

Automatizace E3

OBSAH:

1. ÚVOD	3
1.1 Historický vývoj automatizace	3
1.2 Důvody automatizace	4
1.3 Přínosy automatizace	5
1.4 Trendy automatizace	5
1.5 Názvosloví a pojmy	6
1.6 Činnost řízení	8
1.7 Vlastnosti členů řízení	9
2. PRVKY ŘÍZENÍ	23
2.1 Prvky pro získání informace	23
2.2 Přenos informace	40
2.3 Vyhodnocení informace	43
2.4 Využití informace	44
3. LOGICKÉ ŘÍZENÍ	49
3.1 Booleova algebra (logická algebra)	49
3.2 Kombinační obvody	50
3.2.1 Popis kombinačních logických funkcí	50
3.2.2 Základní logické funkce	51
3.2.3 Zjednodušování logických funkcí – minimalizace	53
3.2.4 Realizace logických funkcí	54
3.3 Sekvenční obvody	57
3.3.1 Popis sekvenčních obvodů	58
3.4 Pneumatické obvody	59
3.5 Elektropneumatické obvody	59
4. REGULAČNÍ TECHNIKA	60
4.1 Regulované systémy	60
4.2 Spojité regulátory	62
4.3 Nespojitý regulátory	68
4.4 Číslicové regulátory	72
4.5 Programovatelné automaty (PLC)	75
4.5.1 Technické vybavení PLC	76
4.5.2 Programové vybavení PLC	80
5. PŘÍKLADY REALIZACE	83
5.1 Výroba el. energie	83
5.2 Přenos el. energie	89
5.3 Využití el. energie	91
5.4 Základy robotiky	94

Tato publikace je určena výhradně pro potřeby SPŠ a VOŠ Chomutov

1. ÚVOD

Automatizací rozumíme proces náhrady fyzické a duševní práce člověka činností strojů. Již sám název *automat* vznikl z řeckého slova *automátos* = „sám o sobě konající“.

Účelem automatizace je úplné nebo částečné odstranění člověka z procesů, které chceme automatizovat. Automatizace se rozděluje na dvě základní složky. První je ulehčení fyzické práce člověka pomocí prostředků mechanizace, kdy se používají jednoduché fyzikální stroje. Druhou je ulehčení duševní práce. Potom mluvíme o komplexní automatizaci a informačně řídicích systémech.

1.1 Historický vývoj automatizace

Počátky automatizace se datují již od starověku. Tehdy vznikaly v Alexandrii první umělé zázraky: vrata chrámu se sama otvírala, kovoví ptáci zpívali a kovové sochy postříkovaly věřící posvátnou vodou. Všechny tyto „zázraky“ způsobovalo využití páry a teplého vzduchu v zařízení, které zkonstruoval alexandrijský učenec Herón. Jeho zařízení pracovala na principu teplovzdušného motoru a jednoduchých fyzikálních strojů, jejichž principy popsal Herón v knize „Pneumatika“. Ve starověku spolu se vznikem prvních jednoduchých strojů jako byla vodní kola, která čerpala vodu pro zavlažování polí a napájení dobytka, vznikala také zařízení a první mechanismy, které vykazovaly automatické chování. Například ve mlýnech bylo používáno jednoduché zařízení, které regulovalo přísun zrní mezi mlýnské kameny v závislosti na jejich otáčkách.

Ve středověku vznikaly různá mechanická zařízení podporující především těžbu nerostů a rud. Tehdejší těžební technika se neobešla bez zdvihacích vrátků, vodních čerpadel, drtičů a mlýnů. Pro náboženské účely vznikaly orloje, zvonkohry, varhany a různé mechanické hračky – jejich autory byli především hodináři. Tyto automaty již obsahovaly jednoduché programovací zařízení v podobě např. válce s kolíčky, kotouče s otvory, zářezy apod.

S nástupem kapitalismu rostla poptávka po zařízeních, která by především zvyšovala produktivitu práce: Wattův regulátor otáček parního stroje (1775), Jacquardův (žakárův) tkalcovský stav (zhotoven kolem roku 1800), u kterého bylo již možno „naprogramovat“ vzor látky pomocí destiček s otvory, které procházely „čtecím zařízením“. Byly to předchůdci děrných štítků a děrné pásy. První průmyslová revoluce představovala velký technologický a sociálně ekonomický převrat, vyvolaný a charakterizovaný hromadným zaváděním strojů do výroby. Zavádění čím dál vyššího stupně automatizace výroby neslo spolu se zvyšující se produktivitou i sociální problémy. Přesto se automatizace rozšiřovala ve všech oblastech společnosti. Koncem 19. století přišel s dalším pokrokem v automatizaci Henry Ford s jeho sériovou výrobní linkou. V první polovině 20. století se symbolem automatizace staly centralizované velíny – vodní a parní elektrárny, automatizované výrobní linky, řídicí věže letišť, kabiny dopravních letadel, řízení provozu na nádražích, můstky zámořských lodí atd. Stěny takových pracovišť byly pokryty stovkami zabudovaných panelových měřících přístrojů, různých zapisovačů, indikačních světelných prvků, vypínači, prepínači a jinými ovládacími prvky. Práce na takových velínech vyžadovala mnoho pracovníků, jejich plné soustředění a rychlé reakce, rozhodování a zásahy do řízené technologie. Zajistit spolehlivost takových složitých systémů se stávalo s jejich rostoucí složitostí často velkým problémem.

Během druhé světové války se zvýšily požadavky na zbrojní výrobu a tím se zvýšily požadavky na automatizaci výroby. S rozvíjející se elektronizací řídicích systémů, vznikem kybernetiky, která popsala obecné principy automatického řízení, vznikaly podmínky pro sestrojení prvních samočinných počítačů. Impuls k tomu dodala potřeba dešifrovat komunikaci velitelství válečných operací s vojenskými jednotkami (šifrovací systém Enigma vs. Colossus 1943). Mezi první samočinné počítače patří mechanický počítač Z1 (Konrad Zuse 1936) a reléový počítač MARK I (1937) a později elektronkový počítač ENIAC (1946). Do počátku

éry samočinných počítačů stavěl člověk stroje, které znásobovaly jeho sílu, rychlost, vidění a automatizovaly jeho fyzickou práci. Nyní však dovedl postavit stroj, který do určité míry dovedl rychle napodobit duševní práci člověka, a mohl jej využít k realizaci složitých řídicích systémů. Počítače 2. a 3. generace, které už využívaly tranzistory a integrované obvody, byly používány pro vědeckotechnické výpočty, hromadné zpracování dat a též jako speciální řídicí počítače. Tím se podstatně změnil vzhled dispečerských pracovišť a velínů, kdy místo stovek měřících přístrojů má obsluha k dispozici řadu obrazovek, na kterých si může zobrazit požadované údaje podle momentální potřeby.

Nástup mikroprocesorů v 70. a hlavně v 80. letech umožnil automatické řízení strojů a zařízení pomocí mikroprocesoru, který byl jejich součástí. Mohla být tak realizována „pružná“ automatizace, kdy ke změně automatizovaných funkcí stačila rychlá výměna řídicího programu. Na tomto principu jsou založeny současné programovatelné automaty, CNC systémy pro obráběcí a jiné výrobní stroje, programovatelné regulátory atd. Poslední etapu tvoří využití PC pro průmyslovou automatizaci, což značně snižuje náklady na automatizované systémy. Podstatné snížení ceny číslicových obvodů, jejich rozsáhlé schopnosti a zvýšení spolehlivosti způsobilo, že analogová automatizační technika, založená na zpracování spojitého signálu je stále častěji nahrazována automatizační číslicovou technikou. Automatizační prvky jsou čím dál více zaváděny do domácností: žehličky, pračky, mikrovlnné trouby, myčky nádobí, kuchyňské roboty, CD přehrávače atd.

1.2 Důvody automatizace

Pro zavádění automatizace je mnoho důvodů, které můžeme rozdělit do několika skupin:

a) vynucená automatizace

- zabránění ohrožení člověka nebo zhoršení jeho pracovních podmínek,
- práce v extrémních podmínkách, práce ve zdravotně závadných podmínkách (příliš horké, mrazivé, radioaktivní a infekční prostředí),
- nahrazení člověka z důvodu vyloučení jeho chyb (automatický pilot, zabezpečovací zařízení na železnici atd.),
- odstranění fyzické námahy a zdravotně škodlivých vlivů,
- náhrada člověka z hlediska rychlosti, přesnosti a množství jeho reakcí,
- sledování a řízení velkého počtu procesů, jejich veličin a parametrů (elektrárny, chemičky, doly, navigace, počítání osob, nápojové automaty atd.),
- lepší jakost výroby (rovnoměrné stříkání karoserie, dodržení váhy potravin),
- tam kde není možná přítomnost člověka (hlubiny oceánů, kosmos, regulace tepu),

b) automatizace z ekonomického hlediska

- snížení výrobních nákladů (mzdy, materiálu),
- snížení režijních nákladů,
- zvýšení produktivity práce a objemu výroby,
- zkrácení průběžné doby vývoje a výroby,
- pružná reakce na přání zákazníka,
- nadstandardní jakost,

c) jiné důvody

- zvyšování pohodlí člověka: dálkové ovládání,
- poskytování informací: o chodu přístroje, stroje, o stavu technologie,
- ekologické: monitorování stavu nečistot, řízení optimálního spalování,
- zábavní průmysl: hrací automaty, dětské hračky.

