé zapojení $< 0,3\%$

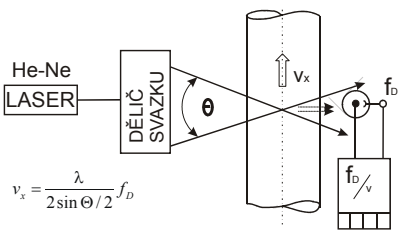
	Dilatační kapalinový rtuťový teploměr s pevně nastavenými doteky. Je principiálně založena na závislosti objemové roztažnosti kapalin účinkem teplotních změn. Jednoduchý a přesný snímač pro povrchová i objemová měření provozní i laboratorní, kontrolní a cejchovní měření snímačů, dvoupolohová regulace.	Rozsah teplot (pro rtuť): -30°C až 600°C Časová konstanta: $\tau = 0,1$ až 1 min Přesnost: $\frac{1}{2}$ nejmenšího dílku stupnice = σ_U
	Dilatační plynový tlakový teploměr / dusík, helium/ Velká představující síla, vhodné pro registrační a regulační pneumatické systémy	Rozsah teplot (pro rtuť): -50°C až 550°C Časová konstanta: $\tau = 1$ až 2 min Přesnost: $\pm 0,1$ až 1%
	Termoelektrický teploměr a kompenzačním vedením /KV/ a kompenzační krabicí /KK/. Je jednoduchý, univerzální, spolehlivý a přesný. Určený pro provozní i laboratorní měření.	Rozsah teplot (podle druhu): -200°C až 1400°C (pro kovové termočlánky) Časová konstanta: $\tau = 0,1$ až 3 min Přesnost: $\pm 0,1$ až 3%
	Radiační pyrometr s fotodetektozem světelného záření / $\lambda = 0,6$ až $2 \mu m$ / od měřeného předmětu s teplotou povrchu ζ. Bezdotykové přesné měření. Nutnost určení ε /emisivity/. Vhodné pro provozní orientační měření.	Rozsah teplot (např.): 200°C až 1400°C Časová konstanta: $\tau = 10^{-2}$ až 10^{-1} s Přesnost: lepší než $\pm 0,1$ až 3%
	Pyroelektrický teplotní článek s měřením energie infračerveného záření v rozsahu 0,5 až 1000 μm. Speciální bezdotyková měření s malou časovou konstantou.	Rozsah teplot -50°C až 600°C Časová konstanta: $\tau = 10^{-4}$ až 10^{-1} s Přesnost: lepší než 0,5%
	Piezoelektrický krystalový teploměr s vysokou citlivostí / 10^{-2} až $10^{-4}^\circ C$ /. Využívá teplotní závislosti rezonančního kmitočtu krystalu křemene. Dobrá linearita, kmitočtový výstup. Cejchovní a přesná laboratorní i provozní měření. 1 -krystal Si jako snímač 2 -oscilátor řízený krystalem 3 -oscilátor v termostatu 4 - směšovač 5 -nízkofrekvenční filtr 6 - čítač a zobrazovač	Rozsah teplot -80°C až 250°C Přesnost: lepší než 0,1% Rezonanční kmitočet: $\nu = 20$ až 50 MHz Teplotní součinitel: $\alpha_\nu = 30$ až $90 \cdot 10^{-6} K^{-1}$

Tabulka 4 Měření vlhkosti

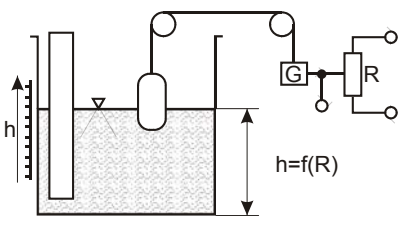
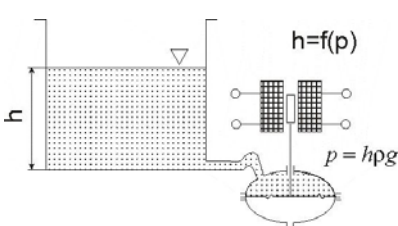
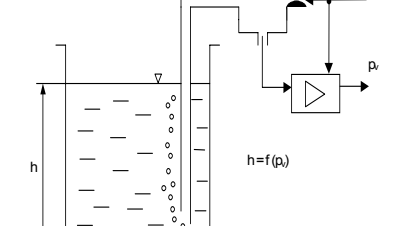
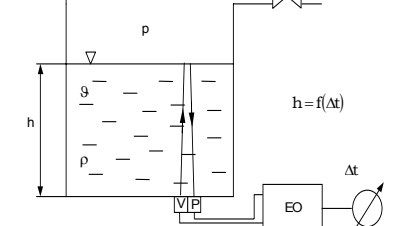
Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
 $\alpha = f(1 - \varphi)$	Psychometrický snímač – má tři teploměry (jeden zvlhčovaný vodou – 1, dva suché – 2, ventilátor – 3). Vyhodnocení můstkové s poměrovým přístrojem, měří se přímo relativní vlhkost. Provozní a laboratorní měření, rychlost proudění $v > 2,5 \text{ m.s}^{-1}$.	Rozsah: $\varphi = 10$ až 100% Teplota: -5 až 120°C Přesnost: $\pm 3\%$
 $\varphi = f(\Delta R)$	Hydrometrická sonda Al_2O_3 vykazuje vliv změny φ na elektr. odpor (pórovitý kysličník hlinitý absorbuje vlhkost). Vyhodnocení můstkovým zapojením, nutnost čištění povrchu snímače ohřevem. Provozní měření, kontrolní měření a signalizace	Rozsah: $\varphi = 5$ až 100% Přesnost: $\pm 3\%$ Časová konstanta: $\tau < 1 \text{ s}$
 $\varphi = f(\epsilon_r) = f(c)$	Kapacitní dielektrický vlhkoměr pro pórovitý materiál (papír, dřevo,...). Vyhodnocení kapacity můstkovým nebo rezonančním obvodem. Provozní měření s dobrými dynamickými vlastnostmi.	Rozsah: $\varphi < 20\%$ - konduktometrie $\varphi > 30\%$ kapacitní měřič Přesnost: 1 až 3% Časová konstanta: $\tau = 10^{-2}$ až 10^{-1} s
 $\nu = 10^2 \div 10^4 \text{ MHz}$	Vysokofrekvenční vlhkoměr založený na útlumu a odrazu elektromagnetických vln ve vlhkém materiálu. Obsahuje: 1 – generátor s anténou, 2 – měřicí prostor, 3 – přijímač. Bezdotykové měření, široký rozsah, dobré dynamické vlastnosti, složitá aparatura. Perspektivní metoda pro provozní měření.	Rozsah: $\varphi = 3$ až 100% Přesnost: 1 až 3% Časová konstanta: $\tau = 10^{-2}$ až 10^{-1} s
 $I = f(\varphi, h)$	Ionizační absorpční vlhkoměr využívá pohltivosti záření β nebo γ při měnění se tloušťce nebo hustotě materiálu. Relativní vlhkost je funkcí měrné hustoty materiálu ρ . Provozní měření pro objemové materiály (např. koks...)	Rozsah: $\varphi = 3$ až 100% Přesnost: 1 až 3% Časová konstanta: $\tau = 10^{-2}$ až 10^{-1} s

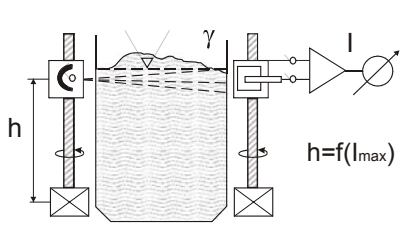
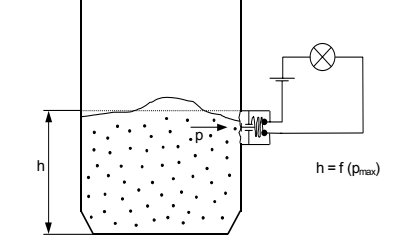
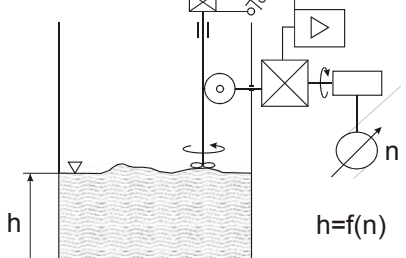
Tabulka 5 Měření průtoků a rychlost proudění

Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
	Axiální Woltmanova turbínka využívající silového účinku proudu tekutiny k roztočení. Necitlivost pro malá průtočná množství Q_p . měření otáček elektricky, provozní měření.	Rozsah: 1:10 ($\phi D = 15 \text{ mm}$) 1:40 ($\phi D = 200 \text{ mm}$) Provozní tlak: $p = 1,5 \text{ až } 30 \text{ MPa}$ Přesnost: $\pm 0,5\%$. Teplota: do 500°C
	Škrtící orgán -clona- s vyhodnocením diferenčního tlaku membránovým tlakoměrem s indukčním snímačem a vyhodnocovacím obvodem. Rozšířené provozní měřidlo, spolehlivé.	Rozsah: $\phi D = 50 \text{ až } 800 \text{ mm}$, $v = 0,7 \text{ až } 3,5 \text{ m.s}^{-1}$. Přesnost: $\pm 1 \text{ až } 3\%$. Vliv teploty: $1\% / 10^\circ\text{C}$
	Přepad – průřezové měřidla pro otevřený kanál, výška hladiny na přepadu se měří např. plovákem s odporovým snímačem	Rozsah: /dle volby přepadu/. Přesnost: 3 až 5%
	Pásové váhy pro sypké materiály s deformačním snímačem tíhové síly G odpor. snímačem a měřením rychlosti pásu v otáčkoměrem s tachodynamem. Provozní měření univerzální.	Rozsah: /dle volby pásu a rychlosti/. Přesnost: 1 až 5%.
	Indukční průtokoměr pro vodivé kapaliny. Napětí na elektrodách se indukuje vlivem pohybu vodiče (kapaliny) v magnetickém poli. Bezdotykové provozní měření univerzální.	Rozsah: $\phi D = 3 \text{ až } 200 \text{ mm}$. Měrný odpor: $R < 10^4 \Omega$. Přesnost: $\pm 0,5 \text{ až } 1\%$. $V_{\min} = 0,5 \text{ až } 1 \text{ m.s}^{-1}$
 P1, P2 – přijímač V1, V2 – vysílač G – ultr. generátor FD – fázový detektor	Fázový (impulsní) ultrazvukový průtokoměr měří okamžitou rychlost průtoku v které je úměrný rozdíl v_x , které je úměrný rozdíl fází $\phi_1 - \phi_2$ ve dvou větvích UZ průtokoměru. Bezdotykové měření. Laboratorní a přesné provozní měření	Rozsah pro kapaliny a plyny: $\phi D = 20 \text{ až } 300 \text{ mm}$, $v_x = 0,1 \text{ až } 30 \text{ ms}^{-1}$. Přesnost: 1 až 2%. Vliv teploty, koncentrace a znečištění

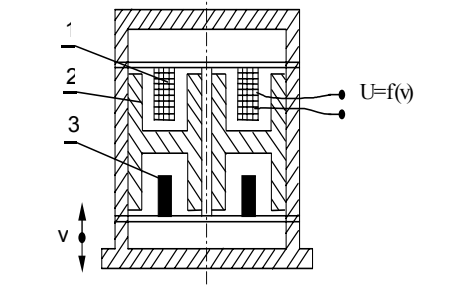
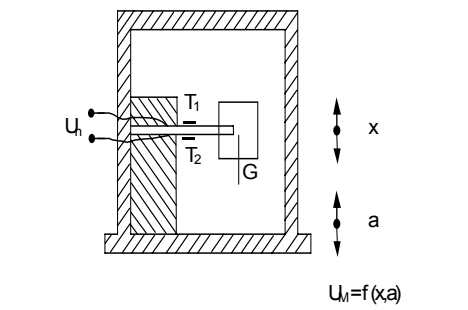
 $v_x = \frac{\lambda}{2 \sin \theta / 2} f_D$	Laserový Dopplerův anemometr měří vektor rychlostí proudění na základě detekce frekvenčního zdvihu f_D mezi dopadajícím a rozptýleným laser. zářením. Frekvenční výstup, bezdotykové měření. Laboratorní a výzkumná měření rychlosti profilů a průtoků v širokém rozsahu.	Rozsah: 1:20 pro $v_x = 0,01$ až 100 m.s^{-1}. Dopplerův frekvenční zdvih $f_D = 100 \text{ kHz/1m.s}^{-1}$. Přesnost: $\pm 0,1\%$
---	--	--

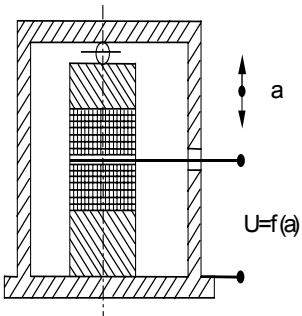
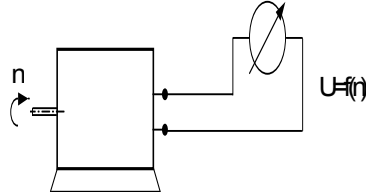
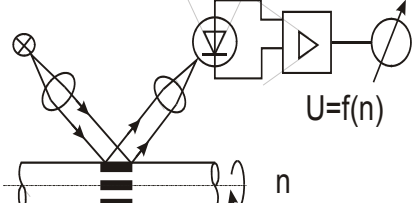
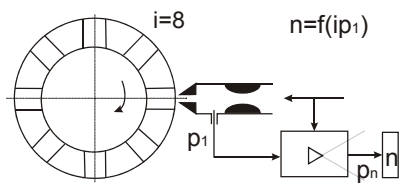
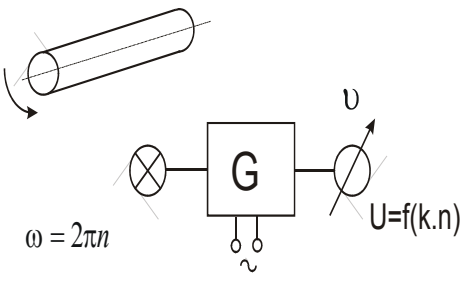
Tabulka 6 Měření výšky hladiny

Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
 $h=f(R)$	Přímé metody měření výšky hladiny - průhledový stavoznak tvořený spojenou nádobou s nádrží s odečtem h - plovákový snímač na lanku s odporovým snímačem Provozní měření	Rozsah: $h = 0,1$ až 40 m Přesnost: 1 až 2%.
 $h=f(p)$ $p = h\rho g$	Hydrostatický stavoznak převádí výšku hladiny h na tlak p, měřený například membránovým tlakoměrem s indukčním snímačem. Provedení měření neklidných kapalin s $\rho = \text{konst.}$, měření univerzální.	Rozsah: $h = 0,1$ až 10 m. Přesnost: $\pm 2\%$
 $h=f(p_u)$	Nepřímé měření výšky hladiny provzdušňováním, kdy tlak vzduchu p_v je úměrný výšce hladiny h k překonání hydrostatického tlaku kapaliny. Provozní měření vroucích kapalin, agresivních kapalin.	Rozsah: $h = 0,5$ až 10 m. Přesnost: 1 až 3%
 $h=f(\Delta t)$	Ultrazvukový hladinoměr impulsní s teplotní kompenzací / i pro sypké hmoty/. Výška hladiny h závisí a je úměrná době průchodu Δt kapalinou. Bezkontaktní měření provozní a laboratorní v tlakových nádobách a výbušném prostředí.	Rozsah: $h = 1$ až 30 m. Přesnost: $\pm 2\%$. $\rho = 0,5$ až $2,5 \text{ g/cm}^3$, $\nu = -200^\circ\text{C}$ až 600°C, $p_{\max} = 300 \text{ Mpa}$

	Radioizotopový ionizační hladinoměr provádí měření výšky hladiny h nebo signalizaci na základě absorpce záření γ v materiálu. Provozní měření v zásobnících s pevným nebo pohyblivým zářičem.	Rozsah: $h = 1$ až 50 m. Přesnost: 1 až 5%
	Membránový indikátor výšky hladiny h, spínaný tlakem h sypkého materiálu. Univerzální provozní měření suchých sypkých hmot se signalizací v diskretních hladinách.	Rozsah /dle počtu snímačů/. Přesnost /dle rozměrů membrány/: asi 3%
	Hladinoměr vrtulový – má otočnou část brzděnou sybkým materiálem na dosažené hladině s možností svislého pohybu vrtulky. Provozní měření v zásobnících a bunkrech univerzální.	Rozsah: $h = 3$ až 20 m. Přesnost: 0,5 až 2%

Tabulka 7 Měření rychlosti, zrychlení a otáček

Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
	Absolutní elektrodynamický snímač rychlosti a chvění. Cívka 1 upevněná na membráně kmitá v poli permanentního magnetu 2 a je brzděna tlumícím kroužkem 3. Laboratorní a cejchovní měření amplitudy rychlosti, pracuje rovněž jako snímač chvění	Citlivost: 30 mV/mm.s^{-1}. Přesnost: 1%. Rezonanční kmitočet: 5kHz Kmitoč. rozsah: 5 až 2000 Hz Provozní teplota: -20 až 200°C
	Absolutní tenzometrický snímač amplitudy výchylky a zrychlení. Můstkové zapojení tenzometrů na nosníku v ohybu. Provozní i laboratorní měření amplitudy výchylky $\underline{x}$, zrychlení $\underline{a}$, univerzální použití.	Rezonanční kmitočet: 2 kHz Kmitočtový rozsah: 0 až 1500 Hz. Přesnost: 1%. Teplota: do 200°C

	Absolutní piezoelektrický snímač amplitudy zrychlení. Výstupní impedance kapacitní se složitějšími vyhodnocovacími obvody. Rozšířený provozní i laboratorní snímač.	Rezonanční kmitočet: 80 kHz. Kmitočtový rozsah: 3 až 25000 Hz. Přesnost: 1%. Maximální teplota: 260°C
	Generátorový snímač otáček elektrodynamický: - tachodynamo - tachogenerátor - velmi časté provozní měření	Rozsah / dle typů /: např. 0 až 5000 min⁻¹ Přesnost: 0,1 až 1%
	Fotoelektrický impulsní snímač otáček (např. odrazový). Bezkontaktní metoda pro laboratorní a přesné provozní měření. Univerzální metoda	Rozsah / dle typů /: 0 až 10³ min⁻¹ Přesnost: 0,1 až 1%
	Tlakový pneumatický impulsní snímač otáček s pneumatickým počítadlem H, tlakových impulsů P₁. Speciální provozní měření se zvláštními nároky na prostředí (např. výbušné, ...).	Rozsah: např. 0 až 1000 s⁻¹. Přesnost: 0,1 až 1%
	Stroboskopický otáčkoměr s impulsní výbojkou napájenou z frekvenčně řízeného generátoru impulsů, s proměnnou frekvencí záblesků f_v. Cejchovní a kontrolní měření provozní i laboratorní univerzální.	Rozsah: n = 10 až 1000 min⁻¹. Přesnost: 0,1%

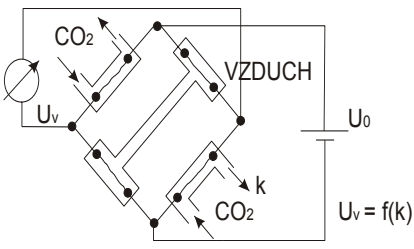
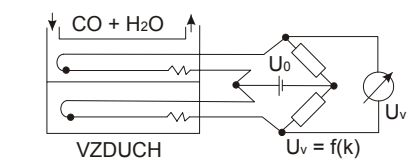
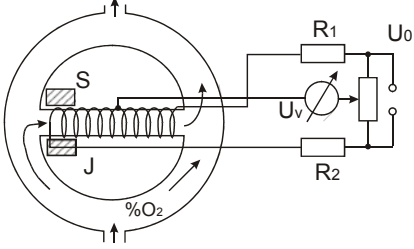
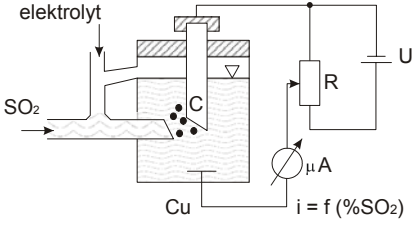
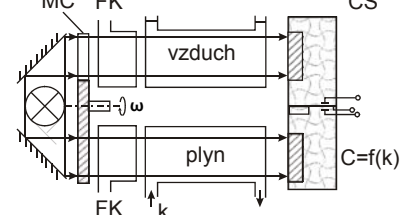
Tabulka 8 Měření sil a krouticích momentů

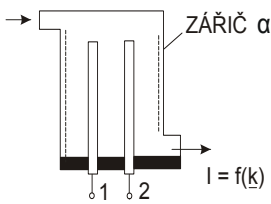
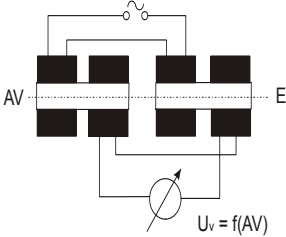
Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
------------------	------------------------	-----------

	Indukční pasivní snímač síly (dynamometr) s otevřeným magnetickým obvodem. Spolehlivý, přesný pro provozní i kontrolní měření.	Rozsah (dle volby deformačního členu) $F = 10 \text{ N}$ až 10 MN. Přesnost: 0,1 až 1%
	Piezoelektrický snímač pro tlakové i tahové síly s malými rozměry, vhodný především pro dynamická měření. Univerzální, jednoduchý, provozní i laboratorní měření.	Rozsah síly: $F = 1 \text{ kN}$ až 10^6 kN. Mezní kmitočet 30 kHz. Přesnost: 0,1 až 2%
	Magnetoelastický dynamometr transformátorového typu s teplotní kompenzací a diferenčním zapojením. Jednoduchý, robustní s velkou hystezí, vhodný pro provozní měření.	Rozsah $F = 10 \text{ N}$ až 10 MN Přetížitelnost : 100%. Přesnost: 0,5 až 3%
	Fotoelektrický torzní dynamometr – měření vzájemné pootočení dvou clon pomocí světelného zdroje a fotodetektoru. Není nutný přenos údaje z hřídele. Jednoduché a spolehlivé provozní měření.	Rozsah krouticího momentu: 5 až 3000 Nm. Přesnost: $\pm 3\%$
	Tenzometrický odporový snímač krouticího momentu s bezkontaktním indukčním výstupem a kapacitním výstupem. Úplný můstek je tvořen tenzometry nalepenými pod úhlem 45° k ose hřídele. Přesné provozní a kontrolní měření.	Rozsah otáček: 0 až 6000 min^{-1}. Krouticí moment: $0,01 \text{ kNm}$ až 50 kNm. Přesnost: $\pm 0,2$ až $0,5\%$
	Kapacitní snímač krouticího momentu a torzních kmitů s hřebenovými elektrodami, které mění při zkrutu vzájemnou plechu elektrod. Přesné provozní a laboratorní měření s bezkontaktním přenosem	Rozsah otáček: 0 až 10000 min^{-1}. Úhlové zrychlení:

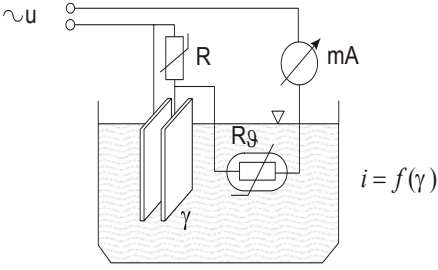
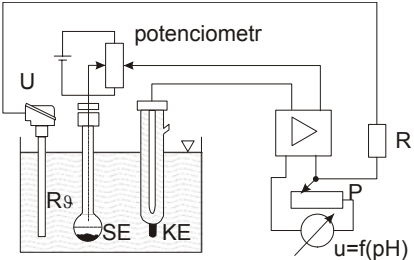
	signálů z hřídele.	$\varepsilon_{\max} = 10^4$ rad.s^{-1} . Přesnost: 0,2 až 0,5%. Úhel zkrutu: $\varphi = \pm 2\%$
--	--------------------	--

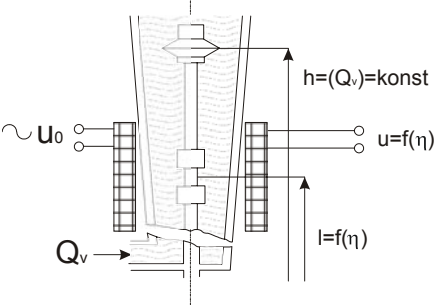
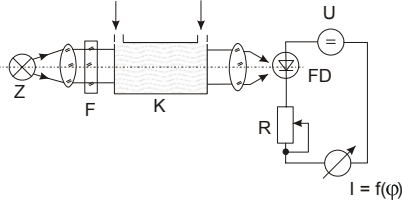
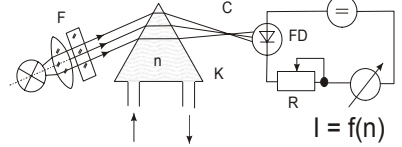
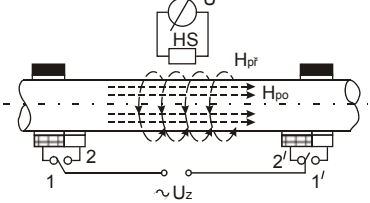
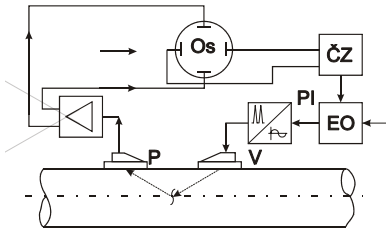
Tabulka 9 Analýza složení a koncentrace látek

Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
	Tepelně vodivostní analyzátor koncentrace plynů $k(\%)$, např. CO_2 , H_2 , SO_2 , NH_3 , CH_4 s můstkovým zapojením. Plyn proudící konstantní rychlostí ochlazuje žhaven Pt-drát v kyvetě podle své koncentrace vzhledem k referenčnímu plynu. Provozní měření spalin	Rozsah (pro CO_2): 0 až 20% Citlivost: $1^\circ\text{C}/4\% \text{CO}_2$ Přesnost: $\pm 0,5$ až 3%
	Analyzátor koncentrace spalitelných plynů ($\text{CO} + \text{H}_2$) využívá katalytického spálení složek plynu nažhaveném Pt drátu při zvýšení jeho teploty vzhledem ke vzduchu. Provozní měření kouřových plynů.	Teplota Pt drátu: 400 až 800°C Přesnost: 1 až 3% Časová konstanta: $\tau = 0,5$ až 2 min
	Termomagnetický analyzátor koncentrace O_2 využívá termomagnetického proudění O_2 měřeným termoanemometry zapojenými do můstku. Provozní analyzátory kouřových plynů, atd...	Teplota Pt vynutí: 100°C Mag. pole: 1,5T Koncentrace: 0 až 10% O_2 Citlivost: 1mV/1% O_2
	Polarografický analyzátor s tuhými elektrodami – např. pro SO_2 ve spalinách. Koncentrace je úměrná proudu mezi elektrodou uhlíkovou C a měděnou Cu, zprostředkovaným elektrolýzou roztoku a reakcí SO_2 na H_2SO_4 . Provozní měření	Rozsahy: 0 až 0,001% SO_2 0 až 20% SO_2 Přesnost: 0,1 až 1% Časová konstanta: $\tau = 10$ min
	Selektivní infraanalyzátor plynů (např. CH_4 , CH_2 , CO , ...) s pozitivní filtrací (FK) a kapacitním diferenčním snímačem záření (CS) s modulací clonou MC. Velmi citlivá, ale náročná metoda	Rozsah – dle volby náplně snímače CS Přesnost: 0,01 až 0,5%

	Ionizační analyzátor plynů – např. Cl, SO₂, NH₃, C₂H₆, vzácné plyny... Měřený plyn způsobuje změny ionizačního proudu mezi elektrodami 1-2 v závislosti na jeho koncentraci. Jednoduché provozní měření.	Rozsahy: 0 až 0,01% 0 až 20% Přesnost ± 2 až 5%
	Indukční analyzátor pevných látek s vířivými proudy, závislý na vodivosti a tím i na složení analyzovaného vzorku (AV). Diferenční zapojení sekundární cívky umožňuje porovnání s etalonem E. Laboratorní měření – obsah C v oceli.	Rozsahy – dle volby etalonu Přesnost: 3 až 5%

Tabulka 10 Fyzikální vlastnosti kapalin a pevných látek

Princip činnosti	Charakteristika snímač	Parametry
	Konduktometrický snímač el. vodivosti γ kapalin s teplotní kompenzací sériovým odporem R_γ s průběžnou registrací vodivosti proudících roztoků. Provozní i laboratorní měření	Rozsah vodivosti: do 50 S.m⁻¹ do 5 S.m⁻¹ Citlivost: 1°C/4‰ CO₂ Přesnost: 2 až 3% Max. teplota provozní: 60 až 80°C Kmitočet napětí: 50 až 80 Hz
	Měřič koncentrace volných vodíkových iontů – pH metr se skleněnou (SE) kalomelovou elektrodou (KE), teplotně kompenzovaný odporovým teploměrem R τ, nutnost čistit elektrody od nánosů. Provozní laboratorní měření.	Rozsah vodivosti: 0,5 až 12 pH Odpor: 10+300MΩ Citlivost: 60 mV/1pH Přesnost: 0,05 + 0,5 pH

	Plovákový viskozimetr – se dvěma plováky, horní udržuje průtok $Q_v=\text{konst.}$ a spodní plovák měří dynamickou viskozitu η. Vyhodnocení $\underline{I}$ indukčním snímačem. Přesná provozní a laboratorní měření	Rozsah dle volby nádoby a plováků Přesnost: 2 až 5 % dle cejchování
	Kolorimetrický analyzátor koncentrace roztoků δ, prašnosti v plynu,... Intenzita světla dopadajícího na fotodetektor FR závisí na propustnosti zkoumané látky. Jednoduché provozní měření, nejčastěji ve dvoukyvetovém provedení	Rozsah dle volby zdroje $\underline{Z}$, filtru $\underline{E}$, kyvety $\underline{K}$. Přesnost: 2 až 5 %
	Refraktometrický analyzátor roztoků využívá změny indexu lomu $\underline{n}$ s koncentrací látky. Odchylny světelného svazku se projeví na cloně $\underline{C}$ a tím na osvětlení FD. Jednoduché provozní měření	Rozsah dle volby kyvety a rozmezí: $N=1,3$ až $1,7$ Přesnost: 1 až 3 %
	Magnetická defektoskopie zjišťuje nehomogenity materiálu v podélném mg. Poli (cívky 1-1) nebo příčném poli (kontakty 2-2). Rozptylové mg. pole H_{PO} nebo H_{PR} se zjistí např. Hallovým snímačem. Provozní měření.	Rozsah – vhodné pro předměty konstantního průřezu tyče,...) Citlivost na tvar, polohou a hloubku vady $\underline{v}$ Přesnost $1+5\%$
	Ultrazvukový defektoskop impulsní odrazový s vysílačem $\underline{V}$ a přijímačem $\underline{P}$ ultrazvukového vlnění. Zobrazení druhu a polohy vady na osciloskopu O, s časovou základnou ČZ, elektronickými obvody EO a převodníkem impulsů PI. Provozní a kontrolní měření jednoduché a univerzální.	Frekvence ultrazvuku: $\nu = 50+100 \text{ KHz}$ Přesnost: $3 + 5\%$

Složitější měřicí systémy nelze popisovat v tabulkách detailně a mnohé z nich jsou podrobněji uvedeny v aplikacích v dalších kapitolách. Princip činnosti je znázorněn

schématicky, bez podrobného rozkreslení pouze tak, aby jej bylo možné stručně charakterizovat, včetně typického uspořádání nebo zapojení do vyhodnocovacího obvodu.

Mnoho snímačů nebo měřicích systémů může pracovat jak v provozním nasazení jako součást rozsáhlejšího řídicího systému, např. v rámci automatizovaného systému řízení technologického procesu, tak pro kalibrování nebo testování v kontrolní laboratoři. V tom případě se od sebe liší konstrukčním nebo výrobním provedením, které má vliv na třídu přesnosti přístroje, a tím rovněž na převažující způsob použití. Jako příklad lze uvést měření tlaku trubicovým deformačním tlakoměrem s třídou přesnosti $TF = 1,0$ pro kalibrační měření a s třídou přesnosti $TF = 2,5$ pro běžná provozní měření.

7.2.6 Vývojové směry v oblasti snímačů a měřicích metod

Prudký rozvoj mikroelektroniky, který nastal v 70. letech, se odrazil nejen v generačním členění prostředků pro zpracování informace - ve výpočetních prostředcích, ale i v oblasti měřicí techniky. Zvládnutí nových technologických postupů nutných k efektivní výrobě polovodičových součástek velmi velké integrace a extrémní požadavky některých oblastí vědy a techniky (kosmický výzkum) umožnily, popř. vynutily i zdokonalování a vývoj nových snímačů.

Hromadné využívání dostupných mikroelektronických obvodů umožňuje radikálně změnit koncepce sběru, předzpracování a přenosu informace pro potřeby identifikace zkoumaných procesů a objektů, popř. řízení ve zpětnovazebním obvodu.

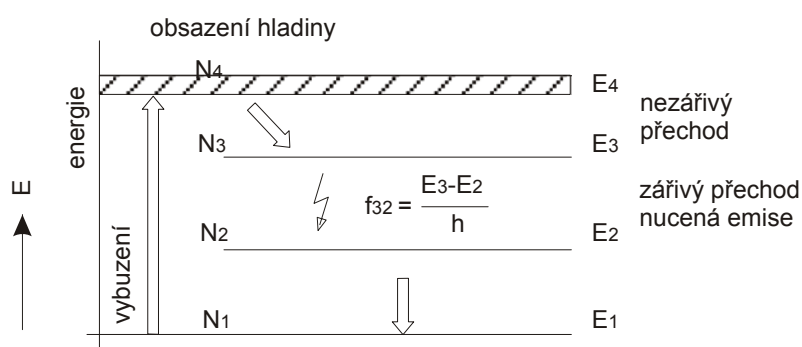
Digitalizace snímačů a jejich elektronických obvodů se začíná objevovat v některých oblastech jako nový trend, umožňující výhodnější zpracování výstupních signálů a jejich snazší přenos i v prostředí s vysokou hladinou rušení. Jako příklad lze uvést krystalové piezoelektrické teploměry, membránové tlakoměry s difúzními tenzometrickými rezistory v křemíkové membráně a s vyhodnocovacím obvodem vestavěným ve snímači atd.

Miniaturizace souvisí přímo s předchozím trendem a navazuje na pronikavé zmenšování rozměrů, hmotnosti a příkonů některých členů řídicích obvodů - např. mikropočítač může být v jednom pouzdře integrovaného obvodu včetně analogově číslicového převodníku, základní operační paměti atd. Analogové procesory v integrovaném provedení umožňují programově řízené číslicové zpracování vstupních signálů s jejich opětovným převodem na analogový výstupní signál v reálném čase. Tak je možné realizovat matematické operace

vyhrazené dříve jen větším počítačům (číslicová filtrace signálů, korelační funkce, rychlá Fourierova transformace atd.) přímo v měřicím obvodu.

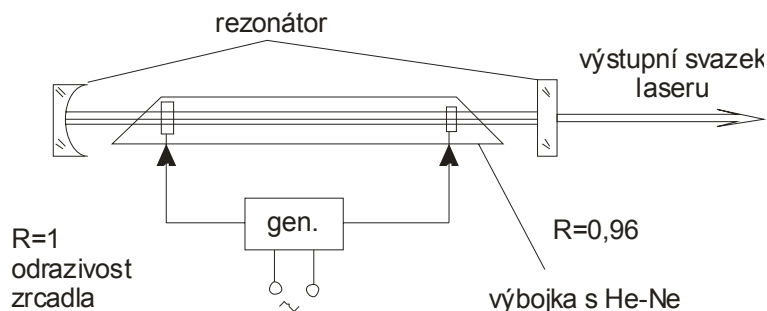
Objevem **laseru**, tj. kvantového generátoru světelného záření s mimořádnými vlastnostmi (r. 1960) získala měřicí technika další možnost realizovat efektivně některé nové nebo dříve nerealizovatelné měřicí metody. Vznik a generování laserového záření jsou spojeny s pojmem nucené, stimulované emise záření, která vzniká v atomových soustavách určitých látek za podmínky inverze v obsazení energetických hladin jednotlivých atomů.

V rovnovážném stavu je na základní energetické hladině E_1 počet atomů N_1 , který je podle Maxwelllova- Boltzmannova rozdělení větší než na hladinách E_2 až E_4 (Obr. 20). Podaří-li se dosáhnout toho, že za jistých fyzikálních podmínek bude na některé vyšší energetické hladině větší počet atomů než na nižší, může dojít k nucené emisi spojené s vyzářením kvanta záření. Vhodnou konfigurací laserové sestavy, tj. výběrem příslušného aktivního prostředí, způsobem jeho vybuzení, umístěním do rezonátoru dosáhneme toho, že přes ztráty v rezonátoru můžeme část záření vzniklého nucenou emisí vyvést mimo jako laserový svazek světla.



Obr. 20 Princip činnosti čtyřhladinového plynového laseru

Principiální schéma typického plynového helium-neonového laseru (He-Ne), používaného pro potřeby měření, je na obrázku (Obr. 21).



Obr. 21 Konstrukční schéma plynového He-Ne laseru

Laser má tři hlavní části

- vlastní aktivní materiál, kde dochází k zesílení a generování záření na základě nucené emise, zde to je výbojová trubice se směsí plynů He, Ne,
- zdroj energie pro vybuzení atomů aktivního materiálu do vyšších energetických hladin pro dosažení inverze v obsazení hladin, která je podmínkou stimulované emise. V našem případě je to vysokonapěťový generátor, který prostřednictvím doutnavého výboje v plynu nepružnými srážkami elektronů a iontů pracovního plynu He vybuzuje atomy Ne.
- rezonátor - tvořený dvojicí zrcadel ve vhodné konfiguraci, realizující zpětnou vazbu pro nasazení oscilací s možností generování optického záření na vlnové délce λ odpovídající rozdílu energetických hladin vlastního atomového systému a parametrům rezonátoru..

V tabulce č. 10 (Tabulka 10) je uveden přehled hlavních typů laserů podle druhu aktivní látky (v pevné, plynné, kapalně fázi) pro porovnání fyzikálních a technických parametrů, jako je vlnová délka, režim provozu, výkon, způsob vybuzení, zdroj energie atd.

Široký sortiment laserů s aktivním materiálem v pevné, kapalně nebo plynné fázi, pracujících na různých vlnových délkách s požadovanými zářivými výkony a pracovními režimy, umožňuje volit vhodný typ laseru pro dané potřeby a měřicí metodu. Jedinečné vlastnosti laserového záření, jako je koherence, vysoká plošná hustota zářivého toku při velmi malé rozbíhavosti svazku, jej předurčují jako významnou součást měřicích systémů. Možností aplikací laserů v oblasti sběru informace je velmi mnoho. Patří k nim:

- měření délek, rozměrů a rychlostí,
- měření rychlosti proudění tekutin,

- měření malých deformací, posunutí pomocí holografické interferometrie,
- vytyčování směru a roviny pro kontrolní účely k měření přímocharosti, rovinnosti apod.,
- měření složení a koncentrace plynů i aerosolů,
- přenos informace v prostoru nebo světlovodem,
- záznam, uchování a výběr informace z vhodného média.

Pozornost, která je této oblasti věnována, naznačuje, že optoelektronické informační systémy pro sběr, přenos i zpracování informace budou stále výrazněji ovlivňovat měřicí i řídicí systémy. V neposlední řadě má výrazný vliv na rozvoj součástek pro sběr informace *zvládnutí nových technologií a materiálů*. To souvisí nejen s miniaturizací snímačů, ale především se zvětšováním jejich užité hodnoty a s racionalizací výroby. Jako příklad lze uvést využití vakuové tenkovrstvé technologie pro zdokonalení dynamických vlastností a citlivosti některých snímačů (plošné termoelektrické články, fóliové tenzometry, magnetické vrstvy, průhledné vodivé elektrody atd.).

Uvedené trendy potvrzují, že vývoj, snímačů a měřících metod směřuje k neustálému zdokonalování funkčních a provozních parametrů, při zlepšování technickoekonomických ukazatelů.

7.3 Členy k obnově transformaci informace

7.3.1 Obecné vlastnosti a úkoly

Zpracování a přenos informace se děje vždy v reálných a nikoli v ideálních obvodech, a proto při tom dochází ke ztrátám energie a ke statickému i dynamickému zkreslení tvaru a průběhu signálu. Ve většině případů by dosáhlo zkreslení signálu bez příslušného "ošetření" nepřijatelných hodnot. Proto je třeba informaci proti těmto vlivům zabezpečit. Toto zabezpečení či "ošetření" signálu závisí jednak na signálu (druh energie, spojitý či nespojitý signál, informační parametr), jednak na vzdálenosti přenosu a na velikosti rušení a konečně také na požadované minimální kvalitě či přesnosti přenosu.

Při přenosu informace od zdroje (čidla apod.) až k místu využití je často třeba transformovat tuto informaci do různých forem tak, aby se informace formou přizpůsobila systému (převodníky A/D, D/A) nebo aby se optimálně využilo vlastností přenosové trasy

(bezdrátový přenos, optický přenos apod.), popřípadě aby se přešlo na jednotnou formu při zpracování několika různých informací (unifikovaný signál).

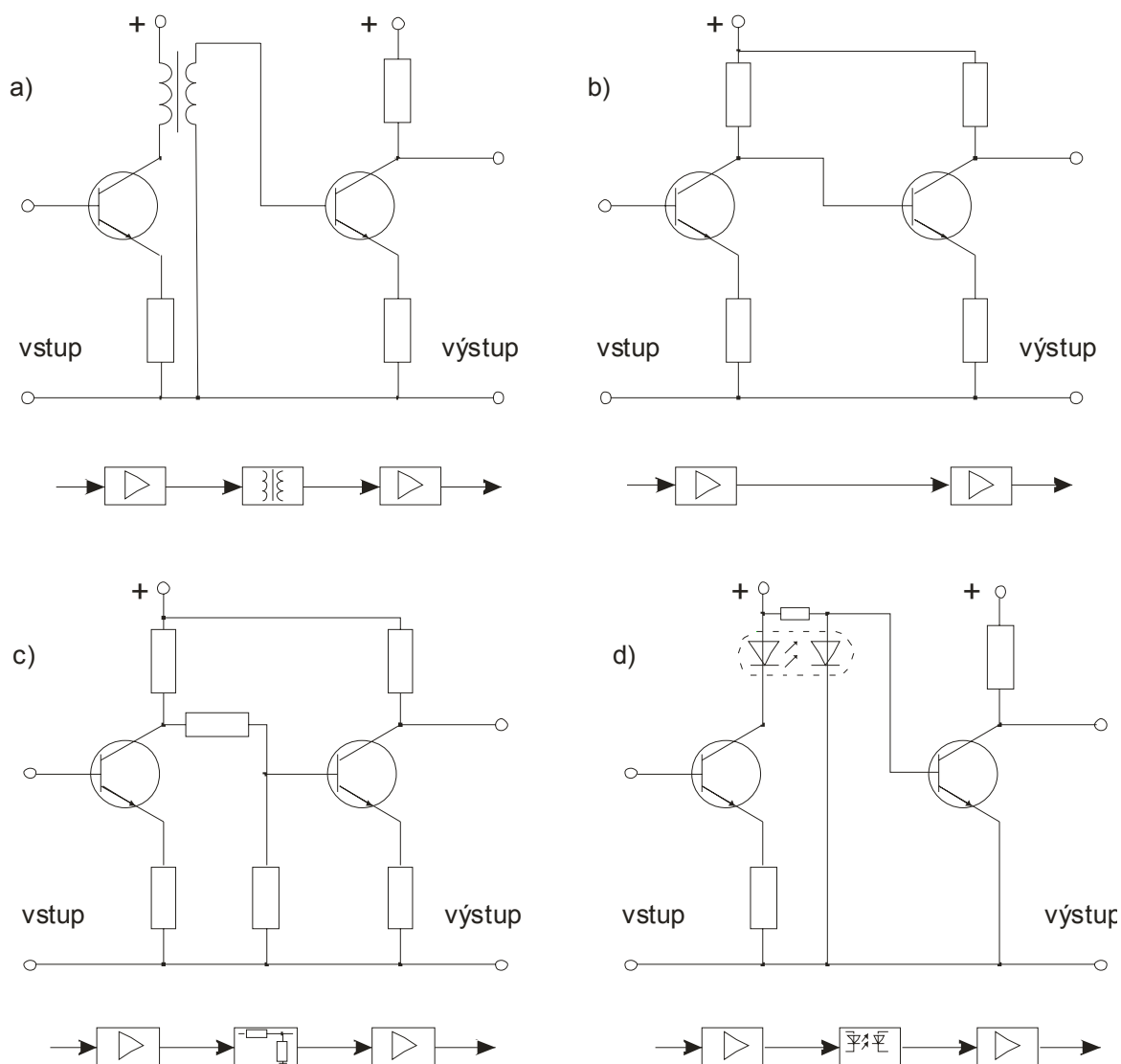
7.3.2 Zesilovače

Hlavním úkolem zesilovačů v automatizační technice je zesilovat signály nízkých úrovní ze snímačů, zesilovat výstupní signály částí pro zpracování informace pro ovládání servomotorů a hradit ztráty energie v obvodech. Kromě toho plní ještě další úkoly. Zesilovače můžeme dělit podle mnoha hledisek. Podle formy signálu je můžeme dělit na *spojité* a *nespojité* (spínače, stykače apod.), podle funkce na *zesilovače měřených hodnot*, *operační*, *výkonové zesilovače*, podle druhu energie na *elektrické*, *pneumatické*, *hydraulické zesilovače* apod., podle dynamických vlastností na *spojité*, *nízkofrekvenční*, *vysokofrekvenční*, *širokopásmové zesilovače*, podle vstupu na *symetrické* a *nesymetrické zesilovače*, podle vlastností výstupu opět na *symetrické* a *nesymetrické*, podle statických vlastností na *lineární* a *nelineární*, podle konstrukce (významné hlavně u elektrických zesilovačů) na *elektronkové*, *tranzistorové*, *integrované*, *tyristorové*, *magnetické* (transduktory), *rotační* (Leonardovo soustrojí apod.) atd.

Výsledné vlastnosti zesilovačů jsou dány kromě vlastního konstrukčního či technologického pojetí zesilovací součástky *zpětnými vazbami*. Zpětné vazby umožňují ovlivnit tyto vlastnosti zesilovače: stabilitu, zesílení, impedanci, dynamické vlastnosti (frekvenční charakteristiku) a linearitu. Důležitým údajem o zesilovačích je hodnota tzv. *ztrátového výkonu* P_{tot} , který se při práci zesilovače přemění v teplo. Toto teplo je třeba odvést nejen z vlastní součástky, ale z celého prostoru, ve kterém zesilovač pracuje, aby nedošlo ke stoupnutí teploty, a tím k poruše zesilovače.

U elektronických víceúrovňových zesilovačů lze ovlivnit některé vlastnosti zesilovače *vazbou mezi jednotlivými zesilovacími stupni*.

Tyto vazby se také používají na vstupech a výstupech zesilovačů k připojení spolupracujících zařízení. V zásadě lze tyto vazby rozdělit na vazby galvanické a na vazby s galvanickým oddělením. Vazba s galvanickým oddělením se od vazby galvanické liší tím, že k přenosu signálu je použita transformace na jiný typ energie než elektrické (např. elektromagnetické nebo optické).



Obr. 22 Vazby mezi zesilovacími stupni zesilovače nebo elektrickými obvody

a) vazba transformátorová, b) vazba přímá (galvanická), c) vazba odporová, d) vazba optoelektronická

Nejdůležitějšími představiteli těchto vazeb jsou vazba přímá, odporová, transformátorová a optoelektronická (Obr. 22). Vazba transformátorová a optoelektronická patří mezi vazby s galvanickým oddělením. U vazby transformátorové se přenos realizuje pomocí elektromagnetické energie, u optoelektronické vazby se využívá světla světelné emisní diody a fotorezistoru. Tato vazba má kromě jiných předností i tu, že umožňuje přenos signálu pouze jedním směrem.

7.3.3 Operační zesilovače

Operační zesilovače jsou základní aktivní součástkou obvodů pro zpracování analogového signálu. Požadované funkce se dosáhne vhodnou zpětnou vazbou a dalšími obvody. Kvalita elektronických operačních zesilovačů, která rozhoduje o tom, jak dokonale bude splněna funkce celého obvodu, je určena těmito hlavními parametry zesilovače:

- *napětovým* zesílením, které je určeno poměrem velikostí změn výstupního a vstupního signálu samotného zesilovače bez rezistorů zpětné vazby;
- *teplotním* i *časovým driftem*, který udává samovolnou změnu výstupního signálu způsobenou změnou okolní teploty nebo vlivem času;
- *potlačením soufázového signálu*, které udává vliv změny absolutní velikosti vstupních signálů u_1 a u_2 při jejich stejném rozdílu ($u_1 - u_2$) na změnu výstupního signálu u_v ;
- *citlivostí na změnu napájecích napětí*, která udává vliv změny napájecích napětí (přičemž změna jejich symetrie má obvykle větší vliv než současná změna jejich velikosti) na změnu napětí výstupního;
- *mezní frekvencí*, při které je napětové zesílení zesilovače rovno jedné;
- *ztrátovým výkonem*, který rozhoduje o zatížitelnosti zesilovače;
- *napájecím napětím a příkonem*, které rozhodují o jeho vlastní spotřebě a o velikosti napájecího zdroje, pokud zesilovač není výkonově zatěžován, což je častý případ u operačních zesilovačů;
- *velikostí vstupního odporu* (který má být velký) a *výstupního odporu* (který má být malý)

U operačních zesilovačů je zvykem, že se všechny chyby vztahují na jeho vstupní svorky (vstupní signály). Je-li např. u zesilovače uveden teplotní drift $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, znamená to, že při změně okolní teploty o $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ musíme přivést na vstup zesilovače napětí $100\text{ }\mu\text{V}$, aby výstupní signál zůstal stálý.

Dnes není možné zkonstruovat zesilovač, který by měl všechny uvedené parametry špičkové. Naštěstí se kromě prvních tří parametrů, které jsou vždy důležité, uplatňují v různé míře další parametry operačních zesilovačů podle jejich skutečného použití. Proto se dnes vyrábí několik desítek základních typů operačních zesilovačů, které jsou více či méně

specializovány pro určité funkce. V regulační technice je lze rozdělit přibližně do těchto hlavních skupin:

- operační zesilovače s malým driftem pro zesilování malých napětí a proudů (jsou obvykle poměrně pomalé),
- operační zesilovače s vysokým vstupním odporem pro zesilování signálů ze zdrojů s velkým vnitřním odporem a pro použití v obvodech s časově závislými zpětnými vazbami s dlouhými časovými konstantami,
- rychlé operační zesilovače, které se používají jako komparátory pro porovnávání velikostí dvou napětí v rychlých analogově číslicových a číslicově analogových převodnících apod.

Podle charakteru vstupního a výstupního signálu rozeznáváme:

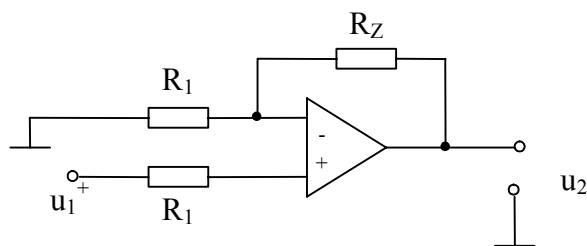
- zesilovače napětí, u kterých jsou vstupními i výstupními signály elektrická napětí;
- zesilovače proudů, u kterých jsou vstupními i výstupními signály elektrické proudy;
- zesilovače (převodníky) proudu na napětí;
- zesilovače (převodníky) napětí na proud.

Požadované funkce se dosáhne vhodným zapojením zpětnovazebních rezistorů. Operační zesilovače se nejčastěji používají pro zesilování napětí, často se používají i zesilovače se vstupním napětíovým a výstupním proudovým signálem, zejména jako koncové stupně přístrojů s proudovým signálem na výstupu. Protože výstupní výkon operačních zesilovačů je pro tyto účely často nedostatečný, doplňuje se zesilovač koncovým tranzistorem.

Základní zapojení s operačními zesilovači (OZ):

1) Neinvertující zesilovač:

- vhodný pro vysokoimpedanční napětíové zdroje

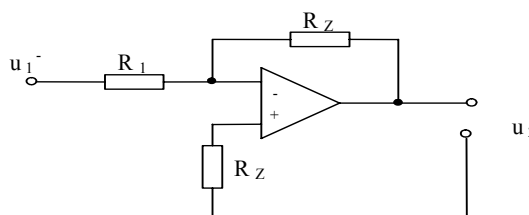


Obr. 23 Neinvertující zesilovač

Výstupní napětí je dáno vztahem:
$$u_2 = u_1^+ \left(1 + \frac{R_Z}{R_1} \right) \quad (18)$$

2) Invertující zesilovač:

- mění nám znaménko výstupního signálu
- snižuje nám vstupní impedanci

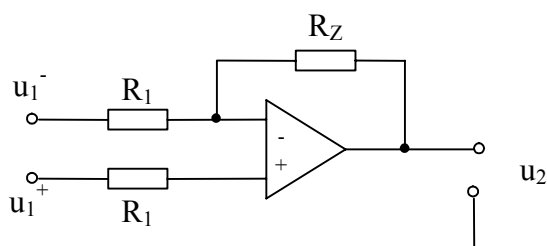


Obr. 24 Invertující zesilovač

Výstupní napětí je dáno vztahem:
$$u_2 = -\frac{R_Z}{R_1} u_1^- \quad (19)$$

3) Diferenční

- zesiluje diferenci (rozdíl napětí)

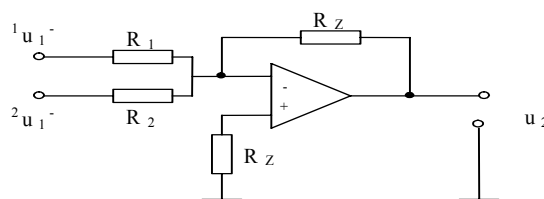


Obr. 25 Diferenční zesilovač

Výstupní napětí je dáno vztahem:
$$u_2 = \frac{R_Z}{R_1} (u_1^+ - u_1^-) \quad (20)$$

4) Sumátor

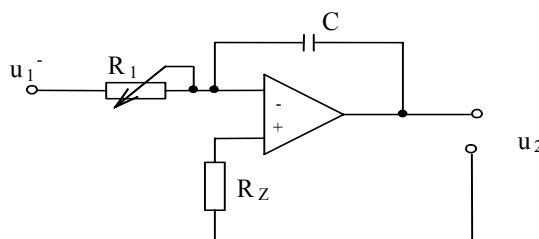
- sčítání napětí



Obr. 26 Sumátor

$$\text{Výstupní napětí je dáno vztahem: } u_2 = -\left(\frac{R_Z}{R_1} u_1^- + \frac{R_Z}{R_2} u_2^-\right) \quad (21)$$

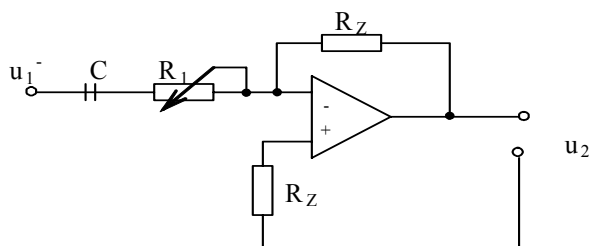
5) Integrátor



Obr. 27 Integrátor

$$\text{Výstupní napětí je dáno vztahem: } u_2 = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_1^-(\tau) d\tau \quad (22)$$

6) Derivátor



Obr. 28 Derivátor

$$\text{Výstupní napětí je dáno vztahem: } u_2 = -\frac{du_1^-}{dt} \cdot \frac{R_Z}{R_1} \cdot C \quad (23)$$

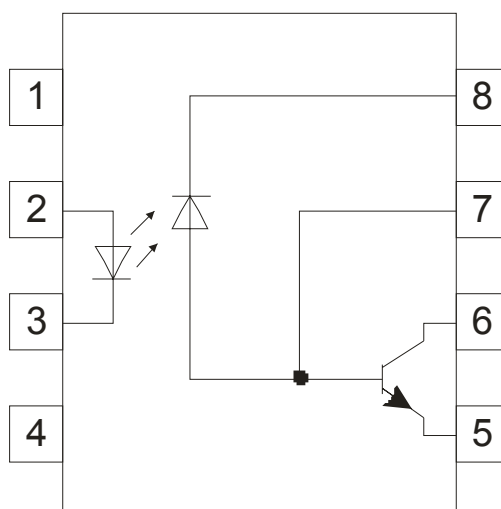
Jak je patrné, lze prostřednictvím operačních zesilovačů realizovat funkci regulátoru PID nebo kterékoliv jeho složky, lze rovněž ukázat vhodnost operačních zesilovačů pro funkce:

sčítačky, odečítačky, násobičky analogových signálů a dalších obvodů uskutečňujících matematické operace.