1.3 Přínosy automatizace

Zkrácení doby výroby a možnost rychle reagovat na požadavky zákazníka,

Podstatné zvýšení jakosti: odstranění lidských zásahů do výrobního procesu zvyšuje jeho kvalitu, spolehlivost a přesnost,

Udržení vysoké produkce

Snížení výrobních nákladů: lepší organizace výrobních procesů, úspora materiálu, úspory skladovacích a výrobních ploch, snížení nákladů na nekvalitní výrobu, úspory energií všeho druhu v důsledku jejich přesného měření a regulace, odstranění drahé lidské práce, snížení dodatečných mzdových nákladů (přesčasy, práce o svátcích), využití levných sazeb elektrické energie (noční proud),

Zvýšení stability výrobního procesu: dosažení vysoké a rovnoměrné kvality, dodržení sjednaných termínů a nákladů,

Optimalizace výrobních nákladů: rychlé a přesné měření různých parametrů, vyhodnocení zjištěných hodnot a provedení potřebného zásahu v reálném čase. Zajištění rychlých a přesných informací o stavu a průběhu celého výrobního procesu (**vizualizace**).

1.4 Trendy automatizace

Automatizace je oborem, který se velmi rychle vyvíjí, a proto je velmi obtížné přesně stanovit trendy jejího vývoje. Přesto je potřeba tyto trendy respektovat, aby projektované automatizované systémy nebyly zastaralé, aby pracovaly co nejefektivněji. Jelikož automatizační zařízení jsou využívána v rozmezí 7 až 15 let, je nezbytné tyto vývojové trendy sledovat, aby navrhovaná automatizovaná zařízení vyhověla současným i budoucím požadavkům uživatele a přinesla mu maximální užitek při minimálních nákladech.

Automatizace je jedním z nejdynamičtějších technických oborů. Je to mezioborová disciplína, která využívá nejmodernější mikroelektronické součástky a přebírá nejnovější výsledky (informace, postupy a výsledky výzkumu i standardní výrobky) z různých oborů, především z elektroniky a techniky počítačů, informatiky a komunikační techniky, ale i z měřicí techniky, techniky pohonů a zabezpečovací techniky. Dnes je kvalitní a inteligentní řízení dostupné i pro běžné stroje, pomocné mechanismy, pro technologická i nevýrobní zařízení. Pro výrobní firmy představuje a čím dál více bude představovat prostředek pro zvyšování konkurenceschopnosti. Proto všechny progresivní firmy plánují ještě výraznější zavádění automatizace pro třetí tisíciletí.

Stále více se automatizace prosazuje v nevýrobních procesech:

malá energetika: malé vodní elektrárny, větrné elektrárny, využití solární energie,

technika budov: elektroinstalace, světelná technika, tepelná a chladicí technika, vzduchotechnika, klimatizace, řízení netradičních a obnovitelných energetických zdrojů, vodního hospodářství, a čistíren vod,

logistické systémy: skladové hospodářství, manipulační a dopravní systémy, výtahy, automatické dveře, přístupové a sledovací systémy, technická diagnostika a zabezpečovací technika, automatické měřicí a monitorovací systémy, systémy dálkového ovládání, nápojové a jiné prodejní automaty,

domácnost a spotřební výrobky: regulátory vytápění bytů a rodinných domků, měření spotřeby, zabezpečovací technika, automatické pračky a myčky, vybavení automobilů, elektrospotřebiče, audiovizuální přístroje a hračky,

herní a zábavní průmysl: sportovní trenažéry s řízením výkonu sportovce, multiplatformní hry pro týmy hráčů (e-sport), simulátory dopravních prostředků (letadel, vlaků, lodí, autobusů, tramvají ...), erotické pomůcky,

mikroelektronika: další zmenšování rozměrů a spotřeby elektrické energie, zvýšení spolehlivosti automatizace zabudováním diagnostických funkcí, snížení ceny automatizačních prostředků, zkrácení doby návrhu a zavádění automatizace,

komunikační technika: součástí automatizace je i komunikační technika. Je důležitá pro spojení řídicích systémů navzájem, pro jejich připojení k PC nebo k počítačové síti informačního systému, ale i k připojení k dalším spolupracujícím zařízením. Např. v tomto století se očekává nárůst počtu různých zařízení a systémů připojených na internet (IoT). Automatizační prostředky se přisouvají co nejbližší k řízenému systému a řízenému procesu a s centrálním řídicím systémem, mezi sebou navzájem a s ostatními částmi automatizovaného systému komunikují prostřednictvím datové sítě,

využití automatizace pro člověka: monitorování zdraví člověka (měření tlaku, teploty, tepu, dechu, pohybu atd.) s následným hlášením zjištěných mimořádných odchylek, použití domácích robotů (úklid, vaření), navigace automobilů, pomoc tělesně postiženým,

využití umělé inteligence v automatizaci: rozpoznávání obrazů, robotické vidění, komunikace strojů, expertní systémy pro diagnostiku a opravy řídicích systémů a složitých strojů,

nové principy činnosti automatizačních prostředků: lze očekávat, že se mohou objevit vedle již rozvíjených směrů jako jsou fuzzy řízení, neuronové sítě a evoluční algoritmy, další dosud neznámé oblasti matematických a fyzikálních postupů (např. získané pomocí umělé inteligence),

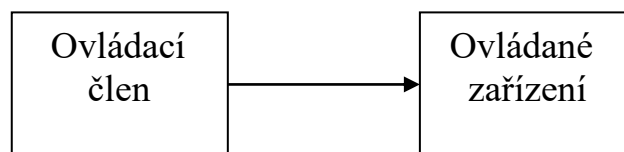
úspory energií a ekologie: úspory energií zkvalitněním regulace, větší využití méně výkonných alternativních zdrojů energie, využívání zařízení s řízenou akumulací a spotřebou energie.

1.5 Názvosloví a pojmy

Řízení je působení řídicího členu na člen řízený. Bývá to více či méně složité zařízení, ve kterém se snažíme dosáhnout předem stanoveného stavu.

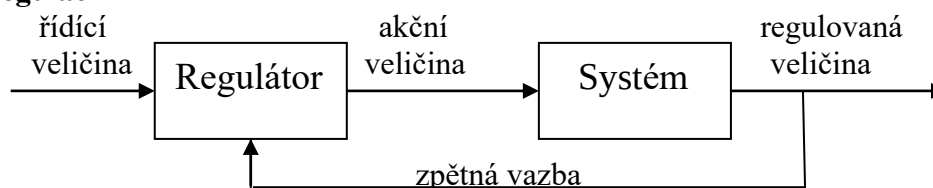
Řízení můžeme rozdělit na: řízení ovládáním, řízení regulací, řízení kybernetickým zařízením.

a) řízení ovládáním



Ovládací člen vykonává samočinně daný úkol určitým sledem operací, ale sám nekontroluje činnost ovládaného zařízení. Ovládací člen nemá zpětnou vazbu. Použití: jednoduché stroje ovládané člověkem, obráběcí stroje, cyklické automaty.

b) řízení regulací



Řízení udržuje samočinně požadované vlastnosti daného pochodu (daného systému) na požadované hodnotě. Řízení má zpětnou vazbu a tím kontroluje činnost systému.

c) kybernetické řízení

Jedná se o uzavřený celek, kde dochází k samočinnému řízení a kde kybernetické zařízení si samo volí podmínky a způsob tohoto řízení podle předem stanovených kritérií vypracovaných člověkem. V podstatě se jedná o řízení regulací doplněné o další blok, který průběžně ovládá nastavení parametrů regulátoru podle aktuálního stavu systému, poruch a požadované hodnoty.

Základní pojmy regulace

Základními pojmy v regulaci jsou následující odborné termíny. V odborné literatuře jsou jejich významy ustálené a často uváděné i v anglickém překladu. Těmito pojmy jsou: *regulovaný systém*, *regulátor*, *regulovaná veličina*, *řídící veličina*, *akční veličina*, *poruchová veličina* a *regulační odchylka*. Vlastnosti a vzájemné vztahy těchto pojmů ovlivňují chování regulačního obvodu a tím i kvalitu regulace.

regulace: její úlohou je nastavit určitou veličinu na požadovanou hodnotu a udržovat ji při působení poruch (vnějších rušivých vlivů) na této hodnotě,

regulovaný systém: je soubor technických zařízení (dříve se uváděl pojem soustava) vytvářející jeden funkční celek, na kterém provádíme regulaci neboli zařízení, které regulujeme,

regulátor: je zařízení, které samočinně provádí regulaci,

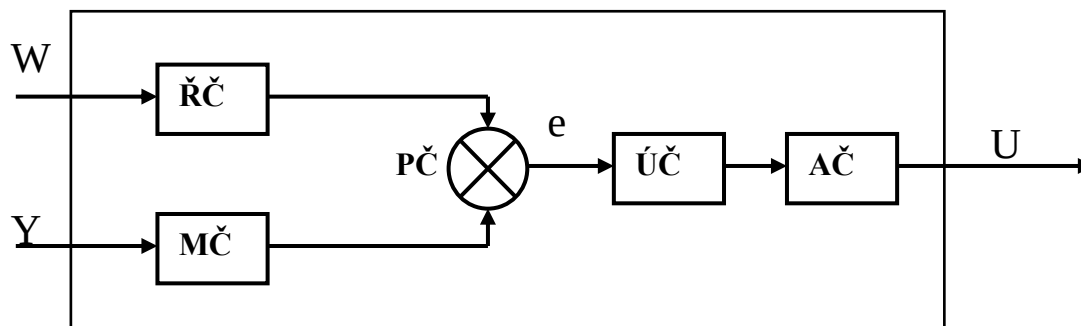
regulovaná veličina: je veličina, která je regulací upravována podle stanovených podmínek. Regulovanou veličinou může být téměř jakákoliv fyzikální veličina např.: teplota, rychlost, délka, otáčky, napětí, proud, výška hladiny, tlak, hustota, koncentrace, osvětlení, vlhkost, průtok atd. Regulovaná veličina je výstupní veličinou systému.

řídící veličina (požadovaná hodnota): je vstupní veličina, kterou udáváme hodnotu, na kterou má být regulace nastavena, tuto veličinu vytváří ovládací prvek (potenciometr, přepínač, digitální panel, číselná hodnota v programu, předpětí pružiny, výška odtoku apod.),

akční veličina: je to veličina, pomocí které ovlivňujeme systém a tím regulovanou veličinu. Akční veličinu vytváří akční člen a je transformována tak, že silově působí na systém (otevření nebo zavření ventilu, zvýšení nebo snížení otáček motoru apod.) Akční veličina je současně vstupní veličinou systému.

poruchová veličina: zastupuje vnější vliv působící na systém, jehož působením se mění energetická rovnováha a vlastnosti systému.

Blokové schéma regulátoru



ŘČ...řídící člen: pro nastavení žádané hodnoty (vstup požadované hodnoty = ovládací prvek),

MČ...měřící člen: pro určení skutečné hodnoty regulované veličiny (senzor),

PČ...porovnávací člen: porovnává naměřenou a žádanou hodnotu regulované veličiny ($w-y$),

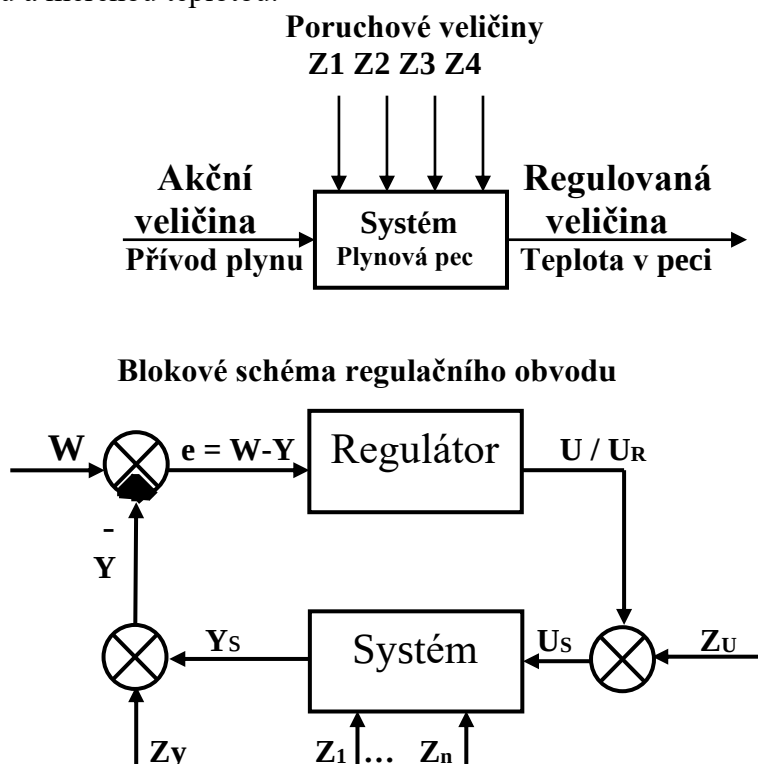
ÚČ...ústřední člen: zpracovává regulační odchylku e ,

AČ...akční člen: vytváří akční veličinu a působí na systém (výkonový výstup),

1.6 Činnost řízení

Chceme-li udržovat teplotu plynové pece, která se skládá z hořáků, roštů, vyzdívky, vnějšího pláště a tepelné izolace (regulovaný systém), na žíhací teplotě, budeme měnit množství přiváděného zemního plynu (velikost průtoku plynu na přívodu do pece). Teplota je v tomto případě regulovanou veličinou a je ovlivňována akční veličinou (polohou ventilu plynu). V našem případě množstvím přiváděného plynu. Regulaci potřebujeme tehdy, jestliže regulovaná veličina sama nezůstává na požadované hodnotě, ale působením vnějších vlivů, poruchových veličin, má snahu měnit svoji hodnotu. Poruchové veličiny mohou být v tomto případě tyto: Z1: kolísání tlaku plynu, Z2: nestálá výhřevnost plynu, Z3: změna teploty okolí, Z4: kolísání odběru tepla z pece vsazením nových chladných polotovarů.

Při nové vsázce do pece teplota poklesne. Porovnáním řídicí a regulované veličiny vznikne regulační odchylka ($e = w - y$). Dejme tomu, že žíhací teplota je $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a naměřená teplota v peci poklesla při nové vsázce na $340\text{ }^{\circ}\text{C}$. Potom odchylka je $e = 400 - 340 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Regulátor tuto hodnotu zpracuje, a protože je odchylka kladná, zvětší akční veličinu na svém výstupu tzn. více otevře ventil přívodu plynu. Hořáky budou spalovat více plynu, vyprodukují více energie a začnou ohřívat vsázku v peci. Teplota v peci se začne zvyšovat až do požadované hodnoty. V okamžiku, kdy teplota dosáhne požadovanou hodnotu je $e = 0$ a regulátor přestane zvětšovat akční veličinu. Při překročení požadované hodnoty vznikne záporná odchylka a regulátor zmenší akční veličinu (např. $e = 400 - 420 = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$) (tj. přivře regulační ventil plynu) a pec začne chladnout. Tento proces se neustále opakuje a regulátor neustále vyrovnává rozdíly mezi požadovanou a měřenou teplotou.



Y...regulovaná veličina: veličina, jejíž hodnota se regulací upravuje na požadovanou hodnotu,

UR...akční veličina regulátoru: výstupní veličina regulátoru (bez vlivu poruchy Z_U),

Us...akční veličina systému: vstupní veličina systému, která vznikne působením náhradní poruchy Z_U na systém – přičte se k akční veličině regulátoru U_R : $U_S = U_R + Z_U$,

W...řídící veličina: veličina, která určuje žádanou hodnotu regulované veličiny (work value),

Z...poruchové veličiny:

Z1...Zn: skutečné poruchy působící na systém (mnohdy není možné jejich vliv určit),

Zu: porucha působící v místě akční veličiny (náhrada za skutečné poruchy),
Zy: porucha působící v místě regulované veličiny (náhrada za skutečné poruchy),
Ys...regulovaná hodnota systému: naměřená hodnota na výstupu systému,
e...regulační odchylka: rozdíl mezi řídicí (požadovanou) veličinou a skutečnou hodnotou regulované veličiny (error value), platí: $e = w - y$.

1.7 Vlastnosti členů řízení

Technické prostředky, které jsou použity jako členy řízení (prakticky jakákoliv technika použitá v automatizaci) se svými vlastnostmi výrazně podílí na kvalitě regulace. Nejvýrazněji se v regulačních obvodech projevují vlastnosti regulovaných systémů a ústředních členů regulátorů. Členy regulačních obvodů hodnotíme podle jejich statických (klidových) vlastností a podle jejich dynamických (pohybových) vlastností. Obecně se členy řízení rozdělují do skupin podle následujících kritérií:

a) podle vztahu k informaci se rozlišují:

Prostředky pro získávání informace jsou čidla a senzory. Jejich smysl spočívá v tom, že převedou určitý fyzikální nebo chemický stav na veličinu snadno pozorovatelnou, přenositelnou a snadno zpracovatelnou. Je jich nejméně tolik, kolik existuje fyzikálních a chemických veličin násobených množstvím měřících rozsahů a množstvím fyzikálních principů čidel. Část jejich konstrukce často tvoří zařízení pro transformaci signálu.

Prostředky pro přenos informace souvisí s druhem energie, které je pro přenos informace použito i se způsobem modulace signálu. Druh použité energie ovlivňuje rychlost šíření, dosah signálu i ekonomicky přenositelný výkon.

Prostředky pro zpracování informace jsou takové prostředky, které ze vstupních informací vytvářejí informace nové - např. regulátory, členy pro matematické a logické operace atd.

Prostředky pro uchování informace jsou různé druhy pamětí – od záznamu na papír až po digitální záznamníky a paměti počítačů.

Prostředky pro využití informace jsou zařízení, která umožní výslednou informaci, která vznikne jako výsledek procesu řízení, transformovat do konečného zásahu do řízeného objektu, aby bylo dosaženo cíle řízení.

b) podle energie – nejčastěji používané energie v technické praxi, kterým je přiřazena (namodulována) informace jsou: energie mechanická, elektrická, elektromagnetická, pneumatická, hydraulická a optická,

c) podle druhu signálu – signály a tím i prostředky se dělí na analogové (spojité) a diskrétní (nespojité) a dále pak podle jednotlivých modulací. Každý signál se též vyznačuje i svým definovaným rozsahem. Rozlišují se signály přirozené, jednotné a unifikované:

Přirozené (fyzikální) signály mají vlastnosti a rozsah vyplývající z principu jejich vzniku např. termoelektrické napětí termočlánku.

Jednotné signály mají přesně definované rozsahy, ale připouští volbu mezi několika alternativami. Pro zvolené uspořádání je však signál jednotný.

Unifikované signály jsou jednoznačně definovány téměř v celosvětovém měřítku. Jsou to základní signály: napětí 0 až 10 V, proud 4 až 20 mA a tlak 0 až 100 kPa.

d) podle konstrukce se rozlišují:

Jednouúčelová zařízení nelze obvykle používat pro jiné než předem úzce vymezené účely. Jejich konstrukce je optimalizována pro daný účel použití (regulátory teploty v bytě, v chladiči automobilu, regulátor hladiny – splachovadlo).

Stavebníkové prostředky se používají se tam, kde roste různorodost potřebných aplikací a kde klesá jejich četnost. Umožňují pomocí relativně malého počtu základních stavebních jednotek dosáhnout jejich kombinacemi velmi značného počtu relativně optimálních aplikací. Ve většině případů však příliš členěná stavebnice prodražuje aplikaci.