7.3.4 Oddělovací zesilovače

Oddělovací zesilovače mají za úkol oddělit dva obvody tak, aby přenos informace byl možný pouze jedním směrem. Svými vlastnostmi se podobají operačním zesilovačům. Jejich použitím se obvody jimi oddělené nemohou zpětně ovlivňovat. Výsledný přenos není tudíž zatížen chybami zpětného, ovlivnění a platí pravidla algebry přenosů.

Dokonalými oddělovacími zesilovači jsou optoelektronické vazební členy, které se používají pouze pro nespojitě signály, nejčastěji k oddělení periferních obvodů od centrálních jednotek (Obr. 29).



Obr. 29 Optoelektronický oddělovací člen HP 6N135

7.3.5 Výkonové zesilovače

Výkonové zesilovače mají za úkol zesílit signál tak, aby jeho výkon byl dostatečný pro přenos nebo pro ovládání koncového zařízení (spojitě nebo nespojitě) nebo pro ukazování či zápis. Typické jsou např. výkonové zesilovače pro zesílení signálu operačních zesilovačů, zesilovače pro servopohony, pro ovládání relé, stykačů, solenoidových ventilů apod. Zesilovače mohou být podle účelu spojité nebo nespojitě. Nespojitě zesilovače mohou ovládat podstatně vyšší výkony.

7.3.5.1 Elektrické výkonové zesilovače

Elektrické výkonové zesilovače jsou *elektromechanické, elektronické a magnetické*. Jejich zesílení $A = 10$ až 10^5 .

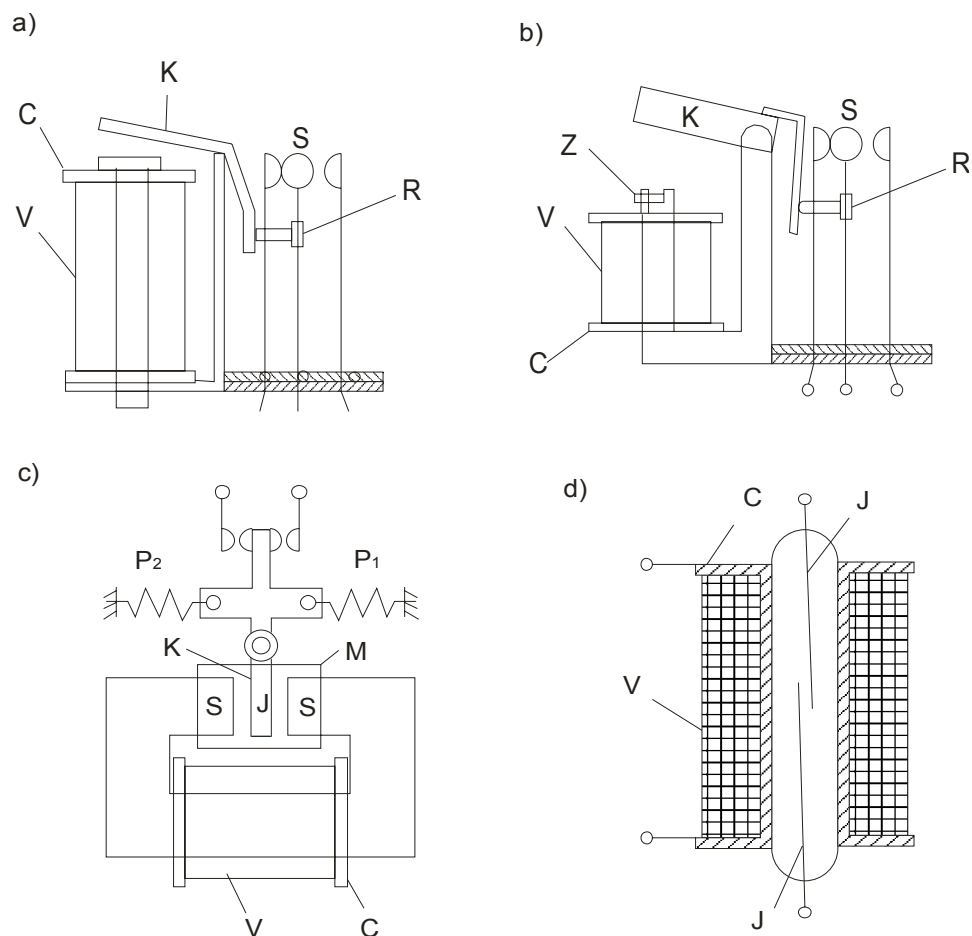
A. Elektromechanické zesilovače se dělí na elektromechanická relé a točivé zesilovače.

a) Elektromechanická relé jsou nejjednodušší dvoupolohové elektrické zesilovače. Zesílení signálu se podle Obr. 31 dosahuje proto, že pro ovládání cívky stačí poměrně malé napětí U_1 a proud I_1 zatímco kontakty relé jsou schopné spínat v obvodu spotřebiče mnohem větší napětí U_2 a proud I_2 . Výkonové zesílení je pak

$$A = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} = \frac{220 * 6}{24 * 0,3} = 183 \quad (24)$$

U nejcitlivějších relé bývá toto zesílení až několik tisíc

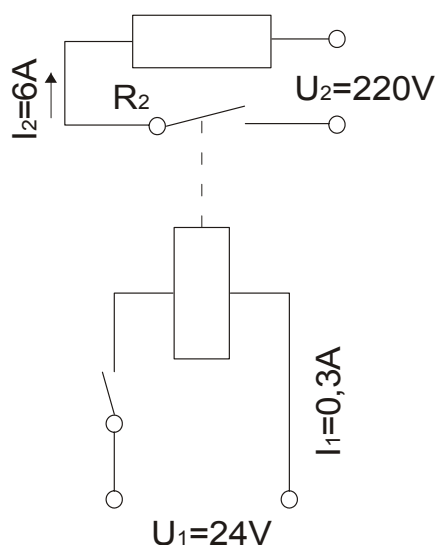
Podle druhu ovládacího proudu cívky se relé dělí na *stejnoseměrná* a *střídavá*, která se od sebe liší konstrukcí magnetického obvodu. Podle konstrukce se pak relé dělí na *elektromagnetická, polarizovaná, magnetoelektrická* apod. Na obrázku (Obr. 30a) je příklad elektromagnetického relé stejnosměrného a na obrázku (Obr. 30b) střídavého.



Obr. 30 Různé typy elektromechanických relé

a) elektromagnetické stejnosměrné, b) elektromagnetické. střídavé, c) stejnosměrné polarizované, d) jazýčkové

S - svazek kontaktů, K - kotva, C, V – kostra a vinutí cívky, Z - závit nakrátko, P - pružiny, M – trvalý magnet, J - jazýčky, B - baňka, R - izolační rozpěrka



Obr. 31 Reléový zesilovač

Skládají se z elektromagnetu, kotvy a svazku kontaktů. Při průchodu proudem cívkou elektromagnetu se pohyblivá kotva K přitáhne k jádru a současně přes izolační rozpěrku spojí kontakty. U stejnosměrného relé je jádro, kotva i **jho** z plného materiálu, u střídavého relé je magnetický obvod složen z tenkých plechů pro omezení vířivých proudů. Aby se kotva vlivem střídavé magnetizace nechvěla, má jádro závit nakrátko Z, který vlivem fázového posunutí indukovaného proudů udržuje magnetický tok, i když hodnota proudů prochází nulou.

Napětí, při kterém relé zapíná, je vždy větší než napětí, při kterém vypíná, protože v zapnutém stavu má magnetický obvod menší magnetický odpor vlivem menší vzduchové mezery, a proto pro dosažení magnetického toku nutného pro udržení kotvy v přitažené poloze postačí menší proud a tím i napětí na cívce. Poměr obou napětí se nazývá *přidržený poměr*, bývá asi 0,8 a zamezuje vypínání zapnutého relé při malém kolísání napětí na cívce.

K elektromagnetickým relé patří i *jazyčkové relé*, u něhož (Obr. 30d) magnetické pole cívky napájené stejnosměrným proudem působí na dva permalloyové pásy zatavené v protilehlých koncích skleněné baňky s ochrannou atmosférou. Oba pásy (jazyčky) se na svých koncích překrývají a je mezi nimi malá vzduchová mezera. Konce jazyčků jsou upraveny např. pozlacením jako kontakty. Zapnutím proudů do cívky se pásy k sobě přitlačí, vypnutím proudů se opět vlastní pružností od sebe oddělí. Relé vyniká malými rozměry, velkou životností i vysokou spolehlivostí. Do jedné baňky lze umístit i více kontaktních dvojic.

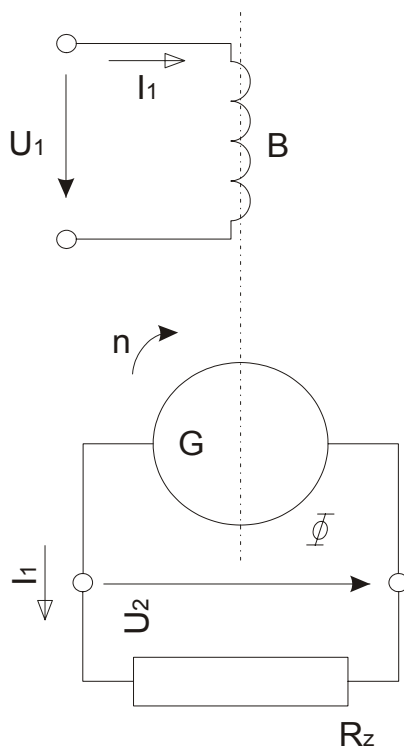
Na obrázku (Obr. 30c) je tzv. *polarizované relé*, které má pomocí trvalého magnetu M předmagnetizovány (polarizovány) kotvu a pólové nástavce. Působí-li na kotvu řídicí síla pružin P_1 a P_2 , může být kotva v klidovém stavu uprostřed mezi kontakty a podle polarity proudů v cívce se pak překládá na jednu nebo druhou stranu. Bez těchto pružin je klidová poloha kotvy v jedné z krajních poloh. Výhodou relé na (Obr. 30c) je mžikové zapnutí a vypnutí, které brání opalování kontaktů.

b) Točivé zesilovače se používají hlavně k regulaci otáček elektromotorů velkých výkonů, u obráběcích strojů a ve válcovnách ocele.

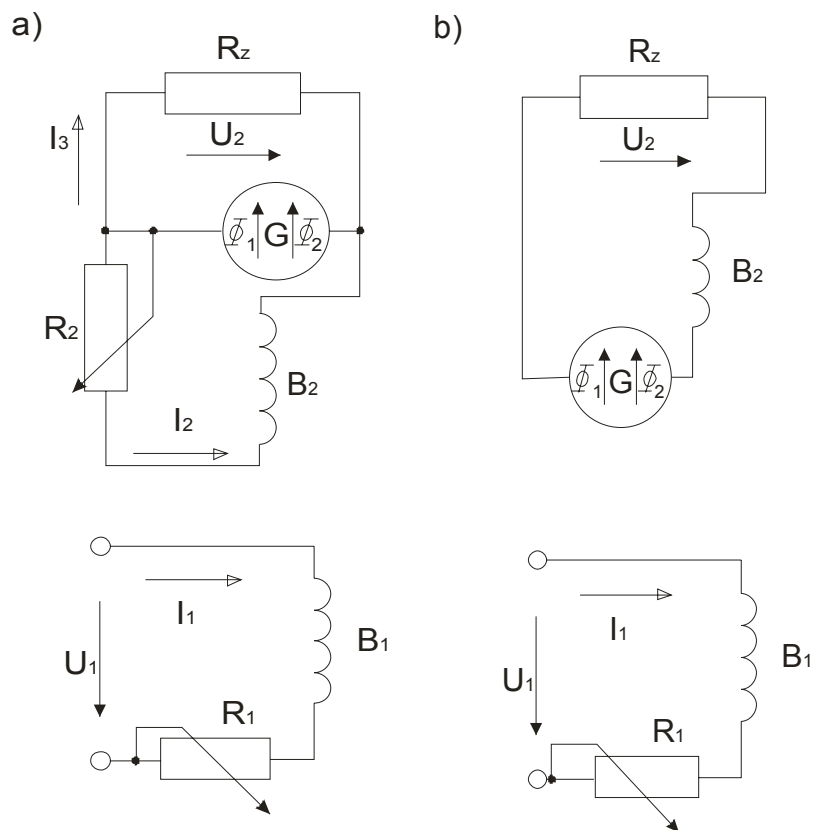
Nejjednodušším zesilovačem je *dynamo s cizím buzením*. Podle obrázku (Obr. 32) je výkon dynama $U_1 I_1$ v určitých mezích úměrný budicímu výkonu $U_2 I_2$. Činitel úměrnosti (zesílení) je asi 100. Pro zvětšení tohoto zesílení se dynamo opatří dalším budicím vinutím

B_2 , které se připojí buď paralelně, nebo sériově ke kotvě, a vznikne tak podle obrázku (Obr. 33) rotační zesilovač s vlastním buzením, který se nazývá *regulex*, je-li přídavné budicí vinutí připojeno ke kotvě paralelně, nebo *rototrol*, je-li připojeno v sérii.

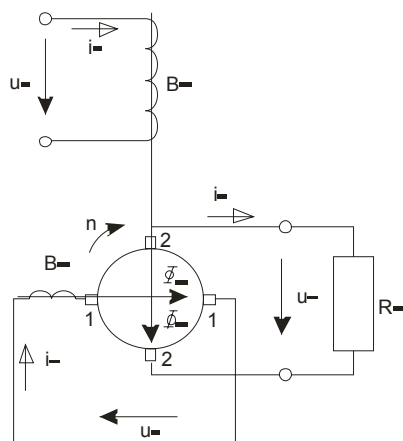
Zvětšení zesílení se dosáhne také dvěma stupni - zařazením dvou dynam do série. Nevýhodou je velká cena dvou strojů a velký obestavěný prostor. Dva zesilovací stupně v jednom stroji uskutečňuje točivý zesilovač *amplidyn* podle obrázku (Obr. 34).



Obr. 32 Dynamo s cizím buzením jako zesilovač

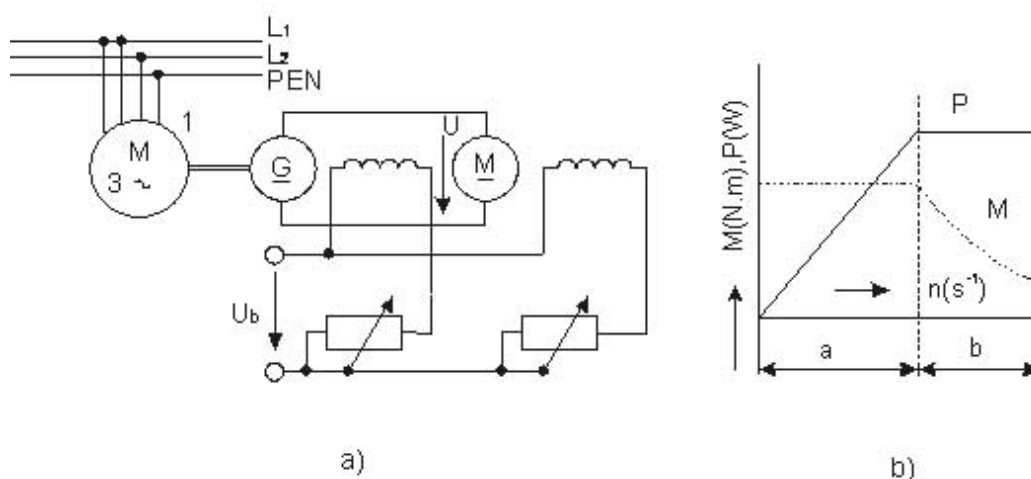


Obr. 33 Zesilovače s vlastním buzením: a) regulex, b) rototrol



Obr. 34 Amplidyn

Budicí proud i_1 vytváří v kotvě magnetický tok Φ_1 , který indukuje do otáčející se kotvy napětí u_2 na kartáčích 1. Na toto napětí je připojeno další budící vinutí B_2 , ve kterém vlivem proudu i_2 vznikne magnetický tok Φ_2 . Tento tok indukuje v téže kotvě napětí u_3 na kartáčích 2, které způsobí vznik proudu i_3 v zátěži R_z . Výstupní výkon $u_3 i_3$ bývá až 10 000krát větší než příkon $u_1 i_1$. Výkon bývá několik desítek kilowattů.



Obr. 35 Schéma Ward-Leonardova soustrojí

a) schéma soustrojí, b) diagram regulace otáček 1 - trojfázový elektromotor; 2 - dynamo; 3 - stejnosměrný motor s cizím buzením; M - krouticí moment, P - výkon, n - otáčky motoru 3; U - napětí kotvy; U_b - budicí napětí

Dalším typem točivého zesilovače je *Ward-Leonardovo soustrojí* (Obr. 35). Na rozdíl od předchozích typů točivých zesilovačů není výstupním signálem tohoto zesilovače elektrický signál, ale signály mechanické - otáčky a krouticí moment. Soustrojí se proto používá přímo k pohonu strojů s proměnnými otáčkami nebo proměnnou rychlostí. Soustrojí se skládá z motorgenerátoru, který má poháněcí trojfázový elektromotor 1 a dynamo 2. Poháněným strojem je stejnosměrný elektromotor 3 s cizím buzením. Oblast regulace otáček se skládá podle Obr. 35b ze dvou úseků. V prvním úseku (a) se otáčky regulují buzením dynama 2, přičemž se elektromotor 3 budí maximálním proudem. V této oblasti se mění výstupní napětí U dynama 2, a tím i otáčky a výkon poháněcího motoru 3, zatímco krouticí moment motoru 3 zůstává vlivem stálého buzení motoru 3 konstantní. Ve druhém úseku (b) se otáčky zvyšují zmenšováním budicího proudu motoru 3. Moment motoru proto klesá, zatímco jeho výkon zůstává konstantní.

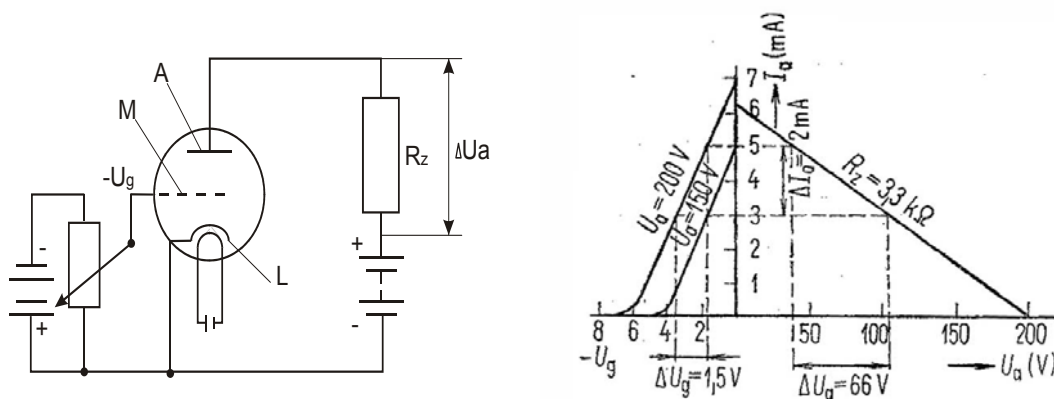
U točivých zesilovačů se využívá pouze prosté zesílení. Jako regulátory mají proto pouze proporcionální funkci. V současné době jsou však stále častěji nahrazovány polovodičovými zesilovači s tyristory a triaky.

B. Elektronické zesilovače můžeme podle druhu zesilovacích součástek rozdělit na elektronkové a polovodičové.

a) **Elektronkové zesilovače** používají jako aktivních zesilovacích součástek vakuových elektronek. Podle druhu napětí nebo proudu, které zesilují, je dělíme na *stejnoseměrné* a *střídavé*.

Nejjednodušší zesilovací elektronkou je *trioda*, která má tři elektrody. Žhavená katoda teplem uvolňuje (emituje) elektrony, ty jsou přitahovány anodou připojenou podle Obr. 36 na zdroj, anodového napětí. Elektronům stojí v cestě řídicí mřížka, která část elektronů odpuzuje zpět směrem ke katodě, protože je připojena na mřížkové napětí, které je pólováno obráceně než napětí anodové.

Charakteristika triody je na Obr. 36, kde je současně znázorněn i princip zesílení. Anodový proud I_a je tím větší, čím je větší anodové napětí a čím je menší záporné mřížkové napětí (předpětí). Změna mřížkového napětí U_g o velikosti několika voltů, jehož záporný pól je připojen k mřížce a kladný ke katodě, vyvolá proto i změnu anodového proudu. Poměr velikosti změny anodového proudu k velikosti změny mřížkového napětí, kterým byla tato změna vyvolána, se nazývá *strmost* elektronky a bývá několik miliampérů na volt. Anodové napětí velikosti několika desítek až několika stovek voltů je kladným pólem připojeno k anodě, záporným ke katodě.

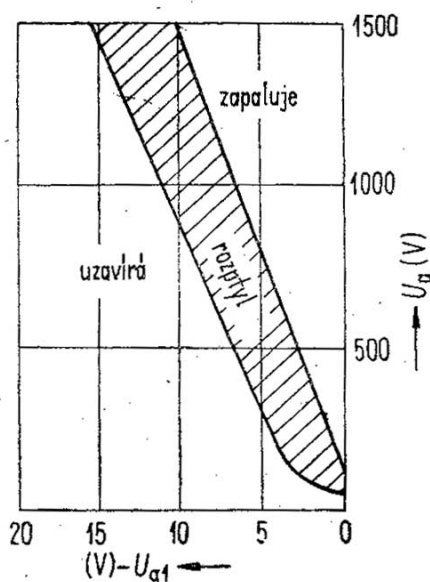


Obr. 36 Schéma zapojení elektronkového zesilovače a jeho charakteristika

Elektronka je proto řízena napětím na mřížce. Zapojíme-li do anodového obvodu zatěžovací rezistor s velkým odporem R_z , vyvolá na něm změna proudu ΔI_a změnu napětí ΔU_a , která je několikanásobně větší než změna napětí ΔU_g .

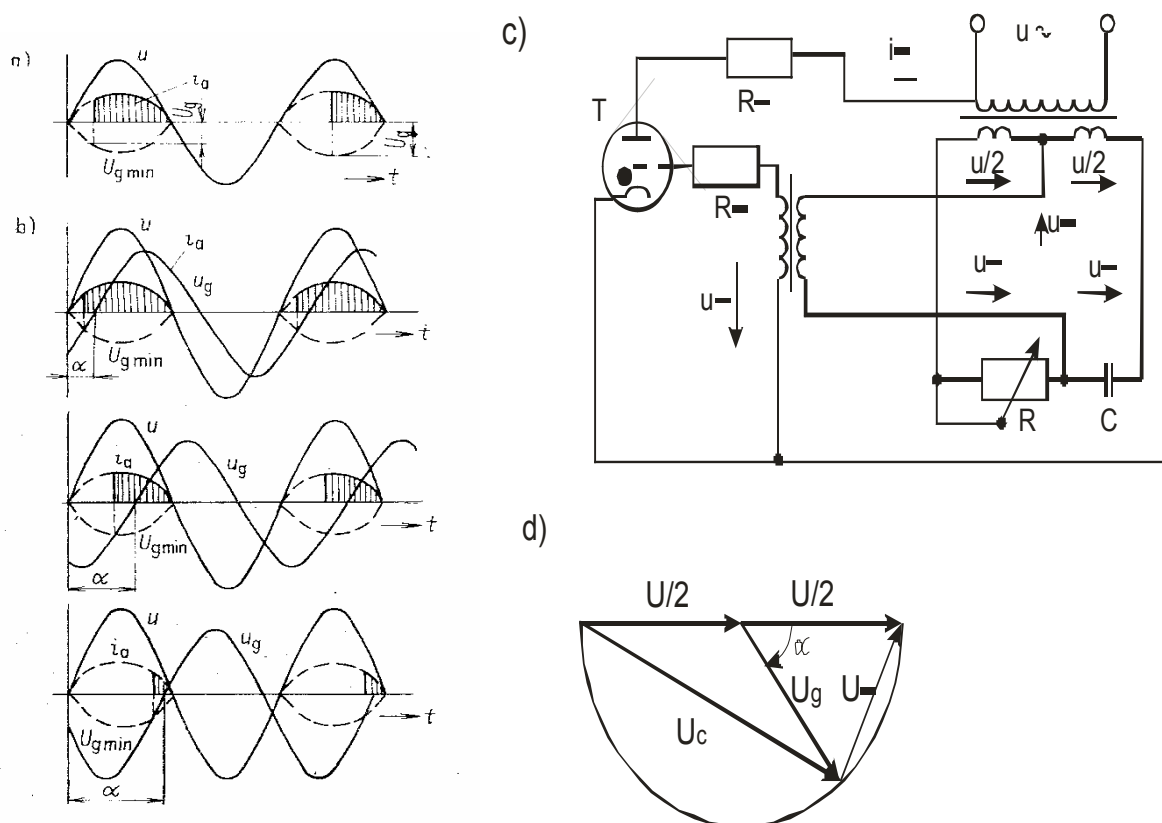
Mezi elektronky patří i tyratrony. Na rozdíl od elektronek používaných k zesilování napětí se tyratrony uplatňují při řízení velkých proudů a výkonů. Baňka tyratronu se po vyčerpání

vzduchu naplní některým ze vzácných plynů nebo parami rtuti. Plynová náplň dává tyratronu jiné vlastnosti, patrné ze zapalovací charakteristiky tyratronu na obrázku (Obr. 37).



Obr. 37 Zapalovací charakteristika tyratronu

Při snižování záporného předpětí mřížky se anodový proud nemění plynule, nýbrž při určitém mřížkovém předpětí tyratron náhle "zapálí" a anodovým obvodem prochází anodový proud mnohem větší než u vakuových elektronek, protože dochází k ionizaci plynové náplně tyratronu. Úbytek napětí na zapáleném tyratronu je asi 10 V, takže anodový proud je omezen pouze zatěžovacím rezistorem R_z . U zapáleného tyratronu již není možné ovlivnit velikost anodového proudu mřížkovým předpětím. Přerušení anodového proudu se proto dosáhne pouze přerušením anodového obvodu nebo poklesem anodového napětí na nulu. Proto se tyratron používá především pro řízení střídavého proudu, u kterého napětí klesne na nulu v každé půlperiodě. Tyratron se pak může použít k plynulému řízení střední hodnoty tyratronem usměrněného střídavého proudu, a to posunutím bodu zapálení tyratronu na sinusovce anodového napětí; posunutí se uskutečňuje změnou velikosti nebo fáze mřížkového předpětí.



Obr. 38 Různé způsoby řízení tyatronu

a) stejnosměrným mřížkovým předpětím, b) fázovým posunem střídavého mřížkového napětí, c) napájení mřížkového obvodu tyatronu z fázového můstku, d) fázorový diagram fázového můstku u , i_a - anodové napětí a proud, u_g - mřížkové předpětí

Řízení tyatronu změnou velikosti mřížkového předpětí je znázorněno na obrázku (Obr. 38a), ze kterého je patrné, že řízení je možné pouze v první čtvrtině sinusovky, protože ve druhé čtvrtině již tyatron hoří sám, takže změna proudu může být uskutečněna pouze v rozsahu od 50 do 100 %. Přesnějšího řízení proudu v rozsahu od nuly do 100 % se dosáhne podle obrázku (Obr. 38b) změnou fáze mřížkového napětí např. pomocí fázového můstku. Z fázového diagramu na obrázku (Obr. 38d) je patrné, že úhel α mřížkového napětí se může měnit téměř v mezích 0 až 180°, a zapálit tak tyatron v libovolném bodě celé první půlperiody sinusovky anodového napětí.