Kompaktní prostředky využívají toho, že některé části zařízení se v různých aplikacích opakují a že je tedy vhodné zkonstruovat určité kompaktní celky a pomocí nich sestavovat vyšší funkční struktury.

e) podle interakce s okolím se rozlišují konstrukce prostředků podle následujících hledisek:

- ochrana proti nebezpečnému dotyku (krytí IPxy proti vniku předmětu a vniku vody),
- ochrana proti klimatickým vlivům a korozivitě atmosféry,
klimatické zóny podle normy se dělí na: arktické, mírné, tropické a pouštní, každá zóna má svou specifikaci:
 - *arktické klima*: nízké teploty, vysoká vlhkost, nízká korozivita,
 - *mírné klima*: teploty v rozsahu -10 až +30 °C, střední vlhkost, střední korozivita,
 - *tropické klima*: vysoké teploty, vysoká až 100 % vlhkost, odolnost proti hmyzu (mravenci, termiti) a proti hlodavcům, a také odolnost proti plísním a houbám a kondenzace vlhkosti, velmi vysoká korozivita,
 - *pouštní klima*: velké kolísání teplot od -10 do +60 °C, vysoká prašnost, nízká korozivita,
- ochrana proti explozi:
 - *prostředí s nebezpečím výbuchu*: tam kde se vyskytují hořlavé plyny nebo zvířený jemný prach (hlubinné doly, mlýny obilí, brusírny kovů apod.) je nutné zařízení vybavit protiexplozivním uzávěrem,
 - *prostředí bezpečné* úpravu zařízení nevyžaduje.

Všechna tato hlediska jsou deklarována příslušnými normami i s příslušnými informacemi pro splnění podmínek odolnosti.

f) podle funkce se rozlišují:

Prostředky pro ovládání nepracují ve zpětné vazbě a často pracují nespojitě. Jsou to prostředky elektrické, elektronické, pneumatické, elektropneumatické, hydraulické a elektrohydraulické. Jsou schopny pracovat podle programu a v hierarchickém uspořádání.

Prostředky pro regulaci pracují zásadně ve zpětnovazebním zapojení s řízeným objektem. Dělí se na spojitě, diskrétně a číslicově.

Prostředky pro signalizaci jsou určeny pro řízení nebo upozornění na změněný stav systému, obvykle překročení povolených fyzikálních nebo chemických hodnot veličin systému, času nebo jiných informačních parametrů systému.

Prostředky pro zabezpečení mají za úkol nepřipustit havárii sledovaného systému. Vycházejí ze zařízení signalizačních, avšak mají nastavení mezních hodnot zařízení blíže k nepřipustným stavům. V případě překročení těchto nastavených hodnot provede zabezpečovací zařízení automatickou odstávku sledovaného zařízení tak, aby nemohlo dojít k havárii. Zabezpečovací zařízení, která sledují technický stav systému jsou vybaveny paměťovým zařízením, které registruje, v které části zařízení došlo k překročení povolených parametrů, aby bylo možno dodatečně identifikovat závadu.

Prostředky pro vyšší řízení vychází z prostředků pro ovládání a regulaci, výpočetní techniky, prostředků pro komunikaci a souboru speciálního softwarového vybavení.

Pomocná zařízení jsou taková, která se nepodílí přímo na toku informace systémem, ale jsou pro práci zařízení nezbytná. Jsou to veškeré zdroje energie, zařízení pro jejich úpravu, rozvody energie, rozváděčové skříně atd.

Statické vlastnosti prostředků

Statické vlastnosti každého systému jsou dány jeho parametry v ustáleném stavu. Je to citlivost, přesnost a spolehlivost. První dva parametry souvisí se statickou charakteristikou.

Statická charakteristika:

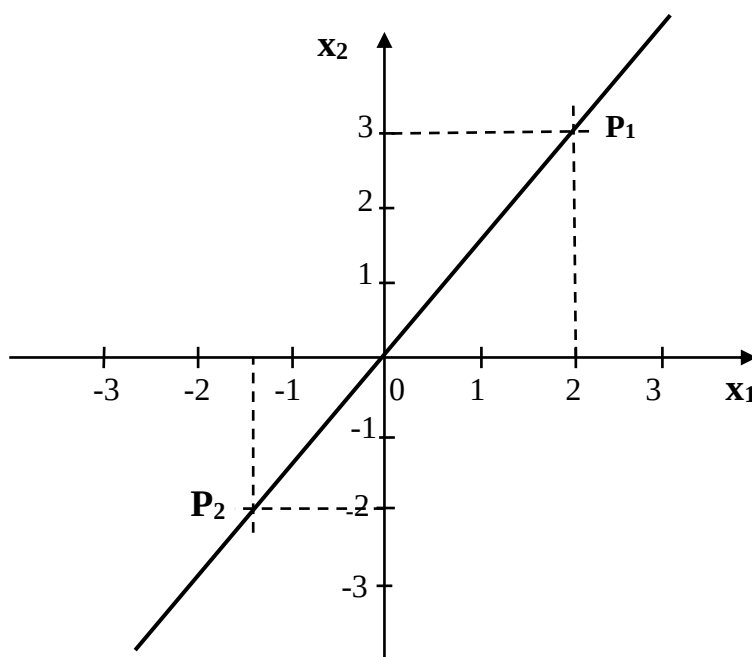
- vyjadřuje závislost výstupního signálu x_2 na vstupním signálu x_1 v ustáleném stavu

(po odeznění všech přechodových jevů),

- statickou charakteristiku lze vyjádřit matematicky funkcí $x_2 = f(x_1)$ nebo graficky (grafem),

- pokud má statická charakteristika tvar přímky, jedná se o lineární člen s lineární charakteristikou, pro kterou platí $x_2 = K \cdot x_1 + q$ (rovnice přímky). Prochází-li lineární charakteristika počátkem je $q=0$ a lze v kterémkoliv bodě určit poměr tzv. **statické zesílení**:

$K = \frac{x_2}{x_1}$. Lineární charakteristika je vhodná pro další práci (interpolace hodnot a superpozice výsledků).



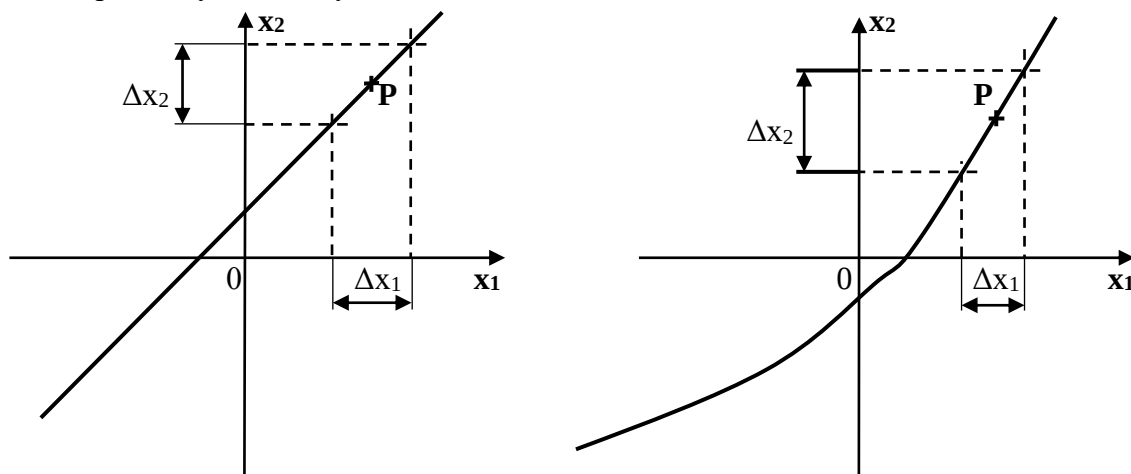
Obr.1. Statická charakteristika lineárního členu

Neprochází-li statická charakteristika počátkem (charakteristika má posun $q=x_2$ při $x_1=0$) nebo není-li charakteristika čistě přímková (tzv. kvazilineární člen), určíme statické zesílení z poměru přírůstků výstupní a vstupní veličiny. U nelineární charakteristiky volíme pracovní bod v oblasti, kde je průběh charakteristiky téměř lineární (v případě, že požadujeme lineární chování členu).

Některé přístroje mají charakteristiku nelineární danou jejich fyzikálním principem. U některých vzniká nelinearita např. nedokonalou výrobou nebo opotřebením a stárnutím. Pokud má přístroj nelineární charakteristiku provádí se linearizace charakteristiky a vzniklé odchylky zahrnujeme do chyby přístroje. **Linearizace** se provádí buď **v pracovním pásmu** (např. matematickou metodou tětiny, nebo metodou nejmenších čtverců a dalšími) nebo **v okolí pracovního bodu**, která spočívá v náhradě části charakteristiky její tečnou v okolí pracovního bodu (matematicky to je funkce první derivace křivky v daném bodě), nebo při nízkých požadavcích na přesnost přímkou procházející **pracovním bodem** a počátkem souřadnic.

Při linearizaci se vychází z přírůstků veličin, které mohou být nahrazeny střídavými signály malé amplitudy. Zesílení určené na základě přírůstků je dynamická veličina tzv. *diferenciální zesílení* neboli *dynamické zesílení*.

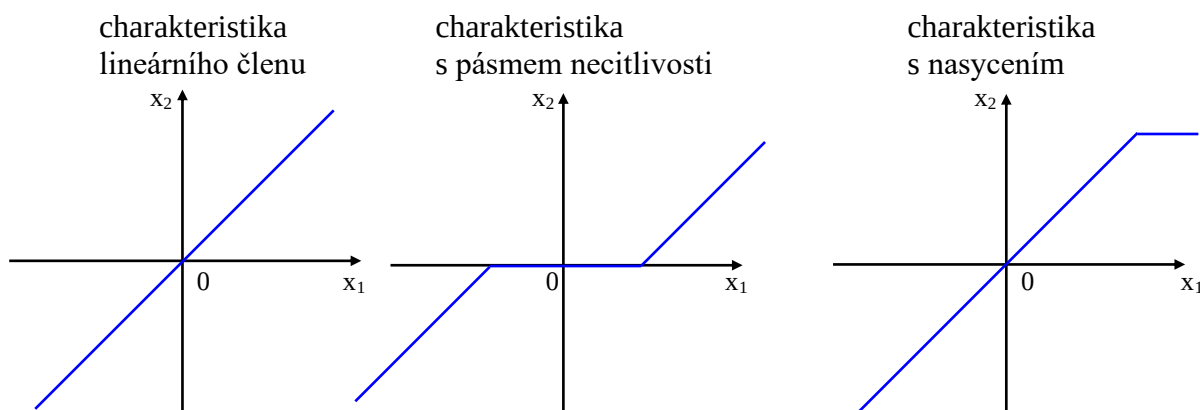
Tento postup se využívá např. při určování proudového zesilovacího činitele bipolárních tranzistorů, strmosti elektronek a unipolárních tranzistorů, vstupních a výstupních odporů obvodů z příslušných statických charakteristik.



Obr.2. Určení zesílení u charakteristiky neprocházející počátkem a u kvazilineárního členu

V pracovním bodě P lze určit zesílení jako: $K = \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1}$

Kromě obecných nelinearit se vyskytují tzv. typické nelinearity:



Obr.3. Statické charakteristiky a různé druhy nelinearit

Citlivost: - poměr velikosti vstupního signálu k výstupnímu signálu v ustáleném stavu,
 - tangenta tečny statické charakteristiky (derivace) v daném bodě,
 - má fyzikální rozměr určený fyzikálním rozměrem vstupního a výstupního signálu,
 - mají-li oba signály stejný fyzikální rozměr, „dostaneme“ bezrozměrné číslo (zesílení),

Necitlivost: je šířka pásma, ve kterém může kolísat vstupní veličina, aniž by se změnila hodnota výstupní veličiny

Statickou charakteristiku zařízení můžeme získat buď teoretickým výpočtem po fyzikální analýze zařízení, nebo změřením. Teoretická charakteristika se od reálné liší, proto ji vždy ověřujeme měřením. Nesouhlas mezi charakteristikou teoretickou a skutečnou nazýváme chybou. Velikost chyb vyjadřuje přesnost zařízení.

Přesnost (přístroje, zařízení) je schopnost udávat za stanovených podmínek správnou hodnotu měřené veličiny, pokud je dokonale definována za podmínek existujících v okamžiku jejího zjišťování.

Chyby rozdělujeme podle vlastností na chyby absolutní a relativní.

Absolutní chyba je rozdíl mezi údajem přístroje a skutečnou hodnotou měřené veličiny.

Relativní chyba je podíl absolutní chyby ke skutečné hodnotě, udává se obvykle v procentech.

Podle způsobu vzniku dělíme chyby na chyby hrubé, systematické a náhodné.

Hrubé chyby vznikají mimořádně, buď za zvláštních okolností, nebo nepozorností obsluhy. Jejich hodnoty silně vybočují z výsledků měření – údaje zatížené těmito chybami vypouštíme.

Systematické chyby jsou způsobeny chybou měřicí metody a chybou pozorovatele.

Náhodné (stochastické) chyby jsou způsobeny nedefinovatelnými vlivy, jako jsou kolísání teploty, tření, náhodné otřesy, proměnné přechodové odpory atd.

Dynamické vlastnosti prostředků

Dynamické vlastnosti prostředků se graficky vyjadřují přechodovou charakteristikou a 3 frekvenčními charakteristikami (frekvenční charakteristika v komplexní rovině, amplitudová a fázová frekvenční charakteristika v logaritmických souřadnicích). Matematicky se vyjadřují pomocí diferenciálních a integrálních rovnic, operátorovým přenosem a frekvenčním přenosem.

Přechodová charakteristika:

- je definována jako odezva prostředku na vstupní jednotkový skok,

- dává přehled o zpožděních, která v systému vznikají a o velikosti dynamické chyby stejnosměrného signálu, která vzniká předčasným odečtem signálu, tj. před jeho ustálením.

Přechodovou charakteristiku lze změřit jako závislost výstupního signálu $x_2(t)$ daného členu na čase, je-li vstupním signálem $x_1(t)$ jednotkový skok $1(t)$.

Matematicky lze určit přechodovou charakteristiku výpočtem známe-li operátorový přenos členu $F(p)$. Laplaceův obraz přechodové charakteristiky členu získáme vynásobením přenosu obrazem jednotkového skoku:

$$x_2(p) = \frac{1}{p} F(p)$$

Zpětnou Laplaceovou transformací pak získáme funkci, která popisuje průběh přechodové charakteristiky.

Obr.4. Přechodové charakteristiky

Měření přechodových charakteristik členů s pomalými přechodovými ději (tzn. s dlouhými časovými konstantami) je snadné. V pravidelných časových intervalech odečítáme z měřících přístrojů velikost výstupního signálu x_2 . Začátek přechodového děje je dán připojením jednotkového skoku na vstup členu.

Přechodové charakteristiky členů s krátkými časovými konstantami zjišťujeme osciloskopem, jehož obrazovka má dlouhý dosvit, nebo různými zapisovači a zapisníky dat (datalogery). Tímto způsobem můžeme například snímat přechodové charakteristiky elektromotorů.

K zjišťování dynamických vlastností velmi rychlých obvodů (např. elektronických zesilovačů) lze použít běžný osciloskop, který je synchronizován obdélníkovým signálem $x_1(t)$ přivedeným na vstup měřeného členu.

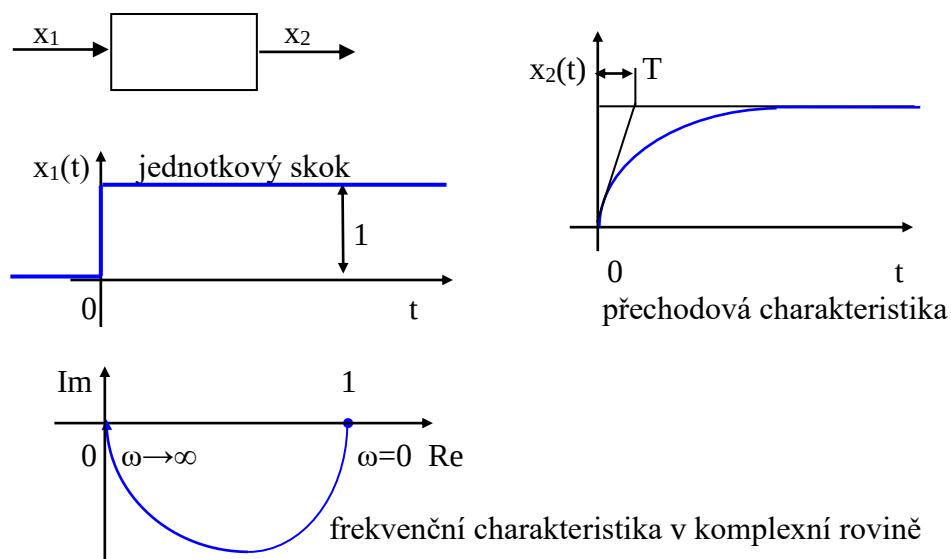
Při měření dynamických charakteristik je potřebné započítat systematické chyby měření vznikající vlivem času, který plyne během samotného měření. Během měření se totiž přirozeně mění vlastnosti zařízení (stárnutí, provozní degradace) a hodnoty veličin ovlivňují chování systémů.

Chyba integrace vzniká postupným načítáním základní chyby měrného prvku při postupné integraci, například: měření vzdálenosti odvalovacím kolečkem, měření času kmitu časoměrného prvku, měření proteklého množství objemovou metodou.

Přídavné chyby vznikají nedodržením technických podmínek provozu zařízení, jde o taková překročení, která jsou ještě přípustná z hlediska funkce zařízení, například: nedodržení povoleného rozsahu teplot, nedodržení tolerance napájecího napětí atd. Chyby jsou pak udávány v závislosti na míře překročení povolené tolerance např. 0,1 % na každých 5 °C. Přídavné chyby se pak připočítávají k základní chybě zařízení.

Frekvenční charakteristiky: dávají přehled o tom, jak jsou jednotlivé frekvence systémem zatlumeny (nebo zesíleny při rezonanci) a jak jsou fázově posunuty proti vstupnímu signálu. Vstupní signál x_1 při měření fr. charakteristik má jednotkovou amplitudu při všech frekvencích $x_1 = 1(j\omega) = 1$ a fázový úhel $\varphi = 0$.

- **frekvenční charakteristika v komplexní rovině (FCHVKR):** je čára spojující konce vektorů výstupního signálu příslušejících frekvencím, které jsou uvedeny na frekvenční charakteristice. Může se sestavit například dosazováním do výrazu pro frekvenční přenos za úhlovou frekvenci libovolné vhodné hodnoty od nuly do nekonečna a výsledné hodnoty znázorníme v rovině komplexních čísel. Pro libovolnou frekvenci můžeme zakreslit vektor přenosu jako úsečku spojující počátek souřadnic s bodem na charakteristice, který je označen požadovanou frekvencí. Amplitudě signálu odpovídá délka vektoru a fázi udává úhel mezi vektorem a kladnou částí reálné osy. Na reálné ose lze odečíst reálnou složku přenosu, na imaginární ose lze odečíst imaginární složku přenosu.



Obr.5. Jednotkový skok, přechodová a frekvenční charakteristika

- **frekvenční charakteristika v logaritmických souřadnicích (FCHVLS)** má dvě části: amplitudovou charakteristiku a fázovou charakteristiku. Na svislou osu se vynášejí v lineárním měřítku amplituda (absolutní hodnota) přenosu v decibelech. Křivku znázorňující frekvenční

závislost amplitudy se nazývá *amplitudová frekvenční charakteristika*. Na svislou osu, která se pro přehlednost kreslí na pravou stranu, se vynáší v lineárním měřítku fáze, nejčastěji v úhlových stupních. Tím se získává *fázová frekvenční charakteristika*.