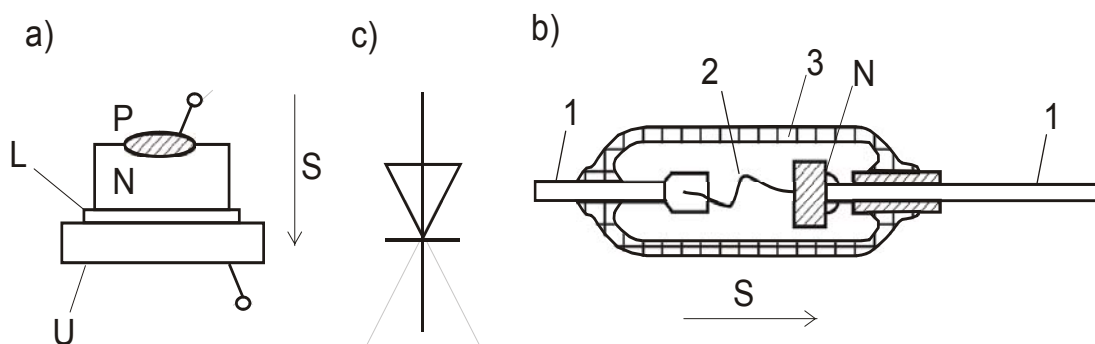
Výhodou elektronkových zesilovačů je velký vstupní odpor, který se uplatňuje hlavně při zpracování signálů ze snímačů vysokým vnitřním odporem, např. elektrod pro měření pH a ionizačních komor pro měření jaderného záření. Nevýhodou elektronek v porovnání s polovodiči je především nízká spolehlivost, omezená životnost a změny jejich parametrů,

které jsou způsobeny postupným zhoršováním vakua, vyčerpáním katody, popř. přerušením žhavicího vlákna katody. Vysoké napájecí napětí a žhavení katody kladou větší nároky na napájecí zdroj, způsobují velký ztrátový výkon, který se mění v teplo. To vše vyžaduje velký obestavěný prostor a znesnadňuje miniaturizaci elektronkových zařízení.

b) Polovodičové zesilovače používají polovodičové součástky - tranzistory a diody.

Polovodiče tvoří přechod mezi vodiči s velkou konduktivitou a izolanty s velmi malou konduktivitou. Polovodič vznikne přidáním určitých prvků do velmi čistého germania, křemíku aj., které samy o sobě mají malou elektrickou vodivost. Přidáním prvku s nadbytkem volných elektronů dostaneme polovodič s vodivostí N (negativní, způsobenou pohybem volných elektronů), přidáním prvku, který ve své krystalové mřížce má neobsazená místa pro elektrony, získáme polovodič s vodivostí P (pozitivní, způsobenou pohybem elektronů krystalické mřížky). Oblasti vodivosti P i N se vytvářejí na jedné germaniové nebo křemíkové destičce (substrátu).

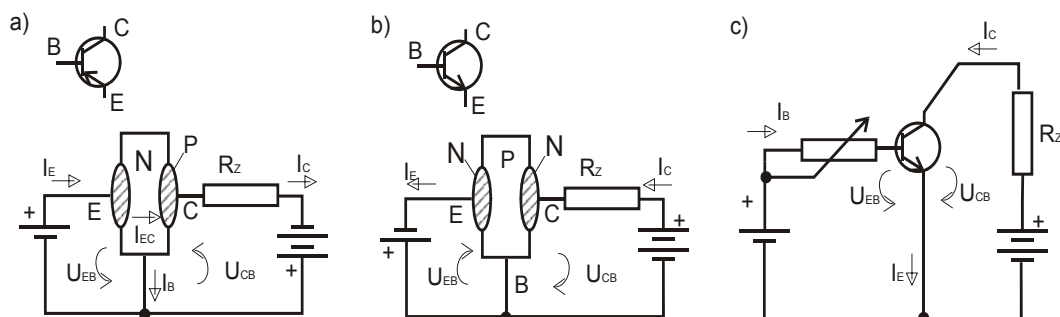
Při styku oblasti P a oblasti N vznikne na přechodu usměrňovací efekt, který je základem funkce polovodičové *usměrňovací diody* na Obr. 39. Elektrony při tom přecházejí z oblasti N do oblasti P, takže v tzv. *přímém směru* má dioda malý odpor, v opačném *zpětném směru* velký odpor.



Obr. 39 Polovodičové usměrňovací diody a jejich schematická značka

a) plošná dioda, b) hrotová dioda, c) schematická značka

N, P - oblasti vodivosti (germanium, indium), L - antimonová pájka, U - kovová podložka, S - přímý směr, 1 - přívody, 2 - skleněné pouzdro, 3 - wolframový drát



Obr. 40 Různé typy tranzistorů a jejich schématické značky a zapojení

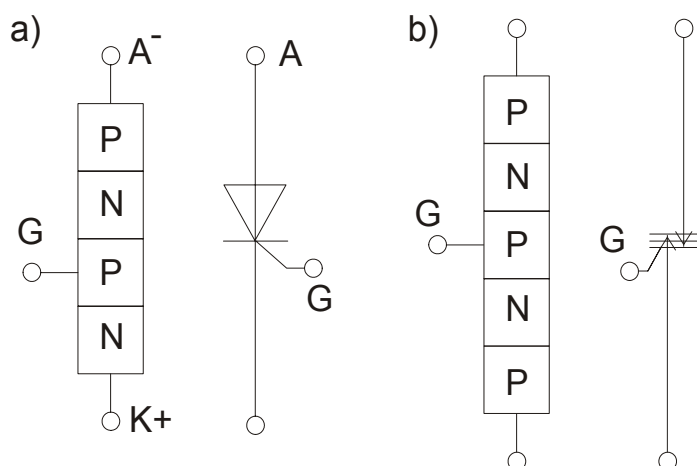
a) tranzistor PNP, b) tranzistor NPN, c) zapojení tranzistoru NPN,

P, N - oblasti vodivosti, E - emitor, C - kolektor, B - báze, U_{EB} - napětí emitor-báze, U_{CB} - napětí kolektor-báze, U_{CE} - napětí kolektor-emitor, I_E , I_B , I_C - proud emitoru, báze a kolektoru, I_{EC} - proud tekoucí z emitoru do kolektoru

Jsou-li oblasti P a N uspořádány podle Obr. 40, vznikne zesilovací součástka - *tranzistor* PNP nebo NPN, který má tři elektrody: bázi B, emitor E a kolektor C. Tranzistor je možné zapojit se společnou bází, emitorem nebo kolektorem. Nejčastěji se zapojuje se společným emitorem podle Obr. 40, kdy jsou jeho zapojení i funkce porovnatelné se zapojením vakuové triody. Zesílení tranzistoru vzniká tím, že malý proud, který proudí do báze vlivem napětí U_{EB} , vyvolá úměrně velký proud mezi kolektorem a emitorem zapojenými v obvodu napětí U_{CE} společně se zatěžovacím rezistorem R_Z . Tranzistor je proto řízen proudem do báze. Proudové zesílení tranzistoru, které se označuje h_{21} nebo β a bývá několik desítek až několik stovek, se nazývá *proudový zesilovací činitel*.

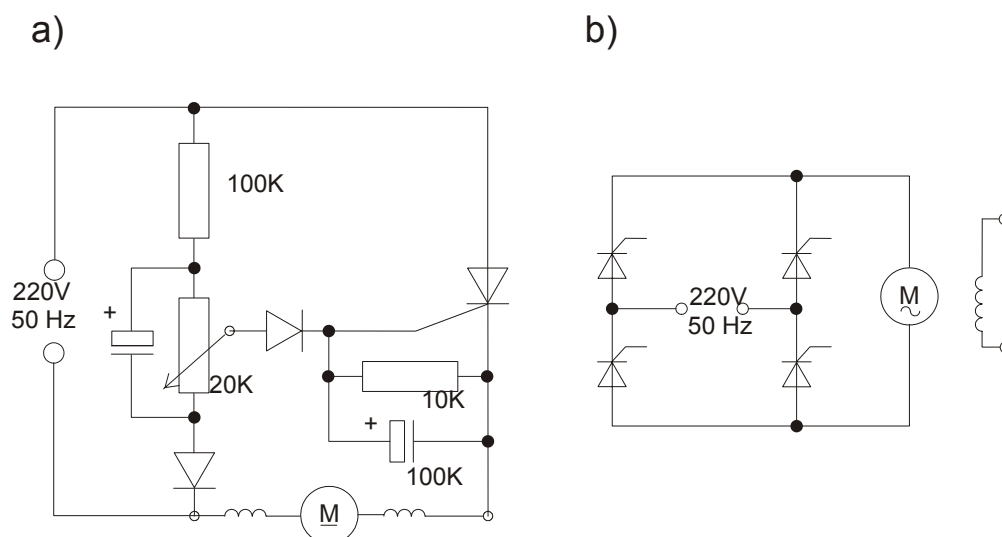
Diody i tranzistory jsou tedy germaniové nebo křemíkové podle materiálu substrátu. Pro automatizační prostředky se vesměs používají křemíkové polovodiče, protože mohou pracovat při vyšší okolní teplotě i přes 100 °C, a proto jsou spolehlivější. Nejvyšší teplota okolí je omezena teplotou vlastního substrátu, která může být u křemíku až 200 °C, kdežto u germania pouze 90 °C.

Proti elektronkám mají tranzistory výhodu ve vyšší spolehlivosti, v mnohem menších rozměrech, v malém ztrátovém výkonu, protože nepotřebují žhavení, v menším pracovním napětí a v nižší ceně. Nevýhodou tranzistorů proti elektronkám je malý vstupní odpor (kromě zvláštních typů), větší změna jejich vlastností s teplotou a větší zpoždění (opět kromě zvláštních typů).



Obr. 41 polovodičové spínače

a) tyristor, b) triak



Obr. 42 Využití tyristoru pro řízení otáček univerzálních elektromotorku

a) v jednoduchém zapojení, b) v můstkovém zapojení

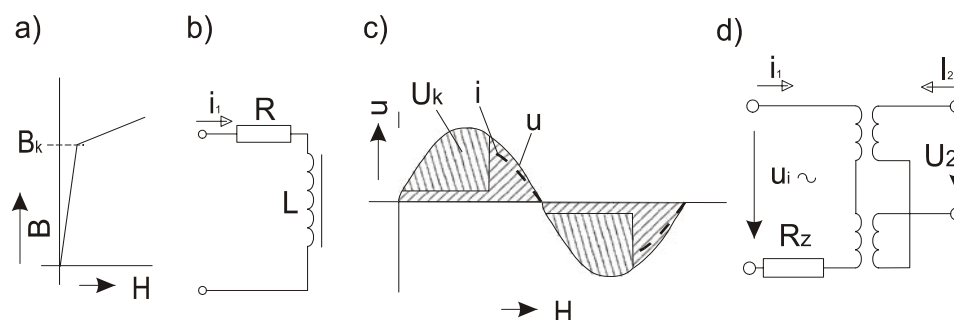
Jsou-li polovodičové oblasti P a N zařazeny do série podle Obr. 41a, vzniká *tyristor*. Z obrázku je patrné, že to jsou dvě diody zapojené proti sobě, takže mají v obou směrech mezi anodou A a katodou K velký odpor. Přivedením napětí na třetí elektrodu G klesne odpor v přímém směru jako u dvou plošných diod zapojených v sérii a zůstane velký odpor ve zpětném směru (tzv. *zpětně závěrný tyristor*). Pokud proud procházející tyristorem neklesne pod hodnotu tzv. *vratného proudu*, nezanikne ani při poklesu napětí na elektrodě G na nulu. Tyristor "zhasne" (přejde z *propustného* do *blokovacího stavu*) pouze při poklesu tohoto proudu (vlivem poklesu anodového napětí) pod hodnotu vratného proudu nebo krátkodobým přepólováním anodového napětí.

Tyristor se proto chová jako tyratron, který jsme již poznali, má však proti němu určité přednosti. Jsou to: velký rozsah spínaných napětí od 20 V do 1000 V i více, rozsah spínaného proudu od 1 A do několika stovek ampérů, větší účinnost, menší úbytek napětí, kratší spínací doba, velké rozmezí pracovních teplot, okamžitá schopnost provozu - odpadá žhavení, velká spolehlivost, malé rozměry i hmotnost.

Tyristory se používají pro řízení stejnosměrného proudu, nejčastěji však jako řízené usměrňovače střídavého proudu, které přecházejí z propustného do blokovacího stavu při každém průchodu napětí, nulou a znovu se "zapalují" jedním nebo více impulsy. V této funkci je možné je použít i pro regulaci otáček univerzálních elektromotorků, např. podle Obr. 42a. Protože proud motorkem má v tomto zapojení nejvýše polovinu efektivní hodnoty střídavého proudu, používá se často podle Obr. 42b můstkové zapojení čtyř tyristorů, využívajícího řízení proudu v obou polaritách, a to zejména pro velké proudy a výkony.

Souměrným řazením oblastí P a N podle Obr. 42 vznikne souměrný polovodičový spínač neboli *triak*. Vzhledem ke své symetrii spíná při přivedení řídicího napětí na třetí elektrodu G proud - v obou směrech. Proto se používá pro řízení velikosti střídavého proudu, hlavně pro regulaci otáček sériových střídavých elektromotorků, pro regulaci osvětlení atd. Schéma zapojení je podobné jako na Obr. 42a, zátěží však prochází střídavý proud.

Společnou nevýhodou tyristorů i triaků danou velkou rychlostí jejich spínání je ostrá hrana průběhu spínaného proudu, která v napájecí síti vyvolává velký obsah vyšších harmonických, a tím i rušení rozhlasového a televizního vysílání i různých jiných zařízení připojených na síť. Proto se tyristorová a triaková zařízení opatřují filtry nebo se používá zvláštní zapojení řídicího obvodu, které spíná triak pouze při průchodu napětí nulou. Tím se velikost střídavého proudu řídí spínáním celých period. Zapojení řídicího obvodu je však poměrně složité, a proto se vyrábí jako integrovaný obvod.



Obr. 43 Zapojení magnetických zesilovačů

a) magnetizační křivka, b) přesytka, c) průběh proudu a napětí přesytkou, d) kompenzace indukovaného napětí u dvou přesytek

C. Magnetické zesilovače řídí velikost proudu změnou indukční reaktance, a proto s větší účinností než při změně odporu např. u reostatů. Základem magnetických zesilovačů je *přesytka*, tj. tlumivka se železným jádrem ze speciálního materiálu, pracující částečně v oblasti přesycení. Její vlastnosti jsou znázorněny na Obr. 43. Je-li obvod složený z přesytky L a pracovního rezistoru R připojen na zdroj střídavého napětí u , pak při jeho sinusovém průběhu podle Obr. 43 nejprve prochází malý magnetizační proud. Při dalším průběhu napětí u materiál jádra dosáhne při tzv. kritickém napěťovém množství (které je dáno integrálem napětí podle času) bodu B_k na magnetizační křivce. Indukční reaktance přesytky prudce poklesne a proud v obvodu bude určen pouze okamžitou hodnotou napětí u a odporu R až do průchodu napětí nulou, kdy se celý pochod opakuje. Vidíme, že průběh řízeného proudu je podobný jako při řízení tyratronem a triakem.

U magnetických zesilovačů samo střídavé napětí u k přesycení jádra nestačí, a proto tlumivkou prochází zanedbatelný magnetizační proud. Aby došlo k přesycení, musí na jádro působit další magnetomotorické napětí. Toho se dosáhne dalším (řídícím) vinutím připojeným na zdroj stejnosměrného napětí U_2 . Řídícím vinutím prochází proud I_2 , jehož velikost určuje okamžik přesycení jádra, a tím i střední velikost pracovního proudu I_1 . Protože by se v řídícím vinutí (jako u transformátoru) indukovalo střídavé napětí, které by se přes zdroj napětí U_z uzavíralo nakrátko, používá se buď tlumivky, nebo dvou přesytek (Obr. 43d), jejichž řídící vinutí jsou zapojena v sérii proti sobě, takže napětí indukovaná v obou vinutích se navzájem ruší. Přesytka s tlumivkou v řídícím vinutí se nazývá *transduktor*. Popsaný magnetický zesilovač je zesilovač s tzv. nuceným buzením. Existují ještě jiná zapojení magnetických zesilovačů, která např. využívají kladné vnitřní zpětné vazby, a dosahují tak výkonového zesílení 10^4 až 10^6 .

Výhodou magnetických zesilovačů proti zesilovačům elektronickým je větší účinnost, jednoduchost, nízká cena (pro vyšší výkony), velká spolehlivost a životnost. Nevýhodou je velká hmotnost, velká spotřeba mědi nebo hliníku na vinutí, velké zkreslení sinusového průběhu proudu i_L , a tím vznikající velký počet harmonických a větší zpoždění, které (jak plyne z principu funkce) je nejméně jedna půlperioda. Proto se magnetické zesilovače pro rychlé obvody napájejí střídavým napětím s vyšší frekvencí, např. 400 Hz.

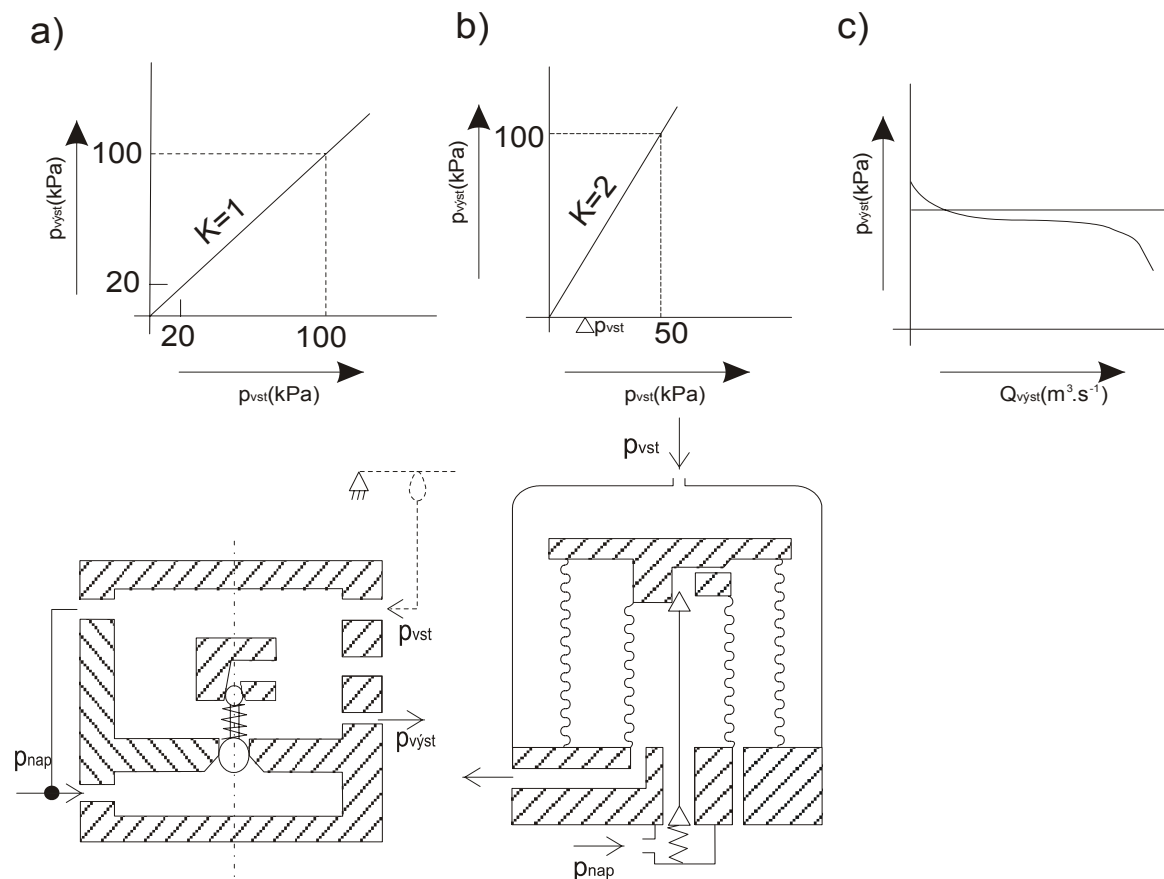
Pro svoje nevýhody ve velké hmotnosti, značných rozměrech a velké spotřebě vzácných kovů jsou magnetické zesilovače vytlačovány polovodičovými.

7.3.5.2 Pneumatické výkonové zesilovače

Pneumatické výkonové zesilovače se používají jednak pro výkonové zesílení všech signálů vystupujících ze systému klapka-tryska, jednak pro výkonové zesílení signálů pro pohony, především pístové (v tomto případě tvoří konstrukční celek s korektory). Nespojitě zesilovače se v konvenční pneumatické regulaci nepoužívají.

Výkonové zesilovače určené k zesilování výstupního signálu systému klapka-tryska lze rozdělit do dvou skupin, a to na:

- zesilovače s tlakovým zesílením rovným Jedné a průtokovým zesílením větším než 1,



Obr. 44 Pneumatické výkonové zesilovače

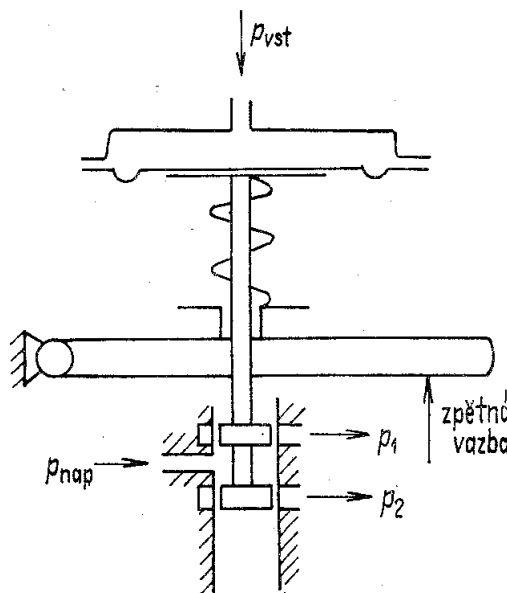
- a) membránový zesilovač, tlakové zesílení 1, zesílení průtoku až 10, statická charakteristika,
 b) vlnovcový zesilovač, tlakové zesílení až 20, zesílení průtoku až 20, statická charakteristika
 c) zatěžovací charakteristika výkonového zesilovače

- zesilovače s tlakovým i průtokovým zesílením větším než 1. Podstatné je, že rozsah výstupního signálu je u obou zesilovačů stejný, a to 20 až 100 kPa. Na obrázku (Obr. 44) jsou znázorněny konstrukce obou typů, přičemž ve verzi s tlakovým zesílením 1 jsou použity jako konstrukční prvek membrány, ve verzi se zesílením větším než 1 jsou použity vlnovce.

Průtok vzduchu u těchto zesilovačů je řádově několik desítek litrů za minutu a je dán charakteristikou dvoukuličkového či dvoukuželového ventilku, což obvykle postačuje požadavkům plnění potrubí i plnění komor menších membránových ventilů nebo přijímacích vlnovců přístrojů. Frekvence těchto systémů je maximálně asi do 10 Hz.

Výkonové zesilovače určené k napájení pohonů, především pístových, jsou obvykle tvořeny šoupátkem, které dává dostatečně velké zesílení průtoku, který je hlavním činitelem rozhodujícím o dynamice pohonu. Šoupátko dává rovněž diferenční výstupní

signál potřebný pro pístové pohony (Obr. 45). Tyto zesilovače také několikanásobně zvětšují i tlak výstupního signálu, který rozhoduje o ovládací síle pohonu. Tlakový rozsah výstupního signálu již není unifikovaný, ale je podstatně větší. Maximální frekvence se pohybuje řádově v hertzech.



Obr. 45 Pneumatický výkonový zesilovač se šoupátkem

Ve *fluidikových systémech* se obvykle výkonové zesilovače liší od ostatních typů především dostatečně dimenzovanými kanály, a to bez ohledu na to, zda jde o zesilovače spojité či nespojité. Jejich vnější vzhled je však na první pohled těžko rozeznatelný např. od operačního zesilovače. Maximální frekvence těchto zesilovačů je podstatně vyšší a pohybuje se ve stovkách hertzů až do několika kilohertzů. Dosahovaná zesílení jsou řádově 10^3 , dosahované výstupní výkony od několika wattů do několika kilowattů, podle typu a konstrukce.

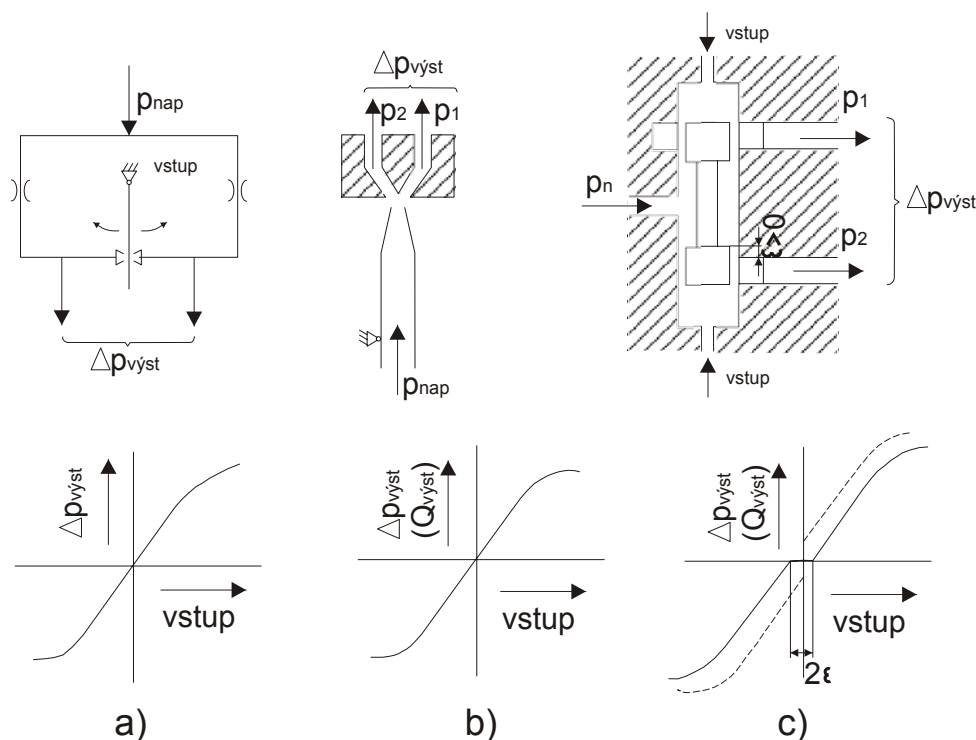
7.3.5.3 Hydraulické výkonové zesilovače

Hydraulické zesilovače jsou regulátory proudu kapaliny. Jejich provozní spolehlivost je nejméně taková jako u elektrických zesilovačů. Jejich stavební objem vztažený na výkon je podstatně menší a dosahuje $1 \cdot 10^{-3} \text{ N.W}^{-1}$ tíhy na jednotku výkonu. Tato hodnota se vztahuje zvláště na vysokotlakou hydrauliku, která dnes pracuje v rozmezí tlaků 20 až 40 MPa a v některých případech dosahuje hodnoty až 200 MPa.

Regulace proudu kapaliny se u základních systémů děje:

- a) škrcením - vytvořením tzv. servoventilu,
- b) regulací zdvihového objemu regulačních čerpadel,
- c) využitím hydrodynamických zákonů proudění (fluidika).

Dosahovaná výkonová zesílení se pohybují řádově až do 10^6 , takže např. výstupním signálem 50 mW je možné ovládat výstupní výkon 50 kW i více. Omezen je minimální výstupní výkon, který nemůže být menší než několik wattů.