Je-li k dispozici charakteristika v komplexní rovině, lze pro zvolené frekvence odečíst absolutní hodnoty (amplitudy) přenosu z délek příslušných vektorů a vypočítat logaritmické míry přenosu v decibelech (dB). Příslušné fáze lze změřit úhloměrem nebo vypočítat ze složek přenosu. Pokud se získané hodnoty zapsané do tabulky vynesou do logaritmických souřadnic a body spojí, získáme aproximativní přímkové charakteristiky. Amplitudu v decibelech lze vypočítat pomocí výrazu:

$$F_{dB} = 20 \cdot \log |F(j\omega)|$$

Logaritmický graf má na vodorovné ose stupnici vyjádřenou v dekadách. Frekvenční dekáda je úsek, jehož krajní úhlové frekvence jsou v poměru 10:1. Všechny dekády jsou stejně široké. Rozestupy mezi frekvencemi jsou logaritmické. Je zřejmé, že nulovou i nekonečnou frekvenci nelze v dekadách na rozdíl od komplexní roviny znázornit.

Je-li známa logaritmická charakteristika můžeme opačným postupem sestrojit frekvenční charakteristiku v komplexní rovině.

Amplitudovou charakteristiku lze také snadno naměřit, pokud se např. použije frekvenční rozmítač s měřením amplitudy v decibelech. Tyto charakteristiky jsou běžně používány v nf a vf technice (charakteristiky zesilovačů, mikrofonů, filtrů, korekčních článků atd.).

Velkou předností logaritmických charakteristik je jejich snadné použití při určení výsledné charakteristiky sériově zapojených členů, kdy výsledek lze určit grafickým součtem dílčích charakteristik. Nejčastějším využitím je ale určení charakteristiky potřebné korekce nebo filtru pro dosažení požadovaného tvaru charakteristiky.

Logaritmické charakteristiky jsou výhodnější než charakteristiky v komplexní rovině pro snadnější a přesnější čtení úhlové frekvence. Kromě toho je možné průběh amplitudových charakteristik s velkou přesností aproximovat lomenou přímkou. Úhlové frekvence lomu jsou určeny převrácenou hodnotou příslušné časové konstanty daného dynamického členu. Při frekvenci lomů je zpravidla maximální rozdíl (chyba) mezi aproximativní a skutečnou charakteristikou 3 dB, charakteristika se kloní v násobcích 20 dB na dekádu (viz vzoreček).

Fázovou charakteristiku není nutné ani počítat ani měřit, protože mezi aproximativní amplitudovou a fázovou charakteristikou (s výjimkou členů s dopravním zpožděním) je závislost, která je určena tzv. Bodeho pravidlem, kdy fázový úhel ϕ je určen velikostí změny amplitudy (v dB) během jedné dekády (dB/dek):

- je-li amplitudová charakteristika rovnoběžná s osou frekvence (což znamená, že amplituda přenosu je v určitém frekvenčním pásmu frekvenčně nezávislá), pak je fáze přenosu nulová,
- klesá-li amplitudová charakteristika o 20 dB na dekádu (tj. -20 dB/dek), je fáze v příslušné dekádě -90° , při -40 dB/dek je fáze -180° atd.
- při vzestupu amplitudové charakteristiky o 20 dB na dekádu je fáze v příslušné dekádě $+90^\circ$, při 40 dB/dek je fáze $+180^\circ$ atd.
- obecně fázový úhel přenosu odpovídá sklonu amplitudové charakteristiky za dekádu $0 \text{ dB/dek} = 0^\circ$, $n \cdot (\pm 20 \text{ dB/dek}) = n \cdot (\pm 90^\circ)$.

Matematický popis dynamických vlastností

Diferenciální rovnice členu

Základním matematickým vyjádřením dynamických vlastností členů je jeho diferenciální rovnice. Diferenciální a integrální rovnice jsou jediné rovnice ve kterých se pracuje s časově závislými proměnnými. Vstupním signálem členu může být libovolný signál $x_1(t)$ (signál s libovolným časovým průběhem). Na výstupu členu je pak výstupní signál $x_2(t)$. Jenž je dán vztahem mezi $x_2(t)$ a $x_1(t)$ pomocí diferenciální rovnice.

Poznámka: při zjišťování dynamických vlastností musíme vyloučit vliv nelinearit tím, že dynamické členy linearizujeme.

Příklad: obecný tvar diferenciální rovnice 1. řádu (v rovnici je obsažena derivace nejvýše 1. řádu). U členu s derivací (první řád derivace) je konstanta a_1 , u členu bez derivace (nultý řád derivace) je konstanta a_0 :

$$a_1 \frac{dx_2(t)}{dt} + a_0 x_2(t) = x_1(t)$$

Diferenciální rovnici lze zapsat zjednodušeným způsobem, kdy místo derivace ve tvoru zlomku d/dt se použije apostrof:

$$a_1 \cdot x_2(t)' + a_0 \cdot x_2(t) = x_1(t)$$

Vyřešení diferenciální rovnice klasickým způsobem je velmi náročné. Složitější typy diferenciálních rovnic ani není možné analyticky řešit. Řešení však značně zjednodušuje Laplaceova transformace. Pomocí L transformace převedeme diferenciální rovnici na rovnici algebraickou (derivace je nahrazena násobením operátorem p):

$$a_1 \cdot p \cdot x_2(p) + a_0 \cdot x_2(p) = x_1(p)$$

Získali jsme *obraz* diferenciální rovnice, který též vyjadřuje dynamické vlastnosti daného členu, a s kterým se bude v dalších krocích pracovat lépe než s předchozí diferenciální rovnicí.

Přenos členu

Pomocí obrazů lze získat obrazový poměr operátorového obrazu výstupního ku operátorovému obrazu vstupního signálu. Tím získáváme obrazový přenos a jeho úpravou posléze frekvenční přenos.

Obrazový přenos

V praxi potřebujeme znát časový průběh výstupního signálu, vyvolaný vstupním signálem známého průběhu. Proto se používá tzv. *přenos členu*, charakterizující přenosové vlastnosti daného členu. Známe-li přenos členu v matematickém tvaru a násobíme-li jím funkci, která vyjadřuje průběh vstupního signálu, získáme funkci vyjadřující průběh výstupního signálu. Protože se pracuje s obrazy funkcí v L transformaci používá se *obrazový* neboli *operátorový* přenos $F(p)$:

$$x_2(p) = F(p) \cdot x_1(p)$$

Obrazový přenos je tedy určen poměrem obrazů výstupního a vstupního signálu. Z předcházejícího příkladu můžeme určit přenos jako:

$$F(p) = \frac{x_2(p)}{x_1(p)}$$

Frekvenční přenos

V teorii řídicí obvodů se dává přednost úhlové frekvenci ω [1/s] před kmitočtem f [Hz]. Dosadíme-li v operátorovém přenosu za p všude $j\omega$, dostaneme tzv. *frekvenční přenos*.

$$F(j\omega) = \frac{x_2(j\omega)}{x_1(j\omega)}$$

Vstupní signál sinusového tvaru $x_1(t)$ a výstupní signál sinusového tvaru $x_2(t)$ se může symbolicky vyjádřit pomocí fázorů (komplexních čísel) $x_1(j\omega)$ a $x_2(j\omega)$. Frekvenční přenos se pak definuje jako komplexní číslo, které se rovná podílu těchto fázorů.

Základní typy dynamik členů regulačního obvodu

Proporcionální členy

Název tohoto členu vznikl z proporcionální závislosti mezi výstupním a vstupním signálem členu (výstup je úměrný vstupu). Rozlišujeme ideální proporcionální člen (bez zpoždění), setrvačný člen (proporcionální člen se zpožděním 1. řádu), kmitavý člen (proporcionální člen se zpožděním 2. řádu), členy vyšších řádů a případně členy s dopravním zpožděním.

Ideální proporcionální člen (P člen 0. řádu)

Ve skutečnosti dokonalý proporcionální člen neexistuje, neboť se vždy uplatňují vlivy setrvačnosti, parazitních kapacit, indukčností apod. To znamená, že každý proporcionální člen se chová jako člen se zpožděním minimálně 1. řádu. V oboru časů mnohem delších, než je časová konstanta T a v oboru frekvencí nižších, než je frekvence lomu ($\omega = 1/T$) můžeme takovýto člen považovat za ideální. Tím se zjednoduší výpočty regulačních obvodů. Vlastnosti ideálního proporcionálního členu lze následujícími způsoby (body **a** až **g**).

- a) Diferenciální rovnice:** u tohoto členu se jedná o algebraickou rovnici, neboť nejvyšší derivace je zde 0. řádu (není žádná): $a_0 \cdot x_2(t) = x_1(t)$
- b) Laplaceův obraz diferenciální rovnice:** $a_0 \cdot x_2(p) = x_1(p)$
- c) Přenos obrazový:** $F(p) = x_2(p)/x_1(p) = K$ kde $K = 1/a_0$
- d) Přenos frekvenční:** $F(j\omega) = K$
- e) Frekvenční charakteristika v komplexní rovině:** u ideálního P členu je redukována na bod vyneseny na reálné ose ve vzdálenosti K od počátku,
- f) Frekvenční charakteristika v logaritmických souřadnicích:** amplitudová charakteristika je dána výrazem $F_{dB} = 20 \cdot \log(K)$ a její průběh nezávisí na frekvenci. Fázový posun je nulový.
- g) Přechodová charakteristika:** teoretický průběh je dán vztahem: $x_2(t) = K \cdot 1(t)$
Odezvou ideálního P členu na jednotkový skok je skok s výškou amplitudy K . Ve skutečnosti se jedná o exponenciální průběh, ovšem se zanedbatelně krátkou časovou konstantou T .