Obr. 46 Hydraulické zesilovací členy (rozvody) s charakteristikami

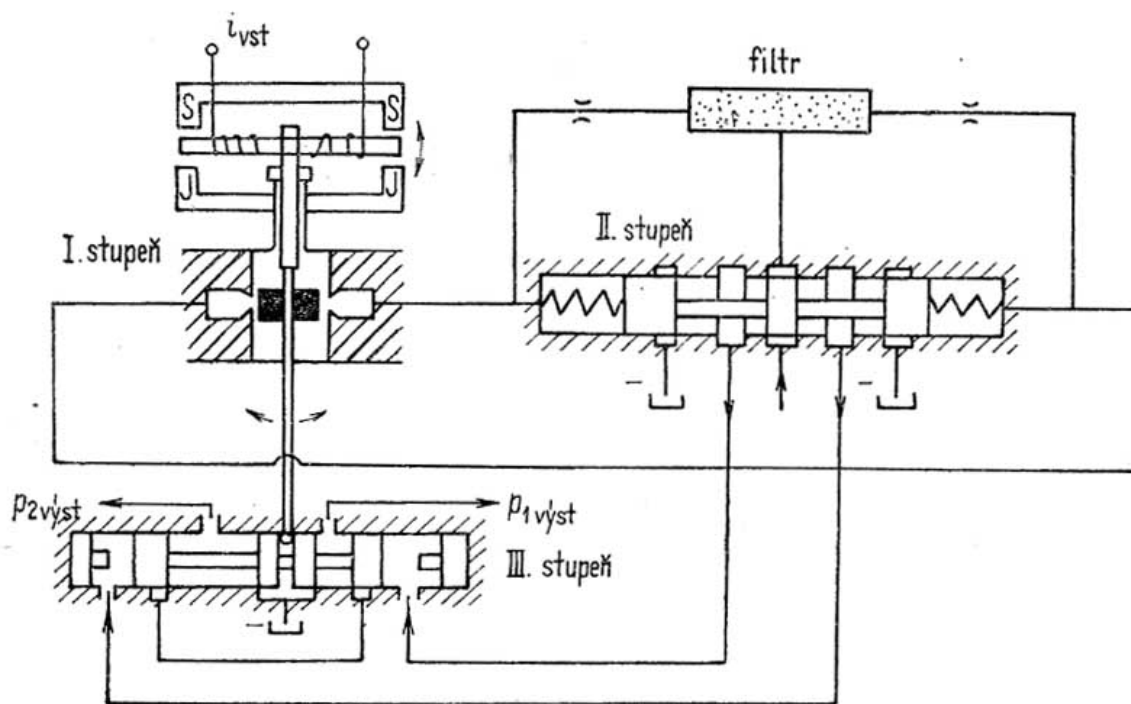
a) dvoutrýskový, b) s vychylovací tryskou (Askania), c) šoupátkový

Hydraulické výkonové zesilovače bývají konstrukčně spojeny se vstupní jednotkou - převodníkem - a tvoří pak elektricko-hydraulický nebo pneumaticko-hydraulický *servoventil*. Na Obr. 46 jsou znázorněny obvyklé hydraulické zesilovací členy - rozvody. Zesílení tryskového rozvodu (Askania - Obr. 46b) je asi 100 při výstupním výkonu 100 W, dvoutrýskového rozvodu (Obr. 46a) asi 780 při výstupním výkonu asi 39 W, šoupátkového rozvodu (Obr. 46c) asi 430 při výstupním výkonu až 100 kW. Pro veliké výkony jsou zesilovače konstruovány jako několika.stupňové (Obr. 47). Zpětné vazby jsou v zesilovačích realizovány mechanicky, tlakově nebo elektricky. Časové konstanty systému s elektrickou zpětnou vazbou dosahují hodnot kolem 10^{-3} s a jsou téměř o jeden řád lepší

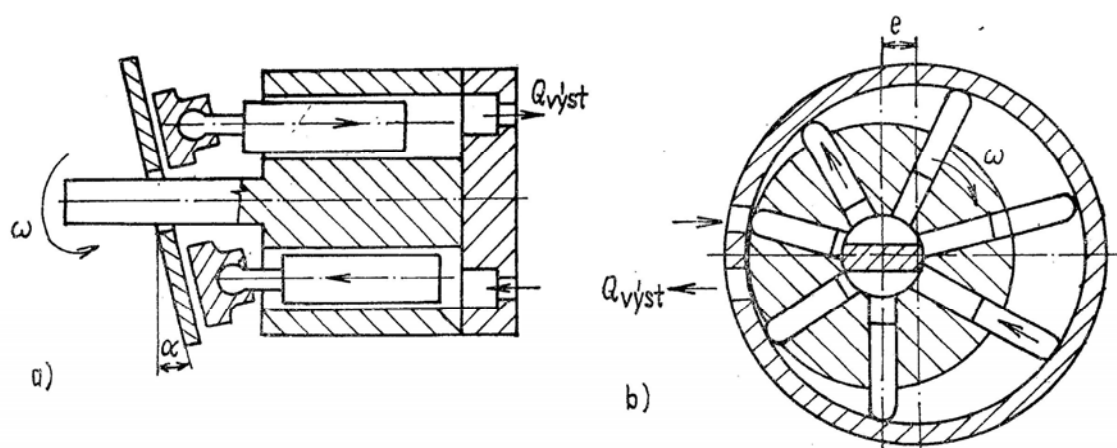
než u systémů s mechanickou zpětnou vazbou. Také přesnost kolem $2\text{ }\mu\text{m}$ a hystereze $0,005\text{ }\%$ jsou podstatně lepší.

Regulační čerpadla, tj. čerpadla s regulovatelným zdvihovým objemem (Obr. 48) na jednu otáčku, odpovídají analogicky elektrickým generátorům s konstantním napětím a proměnným proudem. Řízení průtoku přímou regulací zdvihu regulačního čerpadla umožňuje regulaci průtoku s malými ztrátami. Celková účinnost zařízení, tj. čerpadla a připojeného hydromotoru, se pohybuje kolem $85\text{ }\%$. Pro dobré čerpadlo můžeme uvažovat zesílení průtoku kolem 5000, tj. o jeden řád vyšší než u servoventilu. Hystereze se pohybuje okolo $0,01\text{ }\%$, časová konstanta regulace zdvihu $T = 0,025\text{ s}$, linearita je asi $1\text{ }\%$. Frekvence se pohybuje řádově v desítkách hertzů.

Na *fluidikové* hydraulické zesilovače se vztahuje to, co bylo řečeno o pneumatických fluidikových zesilovačích.



Obr. 47 Třístupňový elektricko-hydraulický zesilovač



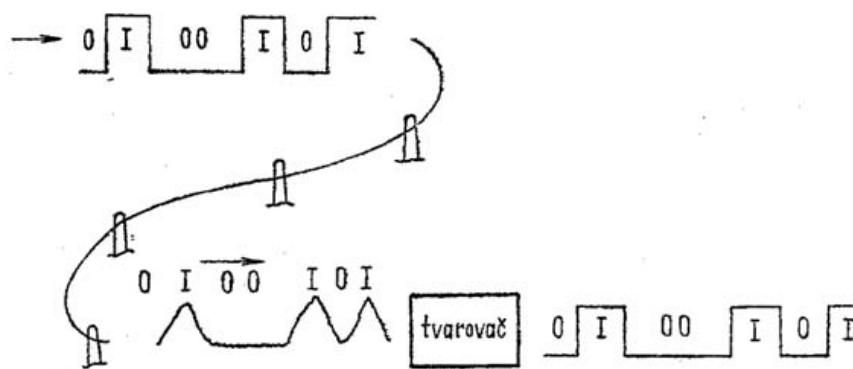
Obr. 48 Čerpadlo s regulovatelným zdvihovým objemem

- a) axiální čerpadlo, množství lze regulovat změnou úhlu α nebo otáček ω ,
 b) křídlové čerpadlo, množství lze regulovat změnou excentricity e nebo otáček ω

7.3.6 Tvarovače signálů

Používají se zásadně v diskrétních přenosových vedeních a slouží k obnově původně pravoúhlého tvaru diskrétního signálu, který se v důsledku frekvenčně závislého útlumu a skupinového zpoždění silně deformuje a tlumí po průchodu určitou vzdáleností. Protože pro přenos informace v diskrétním tvaru na větší vzdálenosti se používá pouze elektrický nebo optický signál, jsou tvarovače signálů zařízení výlučně elektronická nebo optoelektronická. Na Obr. 49 je znázorněn signál před průchodem a po průchodu tvarovačem. Tvarovač signálů jednak obnoví původní pravoúhlý tvar signálu, jednak jeho amplitudu. Tvarovače musí být na vedení rozmístěny v takových vzdálenostech, aby se amplituda signálu po projití této vzdálenosti nezmensila pod hodnotu vstupní citlivosti tvarovače. Vstupní citlivost tvarovače je záměrně zmenšena, aby se předešlo reagování tvarovače na náhodný vstupní šum.

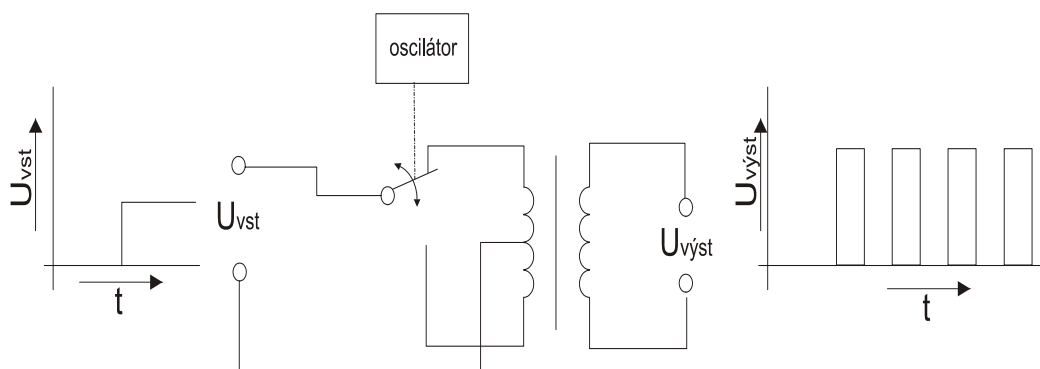
Konstrukčně jsou tvarovače řešeny jako klopný obvod s omezením výstupní amplitudy na velikost danou amplitudou přípustnou pro vedení.



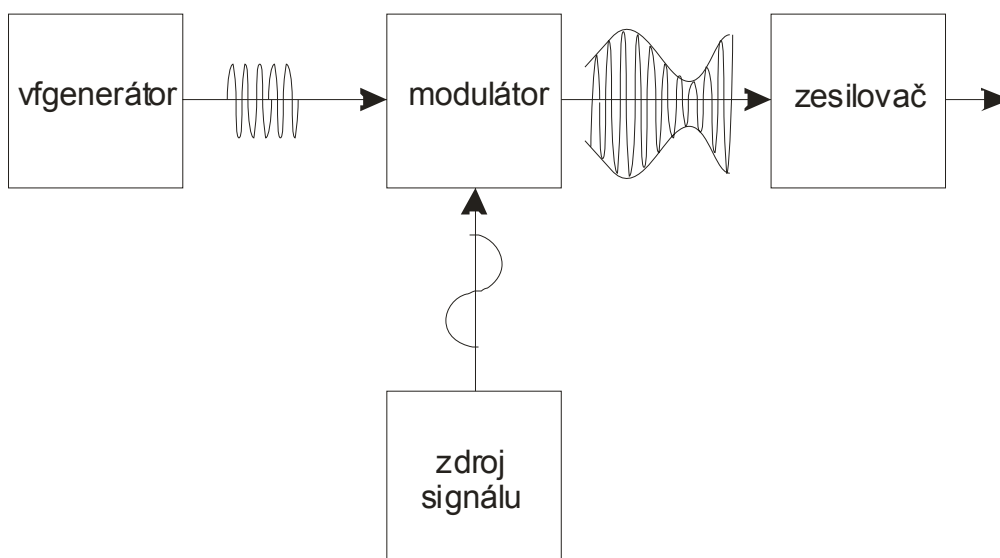
Obr. 49 Činnost tvarovače signálů na vedení

7.3.7 Modulátory

V mnoha případech, zvláště při měření, se požaduje vysoké a přesné zesílení malých stejnosměrných napětí (řádově milivoltů) a proudů (řádově nanoamperu až pikoampérů). Přímé zesílení těchto malých stejnosměrných hodnot je často velice obtížné nebo nemožné z důvodu konečné hodnoty driftu stejnosměrných zesilovačů. U střídavých zesilovačů je drift zanedbatelný. Proto převedením těchto malých stejnosměrných hodnot na střídavý signál s proměnnou amplitudou se tomuto problému vyhneme. Jindy opět vyjádříme nízkofrekvenční signál pomocí vysokofrekvenčního, abychom umožnili přenos nebo lépe využili vlastností přenosového kanálu. Tento postup nazýváme modulace a odpovídající prostředky modulátory. Střídavou nízkofrekvenční (u stejnosměrného signálu) nebo vysokofrekvenční složku nazýváme nosná (složka, frekvence). Ta může mít průběh harmonický nebo nespojitý. Nespojitý průběh získáme použitím elektromechanických nebo elektronických přerušovačů, harmonický průběh použitím harmonických oscilátorů. Informaci nízkofrekvenčního signálu můžeme vyjádřit změnou amplitudy, informaci vysokofrekvenčního signálu změnou frekvence či fáze.



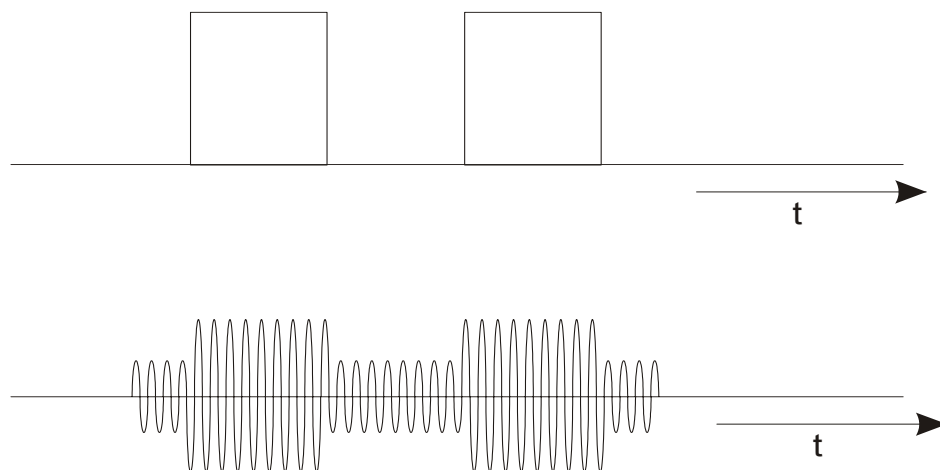
Obr. 50 Princip činnosti elektromechanického přerušovače



Obr. 51 Blokové schéma modulátoru

Na obrázku (Obr. 50) je znázorněn princip přerušovače s následnou transformací původně konstantního stejnosměrného signálu. Přerušovací frekvence je u starších elektromechanických přerušovačů dána elektromechanickým oscilátorem (Wagnerovo kladívko), u elektronických přerušovačů je bezkontaktní přepínač řízen elektronickým oscilátorem. Na obrázku (Obr. 51) je schéma amplitudové modulace nosné frekvence nízkofrekvenčním signálem.

Zcela speciální typ modulátorů jsou tzv. modemy. Jejich zvláštnost spočívá v tom, že neprovádějí převod spojitého stejnosměrného signálu na střídavý, ale převod signálu nespojitého (Obr. 52) na střídavý. Důvodem není nízká úroveň nespojitého signálu, ale analogový charakter spoje. Název modem vznikl spojením modulátor a demodulátor.



Obr. 52 Princip modulace nespojitého signálu

Modemy se od sebe liší jednak přenosovou rychlostí, která může být 200, 600, 1 200, 2400, 4800, 9 600 bit/s, jednak způsobem modulace signálu a způsobem zabezpečení spolehlivosti přenosu signálu. Modulace souvisí s přenosovou rychlostí. Pro nejnižší rychlosti je to modulace binárně frekvenční nebo amplitudová, pro vyšší frekvenční nebo fázová, pro nejvyšší kombinovaná několikastupňová amplitudově fázová. Úroveň zabezpečení spolehlivosti přenosu rovněž roste s rychlostí. Pro nízké rychlosti přenosu je to zabezpečení paritou, pro vysoké rychlosti některým ze složitějších způsobů zabezpečení.

7.3.8 Převodníky

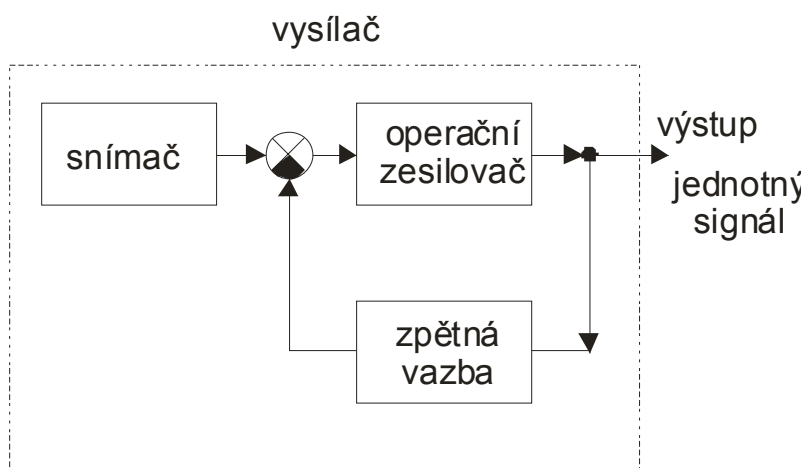
Převodníky jsou obecně zařízení sloužící k převodu signálů z jedné energetické úrovně na druhou, z jednoho druhu energie na druhý, z jednoho informačního parametru na druhý, popř. z průběhu spojitého na nespojitý či naopak. Základními stavebními prvky převodníků jsou operační zesilovače s příslušnou zpětnou vazbou a výkonový zesilovač u převodníků převádějících pouze úroveň signálů. U mezi systémového převodníku (různé energie) je nezbytný převodový člen umožňující přechod z jednoho druhu energie na druhý.

7.3.8.1 Převodníky přirozeného signálu na jednotný

Tyto převodníky se nazývají obvykle vysílače měřené veličiny. Jsou tvořeny vlastním čidlem příslušné fyzikální veličiny a operačním zesilovačem s odpovídající zpětnou vazbou, pomocí níž se upraví zisk a linearita zesilovače tak, aby rozsah výstupního signálu

odpovídal rozsahu jednotného signálu systému, pro který je převodník určen. Obvykle se zpětná vazba nazývá podle nositele informace, který ji realizuje. Např. zpětná vazba proudová, napěťová, silová, výchylková apod. Blokové schéma vysílače je na Obr. 53. Podle druhu přirozeného signálu a požadovaného druhu výstupního signálu je třeba někdy použít pomocný mezipřevod. Např. při převodu teploty na pneumatický signál se používá mezipřevod na sílu (méně často na výchylku) apod.

Výsledné statické i dynamické vlastnosti vysílače určují vlastnosti samotného čidla a charakter zpětné vazby. U mechanických zpětných vazeb dáváme přednost zpětné vazbě silové před výchylkovou, neboť je lepší jak po statické stránce (menší nelinearity, vyšší přesnost), tak i po stránce dynamické (menší časové konstanty, větší frekvenční rozsah).



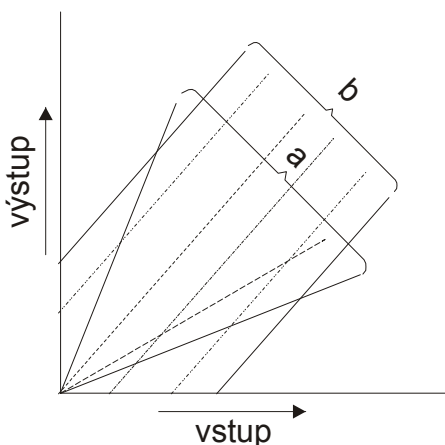
Obr. 53 Blokové schéma vysílače měřené veličiny

Vysílače měřených veličin jsou konstrukčně značně rozmanité, neboť pro každou fyzikální veličinu i pro každý její rozsah, popř. pro každý druh jednotného signálu musíme mít jiný operační zesilovač, mezipřevod nebo alespoň jinou zpětnou vazbu. Změny rozsahu vstupního signálu (přizpůsobení - při zachování rozsahu výstupního signálu) jsou v určité míře umožněny změnou nastavení zpětné vazby. Na obrázku (Obr. 54) jsou naznačeny možné změny statické charakteristiky vysílače:

a - změnou zesílení zpětné vazby,

b - změnou předpětí zpětné vazby (přičtením konstanty v obvodu zpětné vazby).

Obě změny je možné provést současně, ovšem v omezeném rozsahu, a tak optimálně přizpůsobit převodník měřenému objektu.



Obr. 54 Charakteristika vysílače
nebo převodníku

a - změna charakteristiky, kterou je možné způsobit změnou zesílení zpětné vazby,
b - změna charakteristiky, kterou je možné způsobit změnou předpětí zpětné vazby

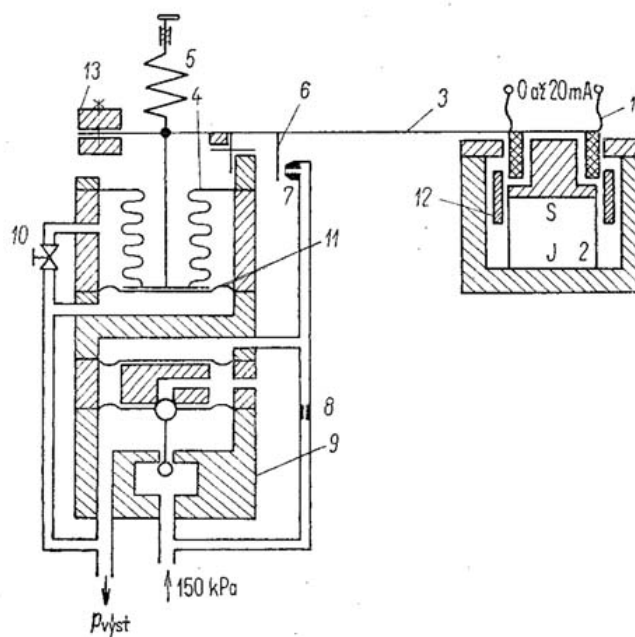
7.3.8.2 Mezisystémové převodníky

Mezisystémové převodníky se od předchozích liší v tom, že se používají k převodu jednotného signálu jednoho systému na jednotný signál systému jiného. Jde o převod pneumatického unifikovaného signálu na některý z elektrických jednotných signálů, nejčastěji 0 až 20 mA (ss), některého z elektrických jednotných signálů na pneumatický unifikovaný signál 20 až 100 kPa. Tato zařízení jsou konstruována obvykle jako samostatné jednotky s výjimkou elektricko-pneumatických korektorů. Převodníky elektricko-hydraulické a pneumaticko-hydraulické jsou již obvykle konstrukčně zabudovány v hydraulických jednotkách, které tvoří uzavřený kompaktní celek i se zdrojem tlakové kapaliny a nejsou budovány stavebnicově.

Elektricko-pneumatické převodníky

Elektricko-pneumatické převodníky se konstruují většinou na základě silového vyrovnání elektrické a pneumatické soustavy např. podle obrázku (Obr. 55). Vstupní signál převodníku - jednotný elektrický signál (např. 0 až 20 mA) se zavádí do cívky 1 elektrodynamické soustavy s trvalým magnetem 2. Síla působící na cívku vyvolá na páce 3 moment, který je vyvážen momentem síly působící na zpětnovazební vlnovec 4, vystavený tlaku výstupního vzduchu $P_{výst.}$. Moment síly daný základním tlakem 20 kPa je vyvážen tlakem pružiny 5. Při zvětšení vstupního proudu se zvětší i síla působící na cívku 1. Páka 3 se pohne směrem vzhůru a klapka 6 pneumatické soustavy se přiblíží k trysce 7. Tak

stoupne tlak ve vstupní komoře pneumatického zesilovače 9, a tím i na jeho výstupu. Již malé stoupnutí tlaku P_{vyst} , který zpočátku působí na celou plochu membrány 11, stačí vrátit páku 3 zpět, avšak tlakový vzduch proudí přes škrticí ventil 10 na druhou stranu membrány, jejíž plocha je zmenšena o plochu vlnovce 4, tak dlouho, až se tlaky na obou stranách membrány vyrovnají. Tlak výstupního vzduchu proto pomalu stoupá, až se ustálí na konečné hodnotě odpovídající velikosti vstupního proudu.



Obr. 55 Elektricko-pneumatický převodník

1,2 - cívka a magnet elektrodynamické soustavy, 3 - páka, 4 - zpětnovazební vlnovec, 5 - vyvažovací pružina, 6, 7, 8 - klapka, tryska a clona pneumatické soustavy, 9 - pneumatický zesilovač, 10 - škrticí ventil, 11 - membrána, 12 - bočník magnetu, 13 - závaží

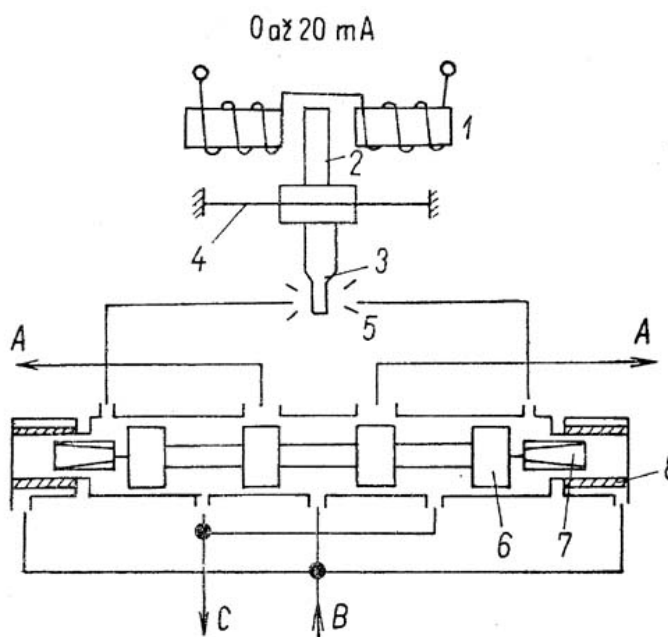
Škrticí ventil 10 tvoří s vlnovcovou komorou pneumatický člen RC, zapojený tak, že tlumí kmity páky 3, která je vzhledem ke své značné hmotnosti i délce náchylná ke kmitání. Rozsah převodníku - jeho zesílení - se nastavuje bočníkem 12 magnetu 2, který upravuje velikost magnetického toku v mezeře magnetu působící na cívku 1.

Elektricko-hydraulické převodníky

Na rozdíl od elektricko-pneumatických převodníků, které se někdy zařazují i do jiných míst řetězce regulátorů, např. mezi elektrický snímač a pneumatický ústřední člen regulátoru, se elektricko-hydraulické převodníky zařazují výlučně před servomotor.

Moderní elektricko-hydraulický převodník je na obrázku (Obr. 56). Je to hydraulická analogie Wheatstonova můstku. Vstupní elektromechanický převodník je elektromagnetická soustava skládající se z cívek 1 a kotvy 2. Proměnné hydraulické odpory dané průměry trysek 5 a jejich vzdáleností od klapky 3 tvoří dvě větve hydraulického Wheatstonova můstku. Od čerpadla proudí olej k tryskám přes filtry 8 a výřezy v pístcích 7. Tyto výřezy jsou další dva proměnné odpory v protilehlých větvích. Rozdílem tlaku oleje před pístkem a za pístkem jsou oba pístky neustále přitlačovány k šoupátku 6, které je druhým stupněm zesilovače.

Na rozdíl od elektricko-pneumatického převodníku, který se napojuje na ústřední rozvod stlačeného vzduchu, mívá elektricko-hydraulický převodník vlastní olejovou stanici, která je někdy konstrukčně spojena s převodníkem i servomotorem.

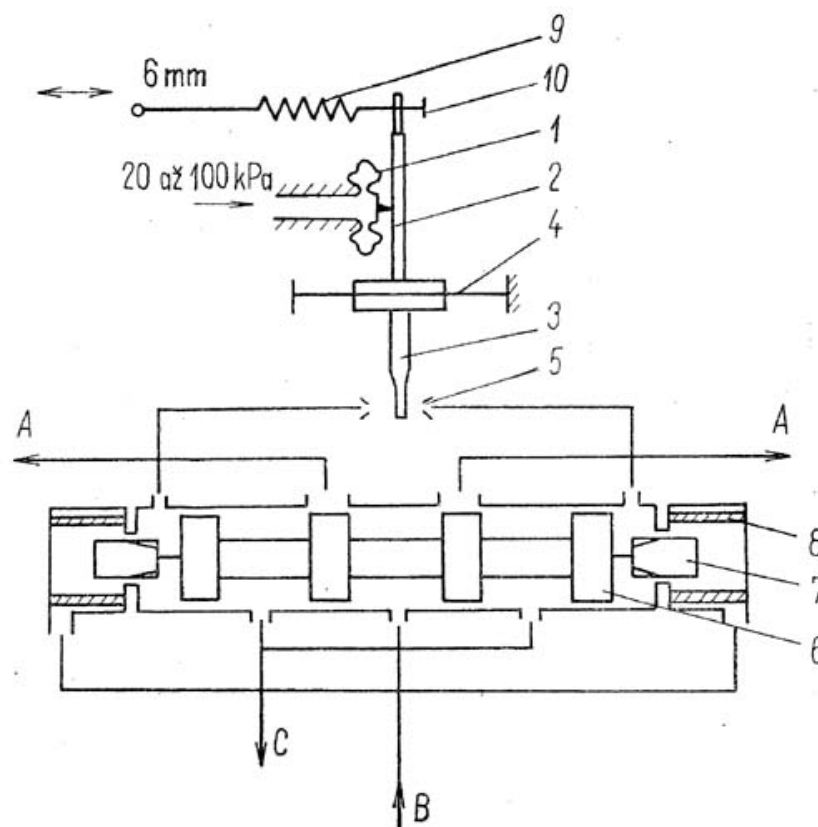


Obr. 56 Elektricko-hydraulický převodník

1 - cívky elektromagnetické soustavy, 2 - kotva, 3 - klapka, 4 - ocelová membrána, 5 - tryska, 6 - šoupátko, 7 - písty, 8 - filtr, A - k servomotoru, B - od čerpadla, C - do odpadu

Další typy mezisystémových převodníků

Kromě elektricko-pneumatického převodníku se někdy používá i převodník pneumaticko-elektrický, chceme-li pneumatický signál dále zpracovat elektricky. Tento převodník však není konstruován zvlášť, nýbrž použije se snímač tlaku vhodného rozsahu s elektrickým výstupním signálem.



Obr. 57 Pneumaticko-hydraulický převodník

1 - snímač tlaku, 2 - páka, 3 - klapka, 4 - ocelová membrána, 5 - trysky, 6 - šoupátko, 7 - clona, 8 - filtr, 9 - zpětnovazební pružina, 10 - seřizovací šroub, A - k servomotoru, B - od čerpadla, C - do odpadu

Funkční schéma pneumaticko-hydraulického převodníku je na obrázku (Obr. 57). Od elektricko-hydraulického převodníku na obrázku (Obr. 56) se liší jen mechanickým převodníkem, který je konstruován pro pneumatický vstupní signál 20 až 100 kPa. Převodník je vybaven zpětnou vazbou od polohy servomotoru. Vstupní signál zpětné vazby, pohyb 6 mm, se mění na sílu pomocí pružiny 9. Základní polohu servomotoru lze seřídít šroubem 10.

7.3.8.2 A/D převodník

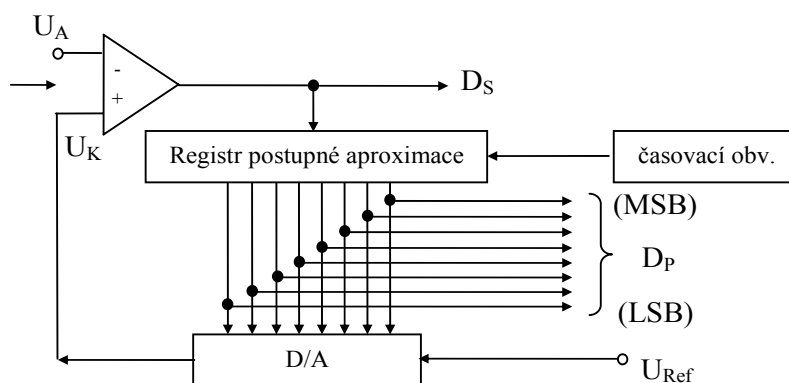
Převádí spojitý napět'ový nebo proudový elektrický signál do binárního tvaru *D*. Známý jsou tři základní typy převodníků tohoto typu a sice: kompenzační, s dvojitou integrací a paralelní.

Kompenzační A/D převodník

Porovnává a kompenzuje vstupní napětí U_A napětím kompenzačním U_K , jehož zdrojem je D/A převodník, řízený logickým obvodem LO (aproximační registr). Převod je ukončen, je-li splněna podmínka: $U_A - U_K$ je menší než hodnota napětí U_A odpovídající bitu LSB. Činnost aproximačního registru je řízena komparátorem K, který rozhoduje o změně znaménka pro připočtení napěťové úrovně odpovídající dalšímu - nižšímu dvojkovému řádu v následném kroku (změna znaménka napětí U_K). „Náplní práce“ jednoho kroku je tedy porovnání U_A s U_K , a generování příslušného „pokynu“ pro LO. Dobu a sekvenci těchto kroků určuje časovací obvod.

Paralelní číslicový signál se tedy na výstupu aproximačního registru mění krok po kroku v průběhu celého převodu až do splnění výše uvedené podmínky. Pak převodník „ohlásí“ platnost výstupních dat na některém „pinu“.

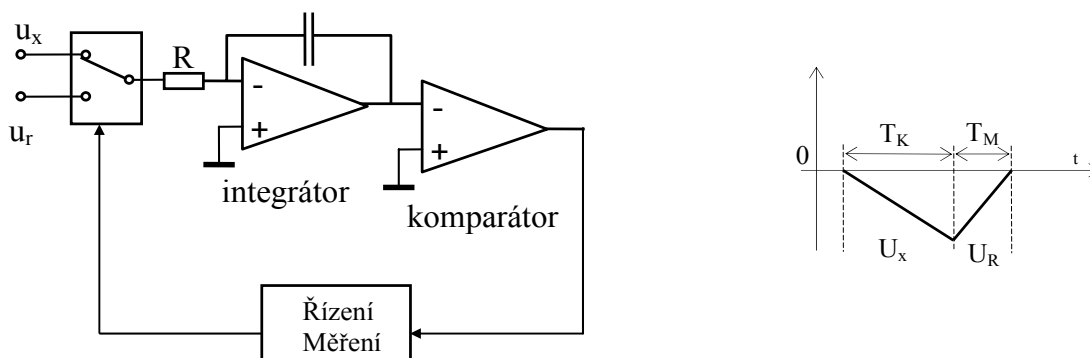
Výstup komparátoru K (signál D_S) pak v průběhu převodu poskytuje sériová data v rytmu taktovací frekvence časovacího obvodu f . Postup komparace je od MSB k LSB, jako první jde z komparátoru po lince sériových dat D_S nejvýznamnější bit.



Obr. 58 Kompenzační převodník A/D

Integrační převodník s dvojnásobnou integrací

Na integrátor se připojí samostatně u_x a u_r . Integrátor se v obou případech nechá po dobu $T_K = konst.$ nabít, poté se s křivkou se známou směrnici vybíjí po dobu T_M , jež je závislá na velikosti náboje. Doba se opět převede na počet impulsů. Porovnáním doby vybití pro u_x a u_r lze stanovit u_x .



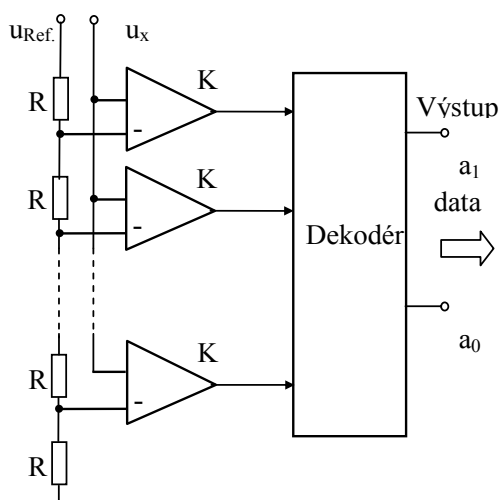
Obr. 59 Integrační převodník s dvojnásobnou integrací

Paralelní A/D převodník

Je užíván pro převod zejména rychlých dějů. Mezi svorku referenčního napětí U_{ref} a společný vodič je zapojen odporový dělič, který vytváří napěťové úrovně odpovídající vahám dvojkového čísla.

Na vstupy komparátorů je přivedeno jednak napětí měřené - U_x , jednak příslušná komparační úroveň podle váhy dvojkového čísla. Pro $U_x = 0$, je na všech výstupech komparátorů napětí $= 0$ V. Při zvětšování U_x se postupně překlápí K_1 až K_n a na jejich výstupech se objevují postupně logické 1. Pro $U_x = U_{x \max}$ je log. 1 na všech výstupech. Dekodér pak převádí vstupní binární údaje do požadovaného kódu (BCD a pod.). Délka převodu je dána dobou přeběhu komparátorů z jedné krajní úrovně do druhé a časem pro zpracování dat dekodérem.

Nevýhodou zapojení je větší množství komparátorů pro vícebitový převodník.



Obr. 60 Paralelní A/D převodník

7.3.8.3 D/A převodník

Zajišťují převod vstupní číslicové informace (dat) D paralelního datového slova v binárním tvaru na výstupní analogové napětí U_A nebo na proud I_A , podle vztahu: $U_A = U_{ref} \cdot D$ nebo $I_A = I_{ref} \cdot D$, kde U_{ref} a I_{ref} jsou hodnoty referenčního stálého napětí resp. proudu. Hodnota D se vyjadřuje ve dvojkové soustavě jako:

$$D = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \cdot 2^{-i} \quad (25)$$

,kde n je dvojkový řád slova D a a_i nabývá hodnot 0 nebo 1 podle hodnoty bitu příslušné váhy ve slově.

D/A převod je vlastně přiřazení části referenčního napětí každému bitu číslicového údaje podle jeho dvojkové váhy. Největší váhu má bit označovaný MSB (main significant bit), nejmenší LSB (least significant bit). Relativní statická chyba převodu má být zpravidla menší než 1/2 LSB.

Doba převodu T_p je dána max. dobou potřebnou k ustálení analogového výstupu na úroveň odpovídající vstupu.

D/A převodníky jsou paralelní, sériové nepřímé atd. Lze je realizovat jak obvodově, tak programově.

7.4 Servomotory

Motory, které se používají jako pohony regulačních orgánů, nazýváme servomotory. Jsou zařazeny mezi ústřední člen regulátoru a regulační orgán. Vstupní člen servomotoru musí být proto přizpůsoben výstupnímu signálu ústředního členu, výstupní člen pak regulačnímu orgánu. Konstrukce regulačních orgánů je však rozmanitá a servomotory se jí musí přizpůsobit. U regulací neelektrických veličin je vazba mezi regulačním orgánem a servomotorem vždy mechanická, např. táhlem, pákovým převodem apod. Podle spojení s regulačním orgánem se postupně vyvinuly tyto druhy servomotorů:

1. pákové servomotory s otočným pohybem výstupní páky podle Obr. 62, Obr. 63b se používají ve spojení s pákovými regulačními orgány,
2. servomotory s přímočarým pohybem výstupního táhla podle Obr. 62a, Obr. 63a se používají k přímému spojení s regulační kuželkou ventilů,

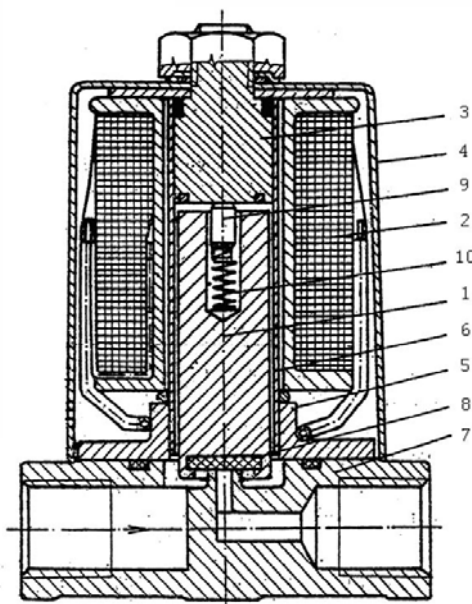
- servomotory s otočným pohybem výstupní matice se podle Obr. 62b používají k ovládání potrubních šoupátek.

Podle druhu pomocné energie můžeme servomotory rozdělit na elektrické, pneumatické a hydraulické.

7.4.1 Elektrické servomotory

Nejjednodušším elektrickým servomotorem je elektromagnet. Používá se k dvou-polohovému ovládání kuželek ventilů, brzd apod.

Solenoidový ventil je na obrázku (Obr. 61). Kuželka 1 tohoto ventilu je tlačena vlastní tíhou do sedla, a uzavírá tak průtok tekutiny. Zavedeme-li do cívky solenoidu elektrický proud, je kuželka z měkkého železa vtažena do cívky 2. Tím uvolní sedlo ventilu a ventilem může protékat tekutina. Po přerušení proudu spadne kuželka vlastní tíhou do sedla, a uzavře tak průtočný průřez. Magnetický tok se uzavírá přes kuželku 1, pólový nástavec 3, kryt ventilu 4 a přírubu 5. Těsnicí trubka 6 musí být z nemagnetického materiálu. Tyto jednoduché ventily se používají do světlosti kolem 10 mm. Pro větší světlosti se používají tzv. rozdílové ventily, u kterých solenoid otevírá pouze pomocný ventil hlavního pístu. Pohyb pístu, který uzavírá sedlo ventilu, pak obstarává řízená tlaková tekutina.

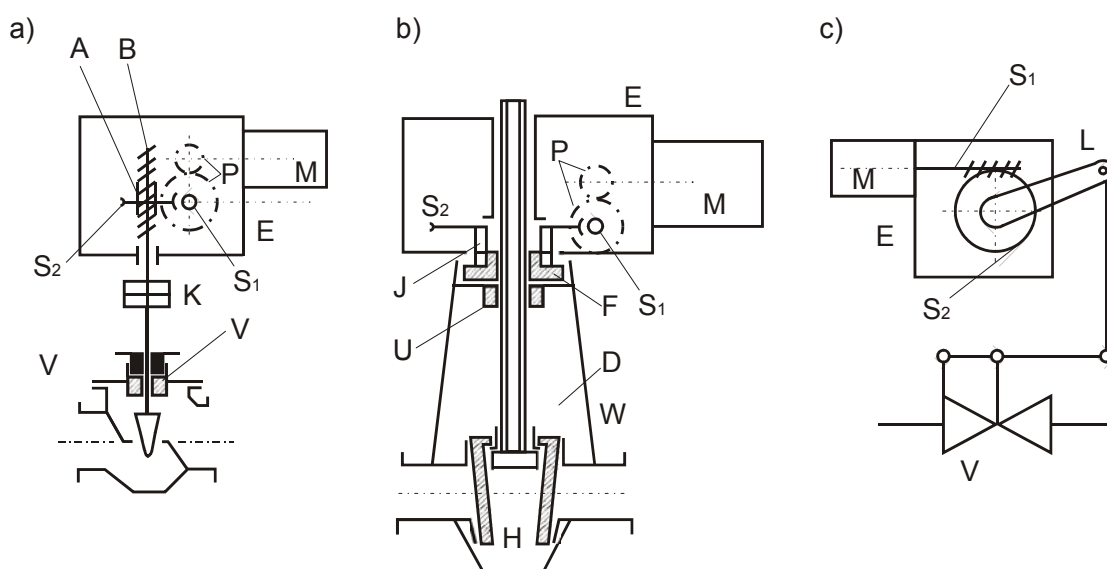


Obr. 61 Solenoidový ventil

1 - kuželka, 2 - cívka, 3 - pólový nástavec, 4 - kryt ventilu, 5 - příruba, 6 - těsnicí trubka, 7 - těleso ventilu, 8 -

dosedací plocha kuželky, 9 - středící trn, 10 - přítlačná pružina

Pro plynulé ovládání regulačních orgánů se používají elektromotory, které spolu s různými převody ozubenými koly tvoří servomotory, a to přímočaré, pákové a otočné. Na obrázku (Obr. 62) jsou schematicky nakresleny všechny tři typy servomotorů s typickými regulačními orgány. Na obrázku (Obr. 62b) je servomotor s otočným pohybem výstupní objímky J, která zapadá do matice F ovládaného šoupátka. Otáčením objímky a matice v jednom nebo druhém smyslu se zašroubovává nebo vyšroubovává vřeteno šoupátka D opatřené závitem a spojené se srdcem šoupátka H, a tím otevírá nebo zavírá šoupátko.



Obr. 62 Elektrické servomotory

a) servomotor s přímočarým pohybem, b) servomotor s otočným pohybem, c) pákový servomotor

E - servomotor, M - elektromotor, P - převodové soukolí, S₁ - šnek, S₂ - Šnekové kolo, K - otočná spojka, V - ventil, W - šoupátko, U - ucpávka, H - srdce šoupátka, D - dřík s vnějším závitem, F - matice šoupátka s vnitřním závitem, J - výstupní objímka servomotoru, L - výstupní páka servomotoru, A - matice s vnitřním závitem, B - hřídel s vnějším závitem ukončený otočnou spojkou K

Servomotory jsou opatřeny asynchronními elektromotory nakrátko, jednofázovými nebo trojfázovými podle požadovaného výkonu. Dále jsou opatřeny ručním kolem pro nouzové ruční ovládání a potenciometrem nebo indukčním snímačem pro zpětné hlášení polohy. Dalším příslušenstvím jsou koncové spínače pro odpojení elektromotoru v koncové poloze servomotoru.

Pro řízení jednofázových asynchronních elektromotorů se používají pomocná relé, která jsou obvykle umístěna přímo v regulátoru, pro řízení trojfázových elektromotorů se používají stykače umístěné ve zvláštních skříních. Protože kontakty relé i stykačů trpí

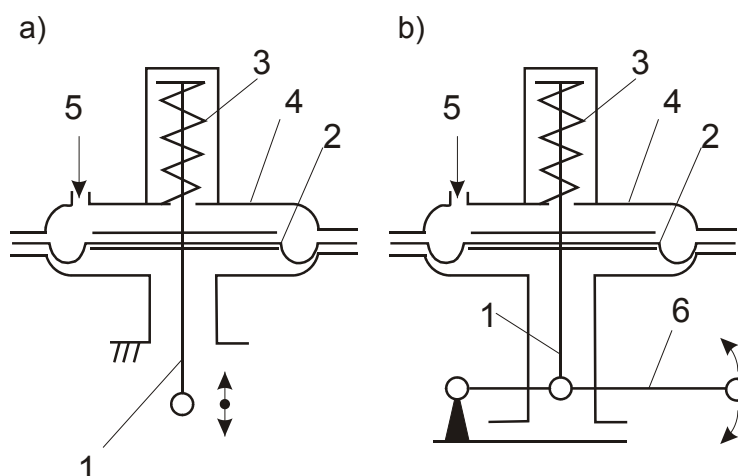
častým spínáním, používají se pro řízení motorů i složité bezkontaktné zesilovače s triaky, avšak vzhledem k jejich vysoké ceně pouze pro důležité regulační obvody.

Pro spojitě řízení servomotorů elektronických regulátorů se používají elektronické zesilovače s triaky nebo tyristory a zvláštní dvoufázové elektromotory nakrátko.

Výhodou elektrických servomotorů je, že energie pro jejich pohon je k dispozici z veřejné elektrické sítě, že jsou samosvorné - toho se u jiných druhů servomotorů dosahuje obtížně (použijí-li se v ozubených převodech šnek a šnekové kolo) - a že je lze přímo řídit počítači. Nevýhodou je jejich vyšší cena i hmotnost v porovnání s pneumatickými servomotory stejného výkonu a dále to, že při výpadku sítě přestanou okamžitě pracovat. Pro výbušná prostředí se musí vyrábět ve zvláštním provedení.

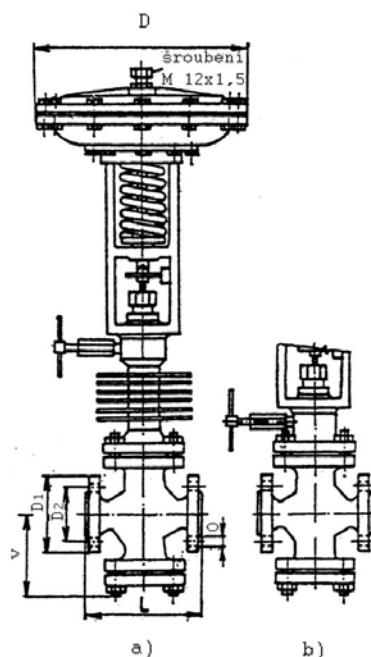
7.4.2 Pneumatické servomotory

Pneumatické servomotory pro automatické regulátory se nejčastěji vyrábějí jako membránové. U nich se jednoduše dosáhne proporcionální funkce, takže mohou být přímo řízeny jednotným pneumatickým signálem. Proto u sebe nepotřebují další zesilovač ani rozvod a mohou se jednoduše připojit jedním pneumatickým potrubím. Princip konstrukce i funkce membránových servomotoru je na obrázku (Obr. 63). Spojením membránového servomotoru s regulačním ventilem vznikne membránový regulační ventil (Obr. 64). Zvláštním typem jednoduchého pneumatického membránového servomotoru je servomotor s odvalovací membránou, který je na obrázku (Obr. 67). Jeho zdvih je několikanásobkem zdvihu normálního membránového servomotoru, má však menší průměr pístu a membrány, a proto i menší přestavnou sílu.



Obr. 63 Pneumatické membránové servomotory

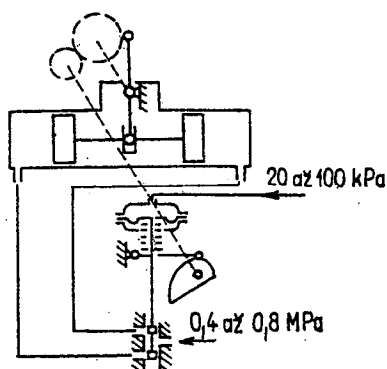
a) servomotor s přímočarým pohybem, b) pákový servomotor,
 1 - táhlo, 2 - gumotextilní membrána, 3 - vyrovnávací pružina, 4 - membránová komora, 5 - přívod tlakového vzduchu, 6 - páka



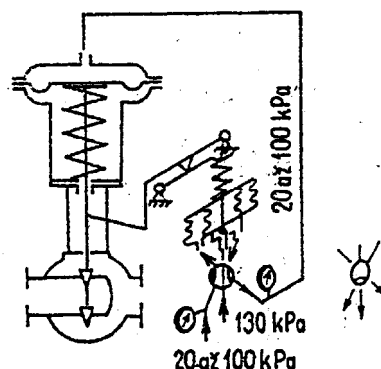
Obr. 64 Membránový regulační ventil

a) provedení s chladičem, b) provedení bez chladiče

Pístové pneumatické servomotory se používají převážně pro dvupolohové řízení. Pro spojitě řízení musí být opatřeny pevnou zpětnou vazbou a rozvodem. Používají se v přímočarém i pákovém provedení (pákové provedení je na obrázku (Obr. 65)). Také membránové pneumatické servomotory používají pro větší přestavné síly a přesnější řízení pevnou zpětnou vazbu s rozvodem a zesilovačem, která se nazývá korektor (Obr. 66).

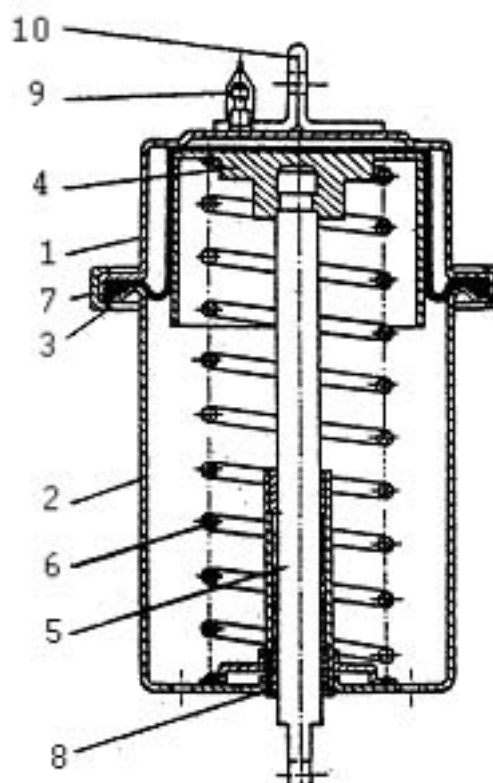


Obr. 65 Pístový pneumatický servomotor s korektorem



Obr. 66 Schéma regulačního membránového ventilu s

korektorem



Obr. 67 Lehký pneumatický servomotor s odvalovací membránou

1 - víko, 2 - válec, 3 - odvalovací membrána, 4 - píst, 5 - táhlo, 6 - kompenzační pružina, 7 - spojovací objímka, 8 - vedení táhla, 9 - přívod tlakového vzduchu, 10 - montážní oko

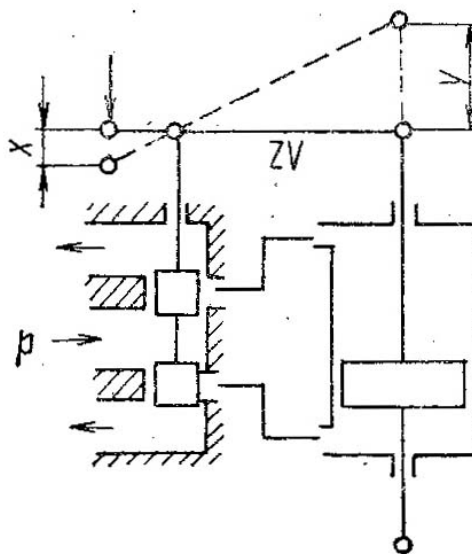
Výhodou pneumatických servomotorů je jejich konstrukční a výrobní jednoduchost, a tím i nízká cena. Mohou se používat i ve výbušném prostředí a při stejném výkonu mají menší hmotnost než elektrické servomotory. Jejich nevýhodou je, že nejsou samosvorné, tj. že při výpadku napájecího vzduchu se přestaví do otevřené nebo zavřené polohy. To může být někdy naopak jejich výhodou. Pro svou funkci potřebují zdroj tlakového vzduchu. Protože se tento zdroj doplňuje zásobníkem stlačeného vzduchu, mohou pneumatické systémy pracovat po určitou dobu i po výpadku energie pro pohon kompresoru.

7.4.3 Hydraulické servomotory

Hydraulické servomotory se nejčastěji používají pro dvupolohové řízení. Pro spojitě řízení musí být opatřeny pevnou zpětnou vazbou. Protože se v těchto případech používají jako výkonové členy pro elektronické systémy, používají se pro zpětnou vazbu elektrické členy, např. selsyny, indukční snímače apod. Vzhledem ke špičkovým parametrům

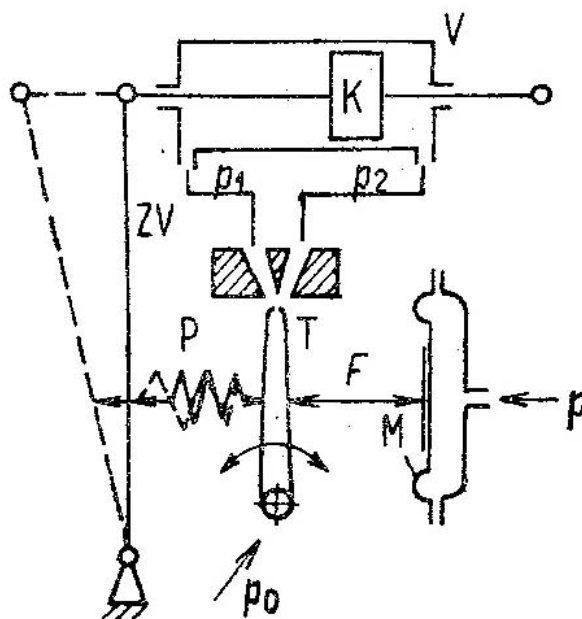
hydraulických servomotorů se používají pouze pro speciální účely. Nejvíce se rozšířily u těžkých mechanismů, např. u stavebních strojů, a u obráběcích strojů, kde se využívá jejich velké přestavné síly a rychlosti. Často se používají jako koncové členy elektronických systémů číslicově řízených obráběcích strojů.

U starších hydraulických servomotorů se nejčastěji používal šoupátkový rozvod pracovní kapaliny. Dalším velmi používaným rozvodem byl tryskový rozvod (Obr. 68).



Obr. 68 Pístový hydraulický servomotor se šoupátkovým rozvodem a pevnou zpětnou vazbou

Dalším velmi používaným rozvodem byl tryskový rozvod (Obr. 69). Z trysky T proudil tlakový olej proti dvěma kuželovitě se rozšiřujícím kanálkům, ve kterých se rychlost oleje přeměnila na tlak. Byla-li tryska přesně uprostřed, byly tlaky v obou kanálcích stejné.