Obr.6. Charakteristiky proporcionálního členu

Setrvačný člen (P člen 1. řádu)

- a) Diferenciální rovnice:** $a_1 \cdot \frac{dx_2(t)}{dt} + a_0 \cdot x_2(t) = x_1(t)$
- b) její obraz po L transformaci:** $a_1 \cdot p \cdot x_2(p) + a_0 \cdot x_2(p) = x_1(p)$
- c) Operátorový přenos:** $F(p) = \frac{K}{Tp + 1}$ kde zesílení $K = \frac{1}{a}$ a časová konstanta $T = \frac{a_1}{a_0}$
- d) Frekvenční přenos:** $F(j\omega) = \frac{K}{j\omega T + 1}$
- e) Frekvenční charakteristika v komplexní rovině:** u všech setrvačných systémů je to půlkružnice s průměrem K pod kladnou reálnou osou

Obr.7. Frekvenční charakteristiky v komplexní rovině setrvačného členu

Charakteristika prochází pouze jedním kvadrantem, protože diferenciální rovnice je 1. řádu. Bod charakteristiky odpovídající nulové frekvenci ($\omega = 0$) leží na reálné ose ve vzdálenosti K od počátku. V počátku leží bod odpovídající nekonečné frekvenci ($\omega = \infty$). Přesně pod středem kružnice je na frekvenční charakteristice frekvence lomu, jejíž hodnota je určena převrácenou hodnotou časové konstanty ($\omega = \frac{1}{T}$). Z charakteristiky je vidět, že pro $\omega = 0$ je $\varphi = 0$, pro $\omega = 1/T$ je $\varphi = -45^\circ$ a pro $\omega = \infty$ je $\varphi = -90^\circ$.

g) Přejchodová charakteristika: její průběh je dán vztahem: $x_2(t) = K \cdot (1 - e^{-t/T})$
 Dosadíme-li konstanty K , T a několik vhodných časů t , získáme tabulku pro sestavení přechodové charakteristiky daného setrvačného členu. Vynásíme-li místo času t relativní čas t/T , můžeme vynést normovanou charakteristiku setrvačného členu s časovou konstantou T .

Obr.8. Přejchodová a normovaná přechodová charakteristika setrvačného členu

Představiteli setrvačných členů 1.řádu jsou ty obvody nebo technická zařízení, která obsahují jednu energetickou kapacitu, tj. součástku schopnou v sobě akumulovat energii. Mohou to být RC členy ($K=1$, $T=RC$) nebo členy LR ($K=1$, $T=L/R$). Mechanické setrvačné členy jsou nejčastěji reprezentovány elektromotory, u kterých vstupním signálem je vstupní napětí a výstupní veličinou otáčky nezatíženého motoru. Velmi často pracujeme s tepelně setrvačnými členy, jejichž vstupní veličinou je příkon a výstupní veličinou je teplota (nejčastěji různé pícky).

Kmitavý člen (P člen 2. řádu)

Představiteli těchto členů jsou obvody nebo technická zařízení, která obsahují dvě energetické kapacity.

a) Diferenciální rovnice:
$$a_2 \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx_2(t)}{dt} + a_0 x_2(t) = x_1(t)$$

b) její obraz po L transformaci je:
$$a_2 p^2 x_2(p) + a_1 p x_2(p) + a_0 x_2(p) = x_1(p)$$

c) Operátorový přenos:
$$F(p) = \frac{x_2(p)}{x_1(p)} = \frac{1}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} = \frac{\frac{1}{a_0}}{\frac{a_2}{a_0} p^2 + \frac{a_1}{a_0} p + 1}$$

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

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

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

e+f) Frekvenční charakteristiky:

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

Obr.9. Frekvenční charakteristiky kmitavého členu v komplexní rovině

g) Přejchodová charakteristika:

Obr.10. Přejchodové charakteristiky pro různé hodnoty tlumení

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

Proporcionální člen vyššího řádu

Jsou to takové obvody nebo zařízení, které obsahují více než dvě energetické kapacity. Může u nich docházet k překmitům podobně jako u členů 2.řádu. Vyjádření jejich vlastností je složitější.

a) Diferenciální rovnice: její řád souhlasí s řádem členu. Pro člen n -tého řádu platí:

$$a_n \frac{d^{(n)}x_2(t)}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{dx_2(t)}{dt} + a_0 x_2(t) = x_1(t)$$

b) Operátorový přenos:
$$F(p) = \frac{K}{a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0}$$

d) Frekvenční přenos: obdobně vytvoříme dosazením $j\omega$ za p frekvenční přenos $F(j\omega)$.

e+f) Frekvenční charakteristiky:

Frekvenční charakteristika prochází tolika kvadranty, kolikátého řádu je člen neboli kolikátého řádu je jeho diferenciální rovnice. Začíná v bodě $(K; 0j)$ pro $\omega=0$ a končí v počátku ($\omega \rightarrow \infty$).

Obr.11. Frekvenční a přechodové charakteristiky členů vyšších řádů

Inflexním bodem vedeme tečnu a získáme dobu průtahu T_u určující zpoždění odezvy, dobu náběhu T_n a celkovou dobu přechodu T_p . Tyto konstanty charakterizují členy regulačních obvodů a používají se například při optimalizaci regulačních obvodů. V regulačních obvodech jsou setrvačné členy vyšších řádů nežádoucí, neboť ztěžují regulaci. Nejčastěji se vyskytují v tepelné technice.

Integrační členy

Vlastnosti integračního členu jsou opačné než vlastnosti derivačního členu. Jeho výstupní signál $x_2(t)$ je úměrný integrálu vstupního signálu $x_1(t)$ tzn. výstup je dán postupným sčítáním vstupních hodnot.

Ideální integrační člen (I člen 1. řádu)

a) Diferenciální rovnice: můžeme ji vyjádřit několika způsoby. Jako diferenciální rovnici 1. řádu, kde koeficient $a_0 = 0$ a kde a_1 je integrační časová konstanta T_I , nebo v „integrálním“ tvaru, kde osamostatníme signál $x_2(t)$.

$$a_1 \frac{dx_2(t)}{dt} = x_1(t) \quad T_I \cdot x_2(t)' = x_1(t) \quad x_2(t) = k_{-1} \int x_1 dt$$

b) po L transformaci: $a_1 \cdot p \cdot x_2(p) = x_1(p)$

c) Operátorový přenos: $F(p) = \frac{1}{a_1 p} = \frac{k_{-1}}{p}$ samozřejmě platí: $k_{-1} = \frac{1}{T_I} = \frac{1}{a_1}$

Konstanta k_{-1} bývá někdy nazývána „rychlostní konstanta“ a značena k_v . Frekvenční přenos a frekvenční charakteristiky určíme stejným postupem jako v předchozím případě.

Obr.12. Frekvenční charakteristiky ideálního integračního členu

g) Přechodová charakteristika: odezvou integračního členu na jednotkový skok je lineární funkce, jejíž hodnota je zvětšena k_{-1} krát.

$$x_2(p) = \frac{k_{-1}}{p} \frac{1}{p} = k_{-1} \frac{1}{p^2} \quad \text{odtud } x_2(t) = k_{-1} t(t)$$

Obr.13. Přechodová charakteristika ideálního integračního členu

Integrační člen se zpožděním 1. řádu (I člen 2. řádu)

Jednotlivé vlastnosti odvodíme podobně jako u derivačního členu. Přenos ideálního integračního členu vynásobíme přenosem setrvačného členu. Levá strana diferenciální rovnice se rozšíří o derivaci prvního řádu s časovou konstantou (zpožděním) T_1 .

a) Diferenciální rovnice: $T_1 x_2' + x_2 = k_{-1} \int x_1 dt$

c) Operátorový přenos: $F(p) = \frac{1}{1 + T_1 p} \frac{k_{-1}}{p} = \frac{\frac{k_{-1}}{p}}{1 + T_1 p}$

e+f) Frekvenční charakteristiky:

Obr.14. Frekvenční charakteristiky integračního členu se zpožděním 1. řádu

g) Přejchodová charakteristika:

Obr.15. Přejchodová charakteristika integračního členu se zpožděním 1. řádu

Z tvaru diferenciální rovnice a charakteristik je zřejmá příbuznost integračního členu se setrvačným členem. Setrvačný člen může nahradit integrační člen (mají podobnou charakteristiku) v časech t nejméně třikrát kratších, než je časová konstanta daného setrvačného členu.

Derivační členy

Derivační člen reaguje jen na změnu vstupního signálu. Při konstantní hodnotě vstupu je na jeho výstupu nulový signál (tzn. nereaguje na stejnosměrný signál). Hodnota výstupu je derivací vstupního signálu.

Ideální derivační člen (D člen 1. řádu)

Tento člen derivuje vstupní signál $x_1(t)$. Nebo jinak řečeno: výstupní signál $x_2(t)$ je úměrný derivaci vstupního signálu $x_1(t)$.

a) Diferenciální rovnice: $a_0 x_2(t) = \frac{dx_1(t)}{dt}$

b) po L transformaci: $a_0 \cdot x_2(p) = p \cdot x_1(p)$

c) Operátorový přenos: $F(p) = T_d \cdot p$ kde $T_d = \frac{1}{a_0}$ je *derivační časová*

konstanta

d) Frekvenční přenos: $F(j\omega) = T_d \cdot j\omega$

e) Frekvenční charakteristika v komplexní rovině:

Z frekvenčního přenosu vyplývá, že charakteristika bude začínat v počátku ($|F(j\omega)| = 0$ pro $\omega = 0$). Protože hodnoty přenosu nabývají s rostoucí frekvencí pouze imaginárních hodnot, leží celá charakteristika na kladné imaginární ose a jde do nekonečna.