Obr. 69 Tryskový hydraulický rozvod
v uspořádání proporcionálního regulátoru
tlaku

p_0 – tlakový olej na vstupu rozvodu, p_1, p_2 – tlaky v přívodních potrubích hydraulického silového válce, V – silový válec, K – píst, ZV – pevná zpětná vazba, T – tryska, M – membrána snímače tlaku p , F – přestavující síla snímače tlaku, P – řídicí pružina

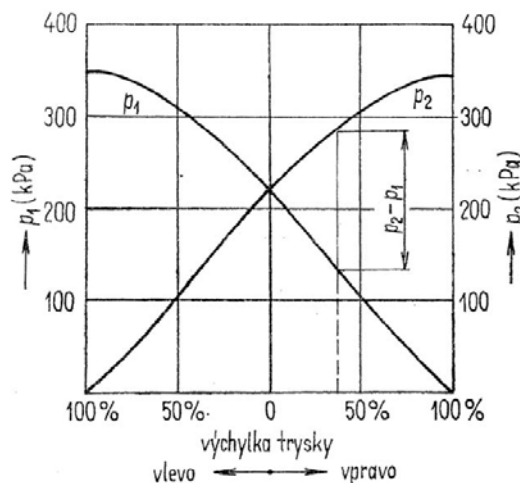
Vychýlila-li se na jednu nebo druhou stranu, změnily se tlaky podle diagramu na obrázku (Obr. 70). Vznikl rozdíl tlaků $p_1 - p_2$ který působil na obě strany pístu hydraulického silového válce. Píst se pohyboval tak dlouho, dokud se tlaky v obou kanálcích nevyrovnaly, neboli dokud se tryska nevrátila do střední polohy, Proto i tento rozvod měl integrační charakter.

Zesilovače výkonu se u těchto rozvodů montovaly buď přímo k trysce, nebo do potrubí. Zesilovače byly šoupátkové, při rozdílné velikosti tlaků p_1 a p_2 od tryskového rozvodu se šoupátko pohybovalo nalevo nebo napravo a přepouštělo tlakový olej na jednu nebo druhou stranu pístu servomotoru.

Dnes se hydraulické servomotory používají pouze jako koncové členy především elektronických regulátorů. Pro převod elektrického signálu na hydraulický je nutný elektricko-hydraulický převodník.

Hydraulický systém pohonu regulačních orgánů vyžaduje stabilizaci napájecího tlaku oleje např. přepouštěním oleje redukčním ventilem, který je součástí olejové stanice zahrnující ještě olejovou nádrž, čerpadlo s elektromotorem a olejový filtr. Někdy tyto stanice mají

ještě rezervní čerpadlo, popř. i tlakový zásobník oleje, je-li nutné, aby hydraulický obvod pracoval i po výpadku čerpadla.



Obr. 70 Průběh tlaků v přívodních potrubích silového válce s tryskovým hydraulickým rozvodem na výchylce trysky; $p_0 = 400$ kPa

7.5 Regulační orgány

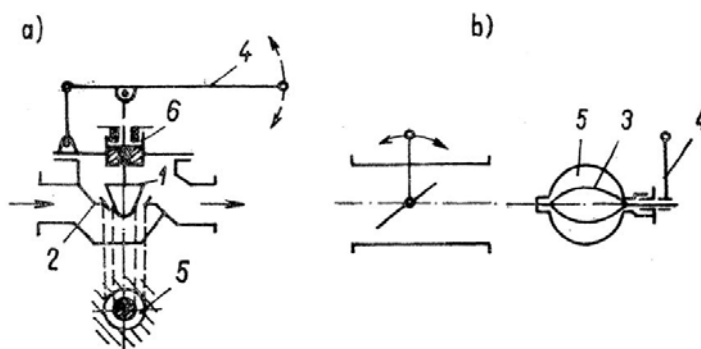
Regulační orgány neelektrických akčních veličin řídí vždy průtok nějaké látky. Můžeme je rozdělit na dva hlavní druhy. Jsou to:

- regulační orgány pro všeobecné použití,
- speciální regulační orgány.

Speciální regulační orgány jsou zpravidla součástí regulované soustavy a jsou konstruovány výhradně pro jeden účel, např. rozváděcí kola vodních turbín. Jiné typy těchto regulačních orgánů řídí průtok nepřímo, např. lze řídit průtok uhlí do mlýna řízením výšky vrstvy na dopravníku, popř. se může řídit otáčkami elektromotoru i rychlost

Regulační orgány pro všeobecné použití řídí průtok tekutiny. Jsou v zásadě dvojího druhu (Obr. 71):

- regulační ventily pro řízení průtoku kapalin a plynů,
- regulační klapky pro řízení průtoku plynů.



Obr. 71 Regulační orgány pro řízení průtoku tekutin

a) regulační ventil, b) regulační klapka. 1 – kuželka, 2 – sedlo, 3- klapka, 4- ovládací páka, 5 – průtočný průřez, 6 – ucpávka

Změny v průtoku tekutiny se dosáhne regulačním ventilem změnou průtočného průřezu mezi regulační kuželkou a sedlem ventilu zasouváním kuželky do sedla např. pomocí pákového převodu.

Pro průtok tekutiny regulačním ventilem lze použít vztah

$$Q_v = \alpha_v S \sqrt{2 * \frac{p_1 - p_2}{\rho_1}} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$$

$$Q_m = \alpha_v S \sqrt{2 * \frac{p_1 - p_2}{v_1}} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (26)$$

kde

Q_v je objemový průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),

Q_m hmotnostní průtok ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$),

α_v průtokový činitel ventilu (-),

S volná průtočná plocha (m^2),

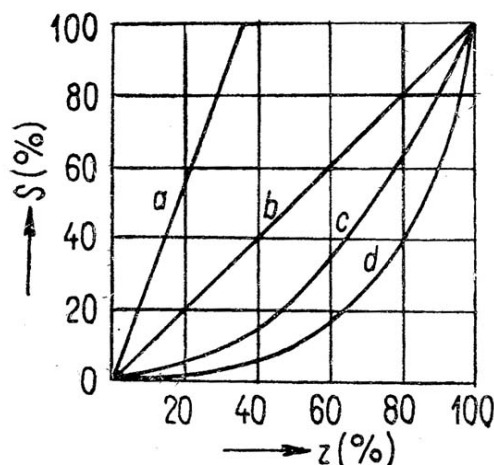
$\Delta p = p_1 - p_2$ tlakový rozdíl na regulačním ventilu (Pa),

ρ_1 hustota protékajícího média ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),

v_1 měrný objem protékajícího média ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$).

Je to rovnice pro průtok zúženým průřezem. V případě použití pro regulační ventil se plocha S průtočného průřezu mění se zdvihem z kuželky ventilu. Závislost této plochy na zdvihu kuželky se nazývá konstrukční charakteristika ventilu.

Různé druhy regulačních obvodů vyžadují pro svůj účel použití různé tvary charakteristik regulačních ventilů. U většiny případů se vystačí se čtyřmi základními typy charakteristik podle obrázku (Obr. 72).



Obr. 72 Základní typy charakteristik regulačních ventilů

a) rychle otvírací, b) lineární, c) parabolická, d) ekviprocentní (logaritmická), S – průtočná plocha, z – zdvih kuželky

Nejčastěji se používá charakteristika lineární a ekviprocentní. Rychle otevírací charakteristiku má obyčejný uzavírací ventil, který se používá pouze pro dvoupolohovou regulaci.

U regulačního ventilu s lineární charakteristikou odpovídá stejné procentní změně zdvihu stejná procentní změna průtočné plochy v kterékoliv oblasti charakteristiky

$$S = k_1 z \quad (27)$$

Parabolická charakteristika má tvar

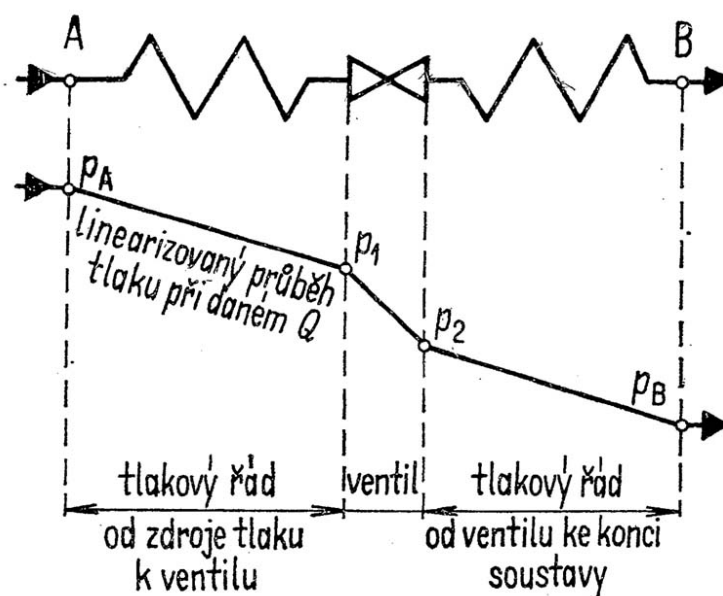
$$S = k_2 z^2 \quad (28)$$

U ekviprocentní charakteristiky je úměrná změně zdvihu kuželky

$$\frac{\Delta S}{S} = \Delta k_3 z \quad (29)$$

Ekviprocentní charakteristikou regulačního ventilu lze vyrovnávat průběh zesílení některých soustav, které při nízkém výkonu (zatížení) bývá větší a při vysokém výkonu (zatížení) bývá menší.

Kromě konstrukční charakteristiky ventilu je důležité zvolit také jeho správnou *světlost*, která se určuje na základě největšího požadovaného průtoku Q_{max} , při zvolené tlakové ztrátě na ventilu Δp a průtočném průřezu S_{max} .



Obr. 73 Tlakové poměry v potrubím řádu

p_A – tlak zdroje, p_1 – tlak před ventilem, p_2 – tlak za ventilem, p_B – tlak na konci soustavy

Pro správnou funkci regulačního ventilu, a tím i celého regulačního obvodu je nutné, aby tzv. "tlakový parametr p " byl větší nebo se rovnal 0,6. Tento parametr lze vyjádřit podle obrázku (Obr. 73) vztahem

$$p = \frac{p_1 - p_2 (\text{přř macimálním } Q)}{p_A - p_B (\text{přř nulovém } Q)} \geq 0,6 \quad (30)$$

Pokud tento požadavek nebude splněn, je nutné počítat s horšími vlastnostmi celého regulačního (řídícího) systému.

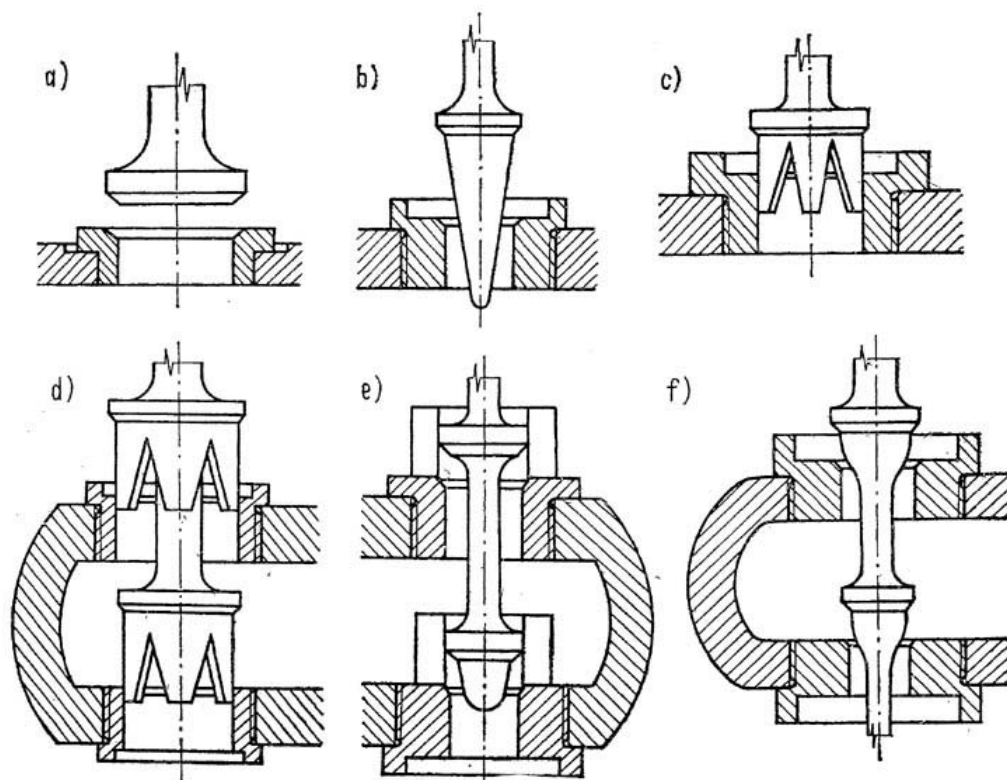
Dále je nutné, aby tlaková ztráta při Q_{max} byla

$$p_1 - p_2 \geq 0,01 \text{ MPa} \quad (31)$$

Žadany průběh konstrukční charakteristiky se dosahuje nejčastěji tvarem kuželky. Příklady konstrukce jsou na obrázku (Obr. 74). Ventily jsou jednosedlové nebo dvousedlové. U

jednosedlových ventilů působí na kuželku ventilu při velkých světlostech a tlakových rozdílech velké osově síly, na které musí být dimenzován servomotor ventilu. Proto se v těchto případech volí vždy ventily dvousedlové, tlakově odlehčené.

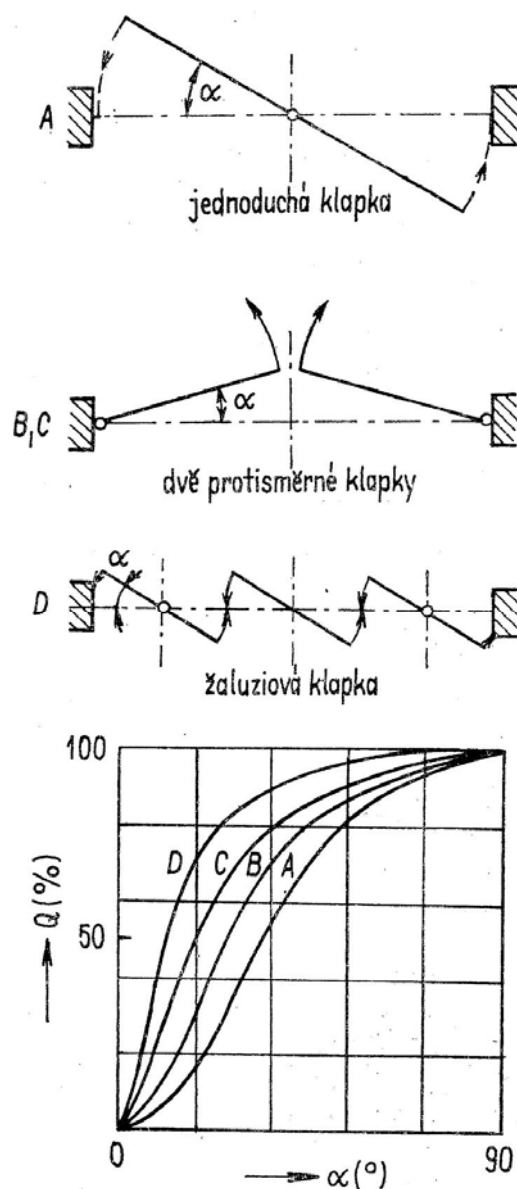
Regulační ventily obvykle v uzavřené poloze netěsní, propouštějí maximálně 5 % z maximálního průtočného množství.



Obr. 74 Různé tvary kuželek regulačních ventilů

a) rychle otvírací ventil, b) jednosedlový ventil s lineární charakteristikou, c) jednosedlový ventil s válcovou kuželkou, d) dvousedlový ventil s válcovou kuželkou, e) dvousedlový ventil s parabolickou charakteristikou, f) dvousedlový ventil s ekviprocentní charakteristikou

Regulační klapkou se průtočný průřez mění otáčením jednoho nebo více listů klapky v tělese. Schémata hlavních konstrukcí klapek jsou na obrázku (Obr. 75) i s jejich průtočnými charakteristikami. Závislost průtoku, na úhlu otevření klapky není příliš výhodná a není ji možné jednoduše měnit konstrukční úpravou klapky. Regulační klapky jsou oblíbeny hlavně pro svoji jednoduchost a používají se pro regulaci průtoku plynů o tlaku nejvýše několika megapascalů. Žaluziové klapky se používají u čtyřhranných kanálů větších průřezů, protože vyžadují menší ovládací moment. Jejich průtočná charakteristika je ještě méně příznivá než u klapek jednolistových.



Obr. 75 Různé tvary regulačních klapek a jejich průtočné charakteristiky

α – úhel natočení, Q - Průtok

7.6 Stavebnicové systémy - příklady

V International Electrotechnical Commission (IEC), ve které je zastupena i ČR, jsou automatizační prostředky rozpracovány v technickém výboru – technical Committee (TC) 65 a systémové problémy v podvýboru SC 65A. V pracovní skupině WG 4 byly navrženy tyto jednotné signály

4 až 20 mA

+1 až +5 V

0 až +10 V

0 až 20 mA

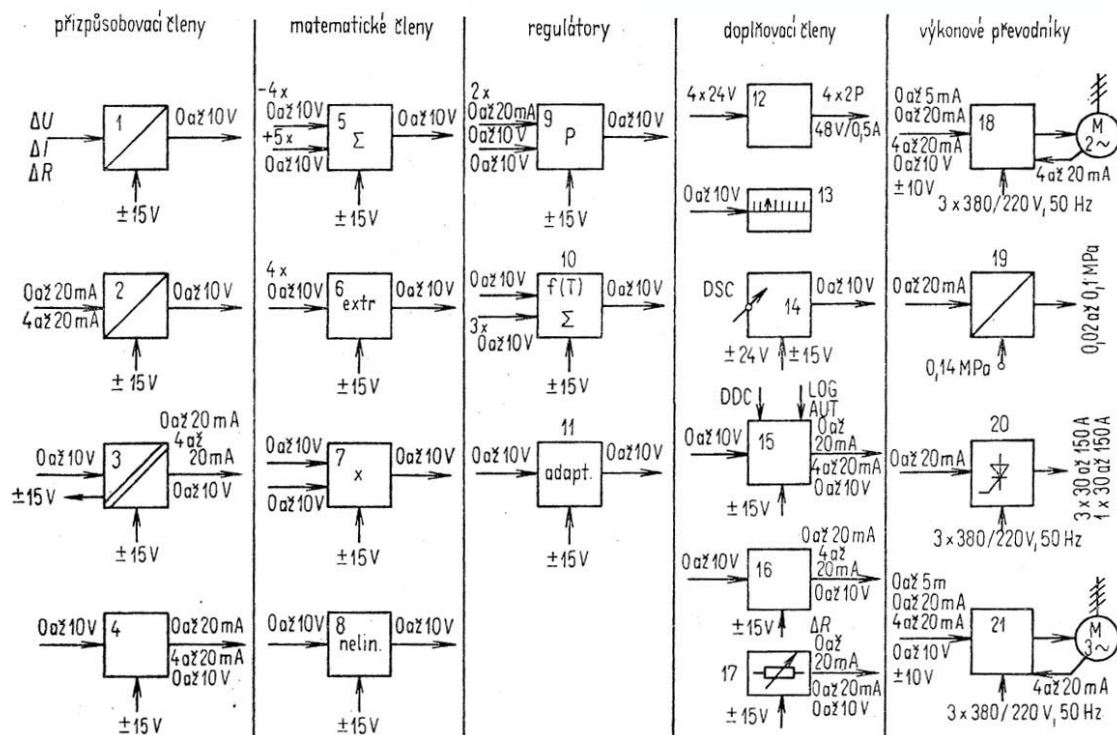
0 až +5V

-10 až +10 V

Druhem proudového a napěťového signálu a velikostí jeho amplitudy však ještě není u elektrických přístrojů jednoznačně zajištěna možnost jejich vzájemného spojení. U elektrických signálů na rozdíl od signálů pneumatických musí být stanoven ještě dovolený zatěžovací odpor, to je nejvyšší zatěžovací odpor u proudových signálů a nejmenší zatěžovací odpor u napěťových signálů. Podle toho je nutné volit i vstupní odpory jednotlivých přístrojů, popř. počet přístrojů, které lze zapojit na výstup přístroje vysílajícího jednotný signál.

7.6.1 Modulový systém (princip MODIN - ZPA:Závody průmyslové automatizace)

Struktura modulového systému elektrických analogových přístrojů automatizačních prostředků je na obrázku (Obr. 76). Také tento systém se skládá z pěti skupin přístrojů, z nichž výkonové převodníky jsou tytéž, které se používají pro kompaktní systém a přizpůsobovací členy používají stejné stavebnicové moduly, ze kterých jsou sestavovány i kompaktní přístroje této skupiny.

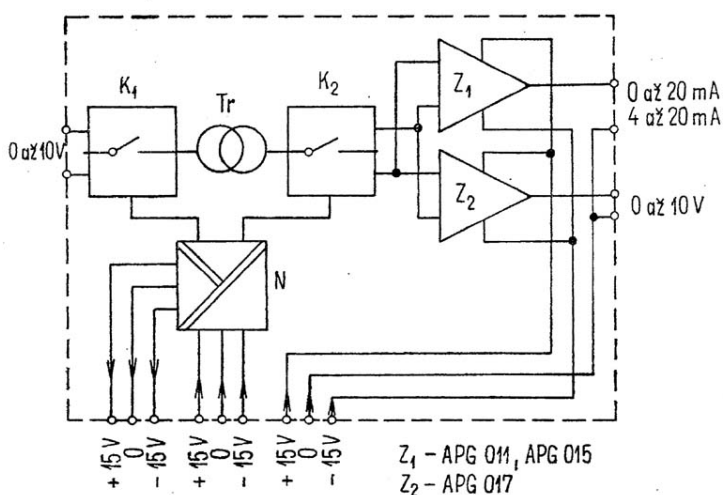


Obr. 76 Struktura modulového regulačního systému

1 - převodník přirozených signálů snímačů, 2 - převodník jednotných signálů, 3 - člen s galvanickým oddělením, 4 - převodník jednotných signálů s výkonovým zesílením, 5 - sčítací člen, 6 - člen pro výběr extrémní velikosti signálu, 7 - násobící člen, 8 - nelineární člen, 9 - proporcionální regulátor, 10 -

časový člen, 11 - adaptivní člen, 12 - reléový člen, 13 - ukazovací přístroj, 14 - ovládač regulátoru, 15 - koncový člen, 16 - pomocný člen, 17 - zdroj jednotného signálu, 18 - ovládač spojitě řízených servomotorů, 19 - elektricko-pneumatický převodník, 20 - spojitý výkonový zesilovač, 21 - ovládač nespojitě řízených servomotorů

Člen 1 má dvě provedení. První z nich odpovídá funkčně členu 1 kompaktního systému. Druhé provedení spolu s členem galvanického oddělení 3 pak funkčně odpovídá členu 2 kompaktního systému. Člen s galvanickým oddělením je principiálně znázorněn na obrázku (Obr. 77). Galvanicky odděluje vstupní obvod od výstupního obvodu a od napájecího obvodu. Aby mohl být popř. galvanicky oddělen i aktivní vstupní obvod, má člen vyvedené i galvanicky oddělené napájecí napětí ± 15 V. Převodník se skládá z napájecího zdroje a oscilátoru (N), který kromě zajištění galvanicky odděleného napájení ± 15 V řídí tranzistorové spínače K_1 a K_2 na vstupu a výstupu oddělovacího transformátoru. Na výstupu je možné si zvolit kterýkoliv z jednotných signálů.



Obr. 77 Základní schéma členu s galvanickým oddělením vstupního obvodu a výstupního obvodu

K_1 , K_2 - bezkontaktné přepínače, T_r - oddělovací transformátor, Z_1 , Z_2 - operační zesilovače, N - napáječ

Mezi přizpůsobovací členy patří i převodníky jednotných signálů 2 a 4, které zajišťují převod mezi různými druhy jednotných signálů. Převodník 4 zajišťuje i výkonové zesílení výstupního signálu pro napájení většího počtu přístrojů.

Druhou skupinu struktury tvoří opět matematické členy. Protože modulový systém je určen k vytváření složitějších rozvětvených a víceparametrových (mnohorozměrových) obvodů, je tato skupina zastoupena bohatěji než u kompaktního systému:

- sčítač 5 obsahuje čtyři samostatné invertující pětivstupové sčítače, které také mohou být zapojeny jako dva sčítače a dva odčítače s pěti vstupy neinvertujícími a čtyřmi vstupy invertujícími.
- člen pro výběr extrémní velikosti signálu 6 se používá pro výběr nejmenšího nebo největšího signálu z počtu nejvíce čtyř signálů na vstupu.
- násobící člen 7 tvoří čtyřkvadrantová násobička dvou napěťových signálů.
- nelineární člen 8 slouží pro vytváření nelineární statické funkční závislosti mezi výstupním a vstupním signálem. Převodní charakteristika je aproximována šesti přímkovými úseky s nastavitelnými souřadnicemi krajních bodů úseček.

Ústřední skupinu tvoří opět regulátory. Protože jde o modulový systém, stačí pro vytváření všech požadovaných kombinací pouze dva členy. Je to proporcionální člen 9 a časový člen 10.

- Proporcionální regulátor se používá pro porovnávání velikosti regulované veličiny a velikosti její žádané hodnoty. Na jeho výstupu je proto regulační odchylka. Regulátor má nastavitelné zesílení (potenciometrem P_4) a vnitřní polarizaci P_5 , která může sloužit jako žádaná hodnota regulované veličiny.

Regulátor má tři vstupy, z nichž dva mohou být i proudové, jejich vliv lze nastavit pomocí potenciometru P_1 , P_2 a P_3 . Výstupní signál je pouze napěťový.

- Časový člen podle se vyrábí ve dvou variantách lišících se pouze délkou nastavitelných časových konstant. Přenos časového členu je P, PD, PI nebo PZ (proporcionální se zpožděním 1. řádu). Člen má navíc třívstupový invertor Z_2 , který dovoluje zadávání počátečních podmínek při integrování, dosažení čistého derivačního přenosu a dosažení přenosu PID pouze pomocí dvou členů. Časová konstanta je nastavitelná buď do 200 s, nebo do 1600 s.
- Adaptivní člen 11 je určen jako doplněk k časovým členům pro dosažení adaptivity regulátoru. Může se zapojit za proporcionální člen 9, kdy zpracovává regulační odchylku. Zapojíme-li na výstup adaptivního členu např. integrační regulátor, zachovává optimální průběh regulačního pochodu pro změny zesílení soustavy až 1 : 40.

Čtvrtou skupinu struktury tvoří *doplňovací členy*, které umožňují realizaci různých složitých regulačních obvodů s přepínáním signálů a zásahy hierarchicky vyšších systémů

řízení. Patří sem i ukazovací přístroje a různá tlačítka a signalizační jednotky pro sestavování pultů a tabel mozaikovým způsobem. Tento systém obsahuje různé typy ovládacích, ukazovacích a signalizačních prvků, z nichž některé jsou určeny i pro analogové obvody.

- Reléový člen 12 se čtyřmi hermeticky uzavřenými relé se používá hlavně pro přepínání napěťových signálů.
- Ukazovací přístroj 13 se používá pro ukazování jednotného proudového signálu 0 až 10 V, 0 až 20 mA nebo 4 až 20 mA. Stupnice může být kalibrována přímo ve fyzikální veličině, kterou jednotný signál představuje.
- Ovladač regulátoru 14 je část spojitého regulátoru v kompaktním provedení s potenciometrem žádané hodnoty, přístrojem pro měření regulační odchylky a další mechanickou výbavou spojitého kompaktního regulátoru. Má čelní rozměr 80 x 160 mm a montuje se do mozaikových pultů a tabel. Používá se pro řízení a kontrolu regulačního obvodu s modulovým regulátorem libovolného přenosu, pro řízení počítačem DSC apod.
- Koncový člen 15 tvoří koncový stupeň regulátoru. Obsahuje jednak koncovou analogovou část regulátoru, jednak soustavu pomocných relé, která umožňuje různá nadřazená řízení regulačního obvodu včetně přímého číslicového řízení počítačem DDC.
- Pomocný člen 16 se používá k rozdělování signálu z koncového členu na několik servomotorů. Umožňuje ruční ovládání každého servomotoru zvlášť nebo současné ovládání všech servomotorů ručně, počítačem nebo automatickým regulátorem přes koncový člen. U každého servomotoru umožňuje nastavení zdvihu a posunutí nulové polohy.
- Zdroj jednotného signálu 17 slouží ke generování jednotných signálů 0 až 20 mA, 4 až 20 mA, 0 až 10 a -10 až +10 V. Další provedení je pouze s potenciometrem. Má čelní rozměr 80x160 mm a konstrukční provedení do mozaikových pultů a tabel.

Pro napájení modulových regulátorů se používá síťový zdroj AUE-003 jako ústřední zdroj pro jednu přístrojovou skříň nebo napájení z akumulátorové baterie ± 24 V. Pro stabilizaci

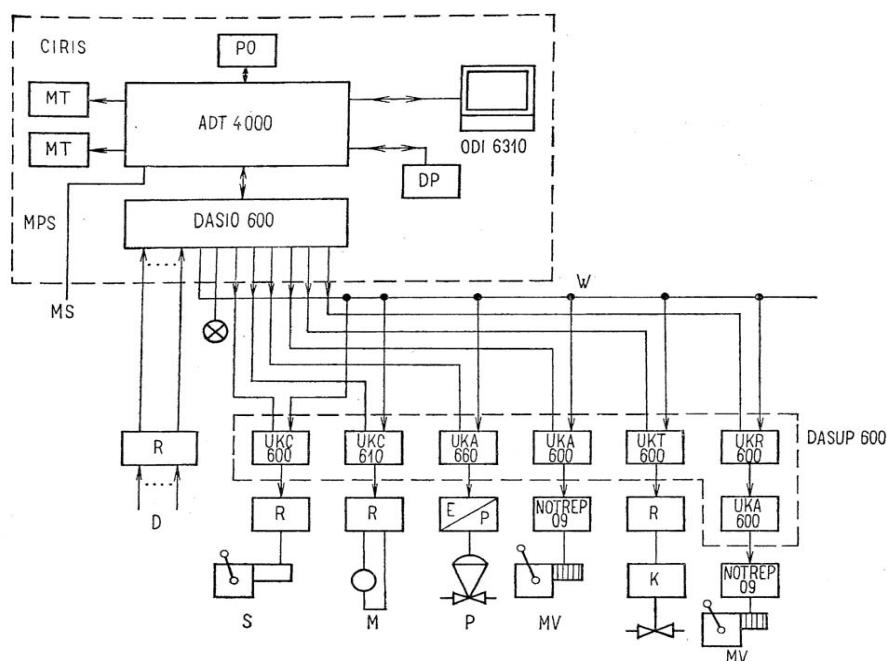
na pájecího napětí se používá buď ústřední stabilizátor AUS-003 pro celou skříň, nebo podružné stabilizátory AUS-002 pro každou kazetu

7.6.2 Příklad koncepce centralizovaného řídicího systému (princip ZPA)

Pro styk s řízeným procesem i pro některé signalizační funkce používající řídicí počítače tzv. *vstupní/výstupní stranu*, někdy nazývanou *jednotka pro styk s prostředím*.

Snímače a vysílače kontrolovaných veličin mohou být na vstupní svorky této jednotky připojeny přímo bez mezičlánků. Výstupní signály však nemohou být většinou zavedeny přímo do silové části zařízení (s výjimkou např. signálních žárovek), nýbrž musí vést přes výkonový zesilovač, přepínač ručního a automatického řízení a některý druh ručního řízení pro případ výpadku počítače. U zdvojených systémů musí jít signál přes přepínač, ruční nebo automatický, řízený kontrolním programem. Vzhledem ke skutečnosti, že li všech subsystémů je použita jednotná výstupní jednotka, mohla být pro všechny subsystémy řídicích systémů ZPA vyvinuta jednotná řada přístrojů tzv. provozní úrovně - DASUP 600.

Tento soubor přístrojů zajišťuje spojení mezi jednou nebo dvěma výstupními jednotkami DASIO 600 a silovou částí řízeného technologického zařízení. Všechny přístroje DASUP 600 mají dva řídicí vstupy, přizpůsobené k připojení na jednotku DASIO 600, přepínané signálem *W* z vyhodnocovací desky kontrolního programu.



Obr. 78 Diskově orientovaný řídicí systém s přístroji provozní úrovně

CIRIS - diskově orientovaný systém, DASUP 600 - soubor přístrojů provozní úrovně, ADT 4000 - centrální jednotka, PO - panel operátora, MT - mozaiková tiskárna, ODI 6310 - obrazovková zobrazovací jednotka, DP - disková paměť"
DASIO 600 - stavebnice vstupních a výstupních stran - jednotka pro styk s prostředím, MPS - kanál meziprocesorového styku, MS - k hierarchicky nižšímu systému,
R - ranžirovací rozváděč, D - snímače a vysílače, S - elektrický servomotor,
P - pneumatický servomotor, MV - servomotor MODACT VARIANT, K - servomotor KLIMACT, E/P - elektricko-pneumatický převodník, NOTREP 09 - tyristorový ovládač servomotorů
Dále mají přímo na přístroji tlačítka nebo ovládače pro ruční řízení a přepínač ručně-automatically.

Každý přístroj má vyvedeno dálkové ovládání ze stavebnice MOZAIKA, které může, ale nemusí být použito. Každý přístroj vydává zpět do nadřazeného subsystému signál READY, je-li připraven k automatickému řízení, tzn. je-li připojen na napájecí napětí a oba přepínače ručně-automatically jsou v poloze pro automatické řízení.

Na obrázku (Obr. 78) je znázorněno začlenění souboru DASUP 600 do klasického řídicího počítače, kterým je diskově orientovaný systém CIRIS. Systém je vhodný pro procesy, u nichž je menší riziko při výpadku počítače. Jinak by nadřazený systém musel být zdvojen.

7.6.3 Příklad koncepce decentralizovaného systému (princip DERIS)

Centralizované systémy mají dva hlavní nedostatky, které se uplatňují tím více, čím větší technologické zařízení řídí. Je to především nebezpečí rozpadu systému při poruše počítače, popř. nutnost zabezpečení provozu zálohovými analogovými regulátory a logickými automaty nebo ručním řízením, pokud je to vůbec možné. Druhou nevýhodou je velké množství kabelů, které je zapotřebí pro spojení všech přístrojů z provozu s ústředním počítačem centrálně přijímajícím, zpracovávajícím a vydávajícím data. Rozsah kabeláže je u většího elektrárenského bloku několik set kilometrů.

Decentralizované systémy využívají několikastupňového řízení již při řízení vlastních technologických procesů. Jsou tvořeny soustavou řídicích členů do značné míry autonomních, které si samy mezi sebou mohou předávat informace, a to v číslicovém tvaru. U popisovaného systému DERIS tvoří tuto soustavu přístroje provozní úrovně, skládající se z členů pro vstup analogových i dvouhodnotových signálů, analogového regulátoru, logických členů pro řízení motorů, servomotorů, elektromagnetů, atd. (Obr. 79). Signály se tak rozdělí na část, která se přenáší mezi členy jedné úrovně, a část, která se přenáší do vyšší úrovně řízení nebo do jiných částí pro zpracování informace.

členy TD1 a TD0 a pro spojení obou sběrnic jsou použity spojovací členy DI a ADI, které mají také funkci nadřazeného analogového regulátoru nebo logického členu.

Při sériově paralelním kódu se pro přenos signálu po jedné sběrnici používá vícežilový kabel, při čistě sériovém kódu koaxiální kabel, popř. kabel ze skleněných vláken.

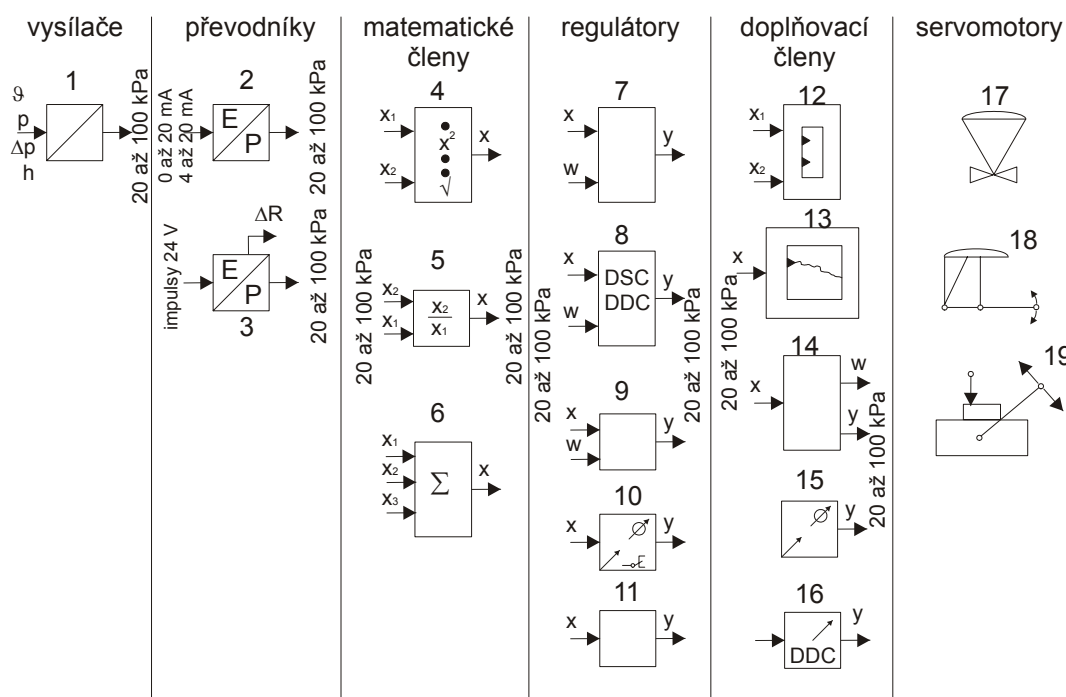
7.6.4 Příklad pneumatického stavebnicového systému

U pneumatických regulačních systémů se jednotný signál po několika pokusech s tlaky řádu stovek pascalů a řádu stovek kilopascalů brzy ustálil na dnešním rozsahu 20 až 100 kPa. Pneumatické systémy byly až do rozšíření elektronických systémů a regulátorů v posledních letech nejvíce rozšířenými spojitými provozními regulátory. Bylo to pro jejich jednoduchost, nízkou cenu, spolehlivost, malé nároky na údržbu a zejména na kvalifikaci údržbářů v porovnání s požadovanou kvalifikací údržbářů elektronických systémů. Ještě dnes mají pneumatické regulátory dominantní postavení např. v chemickém průmyslu pro svou přirozenou nevýbušnost a odolnost proti korozi.

První pneumatické regulační systémy byly budovány s regulátory zabudovanými do ukazovacích nebo zapisovacích přístrojů včetně prvků pro ruční řízení servomotorů, které však byly někdy montovány odděleně. Základem moderních regulačních systémů bývá kompaktní regulátor zajišťující obvykle i poměrovou a vlečnou regulaci. Regulátor bývá doplněn ukazovacími i zapisovacími přístroji jednotné konstrukce, vysílači regulovaných veličin, zejména tlaku, tlakového rozdílu a výšky hladiny, matematickými členy pro zajištění některých aritmetických operací a pneumatickými servomotory a regulačními membránovými ventily. Často bývá členem systému i programátor, tj. generátor spojitého pneumatického signálu libovolného průběhu, který se používá pro programovou regulaci. Není nutné, aby řady snímačů a servomotorů u každého výrobce byly úplné, protože jednotný signál umožňuje sestavit regulátor z přístrojů různých výrobců.

Stavebnice pneumatických regulačních systémů často obsahují elektricko-pneumatické převodníky pro mezisystémový styk s elektronickými systémy, zejména s elektrickými snímači. Tak se výrazně rozšiřuje oblast použití pneumatických regulátorů, popř. se umožňuje jejich spolupráce s řídicími počítači.

Na obrázku (Obr. 80) je struktura pneumatického regulačního systému 3. generace, ve které jsou uvedené přístroje rozděleny ve směru toku signálu do šesti skupin.

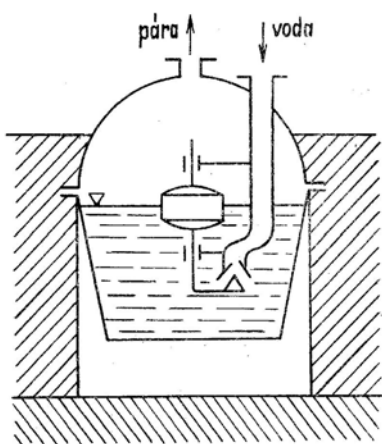


Obr. 80 Struktura pneumatického regulačního systému

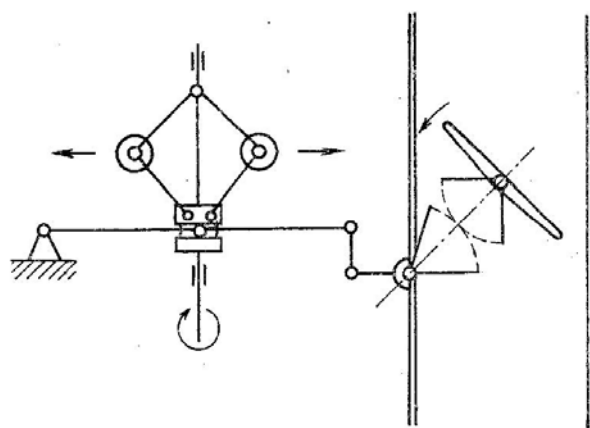
1 — vysílače regulovaných veličin, 2,3 — elektricko-pneumatické převodníky, 4, 5, 6 — počítací, poměrový a sčítací člen, 7 — kompaktní regulátor, 8 — kompaktní regulátor pro spojení s počítačem, 9 — „slepý“ regulátor, 10 — regulátor pro venkovní montáž, 11 — vestavný regulátor, 12 — dvojité ukazovací přístroj, 13 — zapisovač, 14 — ovládač „slepých“ regulátorů, 15 — ovládač servomotorů, 16 — ovládač servomotoru pro spojení s počítačem DDC, 17 — membránový regulační ventil, 18 — membránový servomotor, 19 — pístový servomotor s pevnou zpětnou vazbou

7.6.6 Historie vývoje automatických regulátorů – od přímých regulátorů k řídicím systémům

První regulátory použité v praxi byly: automatický regulátor hladiny I. V. Polzunova z roku 1765 (Obr. 82) a regulátor otáček parního stroje J. Watta z roku 1784 (obr. Obr. 83). Jsou to *přímé regulátory* (nepotřebují pomocnou energii) a jsou proporcionální. O jejich vtipné konstrukci svědčí to, že se používají téměř ve stejném provedení dodnes. Dále se dodnes používají přímé regulátory tlaku a teploty.



Obr. 82 Regulátor hladiny I. V. Polzunova z roku 1765



Obr. 83 Regulátor otáček J. Watta z roku 1784

Přímé regulátory jsou oblíbeny pro svou nízkou cenu, jednoduchost a malou poruchovost. Jsou konstruovány jako proporcionální s neměnným zesílením. Proto je jejich použití omezeno na jednoduché případy integračních (astatických) nebo proporcionálních se setrvačností 1. řádu (jednkapacitních) soustav bez dopravního zpoždění nebo tam, kde nevadí trvalé kolísání regulované veličiny v přijatelných mezích. Použijí-li tyto regulátory pro soustavy s vyšším řádem setrvačnosti, působí většinou jako dvoupolohové regulátory.

S rozšířením požadavků na regulaci dalších veličin, na větší přesnost regulace a na složitější funkce regulátoru (PID) se přešlo na nepřímé regulátory využívající zesilovačů (pro svoji funkci potřebují pomocnou energii). Podle druhu této energie vznikly regulátory hydraulické, pneumatické, elektrické, případně kombinované pomocí mezisystémových převodníků.

V současné době jsou k dispozici řídicí systémy centralizované i decentralizované s možností přenosu dat (měření i řízení) do značných vzdáleností (viz 7.6.5).

ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo vytvoření elektronické učební pomůcky (dále jen e-dokumentu) předmětu *Technické prostředky automatizace I. (TZ-3)*, pro studijní program - Procesní inženýrství, studijní obor - Technologická zařízení.

Nejprve bylo nutné důkladně se seznámit s obsahovou náplní výše uvedeného předmětu. Dále potom navrhnout v souladu s požadavky vedoucího bakalářské práce formu zpracování studijních podkladů a touto formou zadané kapitoly zpracovat.

V první fázi zpracování studijních podkladů pro vytvoření e-dokumentu bylo třeba nejprve podklady naskenovat do počítače jako obrazové soubor (např. JPEG). V této formě ale nebyl text, který obrazové soubory obsahovaly, editovatelný. K převedení obrazových souborů na editovatelný text a obrázky nám posloužil výše popsáný OCR program FineReader 7.0. Po převedení obrazových souborů na text a obrázky, byl text zpracováván v programu MS Word 2003 a většina obrázku překreslena v programovém prostředí CorelDRAW 11. V konečné fázi byl výstup z programu MS Word 2003 převeden do formátu PDF.

Elektronická učební pomůcka byla vyhotovena pro několik programových prostředí.

- Prvním programovým prostředím je Acrobat Reader, pro který byla vytvořena první verze pomocí softwaru Acrobat 6.0 CE Professional. Tato verze e-dokumentu, která je určena především studentům byla zabezpečena heslem (viz 4.3.1) proti úpravám ze strany uživatele, a to z důvodu neoprávněné modifikace obsahu. E-dokument může uživatel jen vytisknout.
- Druhým programovým prostředím je MS Word. Tato verze byla vytvořena v programu MS Word 2003 a je určena pro autora. Dokument již není zabezpečený proti úpravám a autor v ní může provádět jakékoliv změny.
- Třetí verze dokumentu je vytvořena v MS PowerPoint 2003, která bude sloužit autorovi (nebo přednášejícímu) na hodiny přednášek. I tato verze není nijak zabezpečena proti úpravám.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*. 1. vyd. Praha: BEN, 2003. 664 s. ISBN 80-7300-020-2.
- [2] BALÁTĚ, J. a kol. *Technické prostředky automatického řízení*. 1. vyd. Praha: SNTL/ALFA, 1986.
- [3] NAVRÁTIL, P. *Počítačová podpora počítačového řízení - CAAC*. Disertační práce, FT Zlín, Zlín 2004.
- [4] SMUTNÝ, L., KLEČKA, R. *Prostředky automatického řízení 1*. Bakalářská práce, VŠB Ostrava. Ostrava 2004
- [5] SMUTNÝ, L., MARTINEK, R. *Prostředky automatického řízení 2*. Bakalářská práce, VŠB Ostrava, Ostrava 2003
- [6] KONTIS, s.r.o. *e-Learning*. 2001. Propagační materiál firmy Kontis s.r.o.
Dostupné z <<http://www.e-learn.cz>>
- [7] TOPINKA, T. *Vektorový grafický editor 9.0*, Dostupné z:
<<http://www.sgg.cvut.cz/%7Eapg/apg-tutorialas02/ch04s62.html>>
- [8] COREL CORPORATION, *Corel DRAW 11*. Uživatelská příručka, 2003 Corel Corporation
- [9] ABBYY Software Ltd., *Nápověda programu ABBYY FineReader 7.0*. 2003
- [10] ADOBE SYSTEM INCORPORATED, *Nápověda programu Acrobat 6.0 CE Professional*. 2003 Adobe System Incorporated.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Seznam zkratek

CSS	Cascading Style Sheets; kolekce metod pro grafickou úpravu WWW stránek
DCX	Bitmap Graphics file (Multipage PCX)
TIFF	bitmapový komprimovaný obrázek (8/16/24 bit)
BMP	bitmapový obrázek (1/4/8/24 bit) nekomprimovaný (Windows, OS/2)
CSV	Comma Separated Values File
CD-ROM	Compact Disc-Read Only Memory; standard kompaktních disků
CAAC	Computer Aided Automatic Control - počítačová podpora automatického řízení
CADCS	Computer Aided Design in Control System - počítačová podpora projektování v řídicím systému
DBF	databázový soubor programu dBASE
DOS	Disk Operating Systém
DOC	Dokument WordPerfect (Word)
DHTML	Dynamic HyperText Markup Language; dynamické HTML stránky
XML	eXtensible Markup Language; jazyk pro tvorbu WWW stránek
HTML	HyperText Markup Language; jazyk pro tvorbu WWW stránek
ISO	jeden ze způsobů kódování
PCX	komprimovaný bitmapový obrázek (8/24 bit)
GIF	komprimovaný bitmapový obrázek, může být animovaný
JPEG	komprimovaný obrázek (8/24 bit)
MB	Mega Byte; jednotka velikosti
MS	Microsoft; softwarová společnost
MTBF	Mean Time Between Failures; střední doba mezi poruchami
OCR	Optical Character Recognition; optické rozeznávání znaků

PC	Personal Computer; osobní počítač
PHP	PHP: Hypertext preprocesor (dříve Professional Home Pages); skriptovací jazyk
PDF	Portable Document Format
PNG	Portable Network Graphics; komprimovaný obrázek (8 bit/24bit)
AMD	přední výrobce mikroprocesorů
RAM	Random Acces Memory, eneregeticky závislé paměti
RTF	Rich Text Format, Microsoftem vyvinutý na platformě nezávislý formát uložení textu
XLS	soubor (sešit) tabulkového procesoru MS-Excel
PPT	soubor s prezentací programu MS PowerPoint
TXT	textový soubor
WWW	World-Wide-Web; služba Internetu

Seznam symbolů

Δ	-	přírůstek difference
	-	systematická chyba
Δx	-	rozlišovací schopnost přístroje
A	-	zesílení
D	m	průměr
	m	tloušťka, vzdálenost
F	N	síla
	-	pravděpodobnost poruchy
	-	funkce
f	Hz	frekvence
	-	hustota pravděpodobnosti poruch

	-	funkce
h	J.s	Planckova konstanta
	-	rozsah
I	A	elektrický proud
	bit	informační obsah
	-	operátor
n	-	počet diskrétních stupňů měřené veličiny
	s ⁻¹	otáčky
p	Pa	tlak
	-	Laplaceův operátor
	kg.m.s ⁻²	hybnost
Q_m	kg. s ⁻¹	hmotnostní průtok
Q_v	m ³ .s ⁻¹	objemový průtok
R	Ω	elektrický odpor
	m	poloměr
	-	pravděpodobnost bezporuchového provozu
S	m ²	průřez, plocha
T	s	časová konstanta
	h	střední doba mezi poruchami
t _z	h	tecnický život zařízení
U	V	elektrické napětí
v	s ⁻²	rychlost
α	rad	úhel natočení
	-	elektromagnetické záření
	-	činitel fázového posunutí

α_v	-	průtokový činitel ventilu
β	rad	úhel natočení
γ	-	elektromagnetické záření
	-	spektrální citlivost
ε	$C^2.N^{-1}.m^{-2}$	permitivita
	$rad.s^{-2}$	úhlové zrychlení
λ	m	vlnová délka
	h^{-1}	intenzita poruch
ρ	$kg.m^{-3}$	hustota
τ	s	časová konstanta
φ	rad	úhel natočení
	rad	fáze

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výčet názvů tematických okruhů (subsystémů) informačního systému CAAC	13
Obr. 2 Struktura informačního systému CAAC.....	15
Obr. 3 Informační toky informačním systémem CAAC.....	17
Obr. 4 Grafické prostředí programu FineReader 7.0.....	22
Obr. 5 Panel PDFMaker.....	25
Obr. 6 Pracovní plocha CorelDRAW 11	29
Obr. 7 Standardní panel	29
Obr. 8 Panel vlastností.....	29
Obr. 9 Okno nástrojů	30
Obr. 10 Barevná paleta	30
Obr. 11 Ukotvitelné panely.....	31
Obr. 12 Strukturální rozdělení kybernetiky	38
Obr. 13 Hierarchická struktura systému řízení	41
Obr. 14 Řídicí systém	41
Obr. 15 Rozdělení technických prostředků automatického řízení.....	44
Obr. 16 Blokové schéma vícekanálové měřicí soustavy	48
Obr. 17 Blokové schéma automaticky řízené soustavy s počítačem.....	48
Obr. 18 Grafické znázornění životnosti přístroje (soustavy) s intenzitou poruch $\lambda(t)$	52
Obr. 19 Rozdělení snímačů podle fyzikálního principu	53
Obr. 20 Princip činnosti čtyřhladinového plynového laseru	70
Obr. 21 Konstrukční schéma plynového He-Ne laseru	71
Obr. 22 Vazby mezi zesilovacími stupni zesilovače nebo elektrickými obvody	74
Obr. 23 Neinvertující zesilovač	77
Obr. 24 Invertující zesilovač.....	77
Obr. 25 Diferenční zesilovač	77
Obr. 26 Sumátor.....	78
Obr. 27 Integrátor	78
Obr. 28 Derivátor.....	78
Obr. 29 Optoelektronický oddělovací člen HP 6N135	79
Obr. 30 Různé typy elektromechanických relé.....	81
Obr. 31 Reléový zesilovač	81
Obr. 32 Dynamo s cizím buzením jako zesilovač	83
Obr. 33 Zesilovače s vlastním buzením: a) regulex, b) rototrol	84
Obr. 34 Amplidyn.....	84
Obr. 35 Schéma Ward-Leonardova soustrojí	85
Obr. 36 Schéma zapojení elektronkového zesilovače a jeho charakteristika	86
Obr. 37 Zapalovací charakteristika tyratronu	87
Obr. 38 Různé způsoby řízení tyratronu.....	88
Obr. 39 Polovodičové usměrňovací diody a jejich schematická značka	89
Obr. 40 Různé typy tranzistorů a jejich schématické značky a zapojení.....	90
Obr. 41 polovodičové spínače	91
Obr. 42 Využití tyristoru pro řízení otáček univerzálních elektromotorku	91
Obr. 43 Zapojení magnetických zesilovačů.....	93
Obr. 44 Pneumatické výkonové zesilovače	95
Obr. 45 Pneumatický výkonový zesilovač se šoupátkem.....	96
Obr. 46 Hydraulické zesilovací členy (rozvody) s charakteristikami.....	97
Obr. 47 Třístupňový elektricko-hydraulický zesilovač	98

Obr. 48 Čerpadlo s regulovatelným zdvihovým objemem	99
Obr. 49 Činnost tvarovače signálů na vedení	100
Obr. 50 Princip činnosti elektromechanického přerušovače	100
Obr. 51 Blokové schéma modulátoru	101
Obr. 52 Princip modulace nespojitého signálu	102
Obr. 53 Blokové schéma vysílače měřené veličiny	103
Obr. 54 Charakteristika vysílače nebo převodníku	104
Obr. 55 Elektricko-pneumatický převodník	105
Obr. 56 Elektricko-hydraulický převodník	106
Obr. 57 Pneumaticko-hydraulický převodník	107
Obr. 58 Kompenzační převodník A/D	108
Obr. 59 Integrační převodník s dvojnásobnou integrací	109
Obr. 60 Paralelní A/D převodník	109
Obr. 61 Solenoidový ventil	111
Obr. 62 Elektrické servomotory	112
Obr. 63 Pneumatické membránové servomotory	113
Obr. 64 Membránový regulační ventil	114
Obr. 65 Pístový pneumatický servomotor s korektorem	114
Obr. 66 Schéma regulačního membránového ventilu s korektorem	114
Obr. 67 Lehký pneumatický servomotor s odvalovací membránou	115
Obr. 68 Pístový hydraulický servomotor se šoupátkovým rozvodem a pevnou zpětnou vazbou	116
Obr. 69 Tryskový hydraulický rozvod v uspořádání proporcionálního regulátoru tlaku ..	117
Obr. 70 Průběh tlaků v přívodních potrubích silového válce s tryskovým hydraulickým rozvodem na výchylce trysky; $p_0 = 400 \text{ kPa}$	118
Obr. 71 Regulační orgány pro řízení průtoku tekutin	119
Obr. 72 Základní typy charakteristik regulačních ventilů	120
Obr. 73 Tlakové poměry v potrubím řádu	121
Obr. 74 Různé tvary kuželek regulačních ventilů	122
Obr. 75 Různé tvary regulačních klapek a jejich průtočné charakteristiky	123
Obr. 76 Struktura modulového regulačního systému	124
Obr. 77 Základní schéma členu s galvanickým oddělením vstupního obvodu a výstupního obvodu	125
Obr. 78 Diskově orientovaný řídicí systém s přístroji provozní úrovně	128
Obr. 79 Blokové schéma decentralizovaného systému DERIS	130
Obr. 80 Struktura pneumatického regulačního systému	132
Obr. 81 Topologie systému automatického řízení budov METASYS®	133
Obr. 82 Regulátor hladiny I. V. Polzunova z roku 1765	134
Obr. 83 Regulátor otáček J. Watta z roku 1784	134

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Měření posunutí, deformace a rozměrů	56
Tabulka 2 Měření tlaku	57
Tabulka 3 Měření teploty	58
Tabulka 4 Měření vlhkosti	60
Tabulka 5 Měření průtoků a rychlost proudění	61
Tabulka 6 Měření výšky hladiny	62
Tabulka 7 Měření rychlosti, zrychlení a otáček	63
Tabulka 8 Měření sil a krouticích momentů	64
Tabulka 9 Analýza složení a koncentrace látek	66
Tabulka 10 Fyzikální vlastnosti kapalin a pevných látek	67

SEZNAM PŘÍLOH

P 1 : Přenosné médium CD s vytvořenými materiály.