Obr.16. Frekvenční charakteristika ideálního derivačního členu v komplexní rovině.

g) Přejchodová charakteristika: odezvou ideálního derivačního členu na jednotkový skok je Diracův (jednotkový) impuls zvětšený T_d krát:

$$x_2(p) = T_d \cdot p \frac{1}{p} = T_d$$

Obr.17. Přejchodová charakteristika ideálního derivačního členu

Derivační člen se zpožděním 1. řádu (D člen 2. řádu)

Skutečný (reálný) derivační člen je však vždy zatížen větší či menší setrvačností. Můžeme si ho tedy představit jako člen složený z ideálního derivačního členu v sérii se setrvačným členem.

c) Operátorový přenos: u tohoto členu jej určíme tedy jako součin obou dílčích přenosů.

$$F(p) = T_d \cdot p \cdot \frac{1}{Tp + 1}$$

d) Frekvenční přenos: snadno získáme dosazováním $j\omega$ za p

g) Laplaceův obraz přechodové charakteristiky je pak dán vztahem:

$$x_2(p) = T_d p \frac{1}{Tp + 1} \frac{1}{p} = \frac{T_d}{Tp + 1}$$

a v časové oblasti (po zpětné transformaci): $x_2(t) = \frac{T_d}{T} e^{-t/T}$

Obr.18. Přejchodová a frekvenční charakteristika skutečného derivačního členu

Člen s dopravním zpožděním

Kterýkoliv člen může mít složku zpoždění danou tzv dopravním zpožděním t_d . Dopravní zpoždění vlastně posouvá přechodovou charakteristiku na časové ose o dopravní čas. Tento jev vzniká, pokud technologie obsahuje dlouhé dopravníky nebo potrubí. Regulace obvodu s takovýmto členem je velmi obtížná až neproveditelná. Taková situace se řeší rozdělením regulačního obvodu na dva samostatné: jeden před místem vzniku dopravního zpoždění a druhý za místem vzniku dopravního zpoždění.

a) Diferenciální rovnice: $x_2(t) = x_1(t-t_d)$

c) Operátorový přenos: $F(p) = \frac{1}{1 + T_1 p} \frac{k_{-1}}{p}$

e+f) Frekvenční charakteristiky:

Obr.19. Frekvenční charakteristiky členu s dopravním zpožděním

g) Přejchodová charakteristika:

Obr.20. Přejchodová charakteristika členu s dopravním zpožděním

2. PRVKY ŘÍZENÍ

Prvky řízení jsou obecně všechna technická zařízení, která slouží k získávání, přenosu, uchovávání, zpracování a využití informace.

2.1 Prvky pro získání informace

Modernizace průmyslu znamená i modernizaci měřicí techniky. Počítačové metody řízení technologických procesů, využívání průmyslových robotů a jejich rozšiřování v adaptivních a inteligentních robotizovaných systémech, tvorba rozsáhlých informačních soustav s požadavkem zpracování informací v reálném čase, elektronika pro ochranu životního prostředí, rozšíření elektroniky v automobilovém průmyslu, aplikace lékařské elektroniky, realizace diagnostických systémů ve strojírenství, energetice i využívání elektroniky v domácnostech kladou stále vyšší nároky na měření a vyhodnocování elektrických a neelektrických veličin a tím i na vývoj a výrobu senzorů.

Na předním místě v aplikacích senzorů je autoelektronika při měření stavu a teploty chladící kapaliny, oleje, paliva a brzdové kapaliny, při vyhodnocování polohy klikového hřídele, tlaku ve válcích, tlaku a teploty pneumatik, ke kontrole zavření dveří a polohy oken, při měření rychlosti a otáček motoru, měření otáčení kol v protiblokovacích brzdných systémech, měření polohy plynového pedálu, měření venkovní teploty, měření světla protijedoucích aut, měření vodivosti kapaliny (dešťových kapek) na čelním skle a mnoho dalších veličin.

Dnešní doba je spojena s vývojem a praktickým nasazením tzv. inteligentních senzorů připojených přes rozhraní do datových sběrníkových sítí (tzv. propojovacích struktur označovaných jako „Fieldbus“). Progresivní skupinu tvoří integrované senzory, optické vláknové senzory včetně integrované optiky, chemické senzory a další. Nástup těchto nových měřicích prvků je nutným předpokladem pro splnění stále náročnějších požadavků na automatizaci měření při současném snižování výrobních nákladů na měřicí techniku a zvyšování spolehlivosti při měření a zpracování dat.

Senzor

Senzor (snímač, převodník, detektor) je vstupní prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, tj. prvek, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Vlastní citlivá část senzoru je někdy označována jako čidlo. Senzor jako primární zdroj informace měří sledovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje na měřicí veličinu, a to nejčastěji elektrickou. U pasivních senzorů je nutno elektrickou veličinu (odpor, indukčnost, kapacitu) dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál, přičemž měřicí veličinou je amplituda, kmitočet, fáze aj.

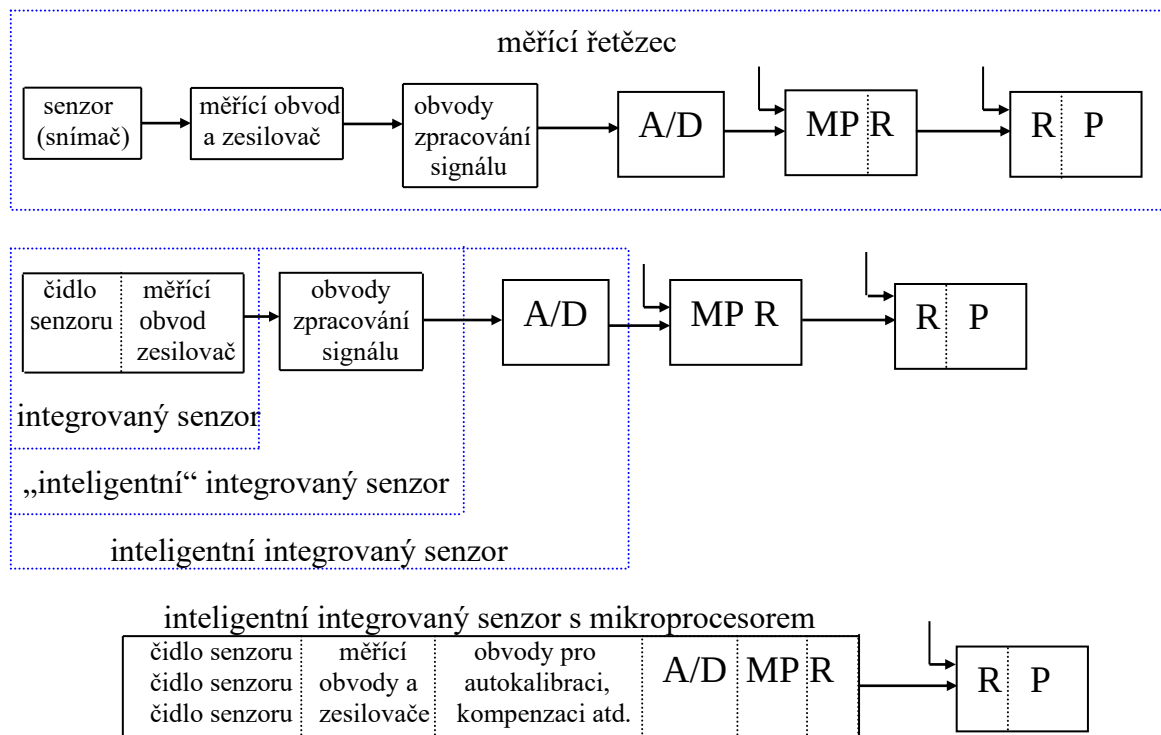
Dále existují senzory, u nichž je neelektrická veličina přímo transformována na elektrický signál. Transformovaný elektrický signál je nutno zesílit. Při zesilování signálu je nezbytné zajistit dostatečný odstup signálu od šumu senzoru a zesilovače a od parazitních signálů (rušení elektrickým, magnetickým a elektromagnetickým polem, působení zemních smyček atd.) působících jak na senzor, tak na zesilovač. Uvedené požadavky se realizují speciálními zapojeními zesilovačů, frekvenčním omezením signálů, modulací elektrické nebo přímo neelektrické veličiny s následnou synchronní demodulací nebo číslicovým zpracováním signálu. Další zpracování signálu je řešeno buď analogovými obvody, nebo po analogově-číslícovém převodu číslicovou technikou vybavenou většinou mikroprocesorem. Analogový výstup měřicího řetězce je realizován přímo ukazujícím přístrojem, zapisovačem, blokem pro přenos signálu, jako např. blokem zajišťujícím unifikaci analogového signálu, modulátorem signálu, optoelektronickým členem pro přenos modulovaného signálu světlovodem apod.

Při číslicovém zpracování signálu je v nejjednodušším případě výstup tvořen číslicovým měřicím přístrojem. S výhodou se používají rychlé signální procesory zajišťující řadu speciálních

operací (operace pro zlepšení poměru signál/šum, programové a technické vybavení normalizovaného rozhraní pro přenos číslicového signálu na sběrniciovou síť atd.).

Inteligentní senzor

Inteligentní senzor je senzor, který obsahuje obvody pro zpracování a analýzu signálu v jediném kompaktním provedení s citlivou částí senzoru. Cílem vývoje nových typů senzorů je integrace měřicího řetězce na jediný čip obvodu.



Obr.21. Funkční schéma senzorů

(A/Č – analogově číslicový převodník včetně vzorkovacích zesilovačů, multiplexorů apod.,

MP – jednočipový mikropočítač nebo mikropočítačový sběrniciový systém,
R – komunikační rozhraní, P – nadřazený výpočetní systém)

Inteligentní senzor se může dělit na:

- Vstupní část:** - převod fyzikální, chemické, biologické veličiny na elektrickou
 - zesílení a filtrace signálu, linearizace charakteristiky, normování signálu, přepínání více vstupních veličin s adresami v řadě, ve smyčce atd.
 - ochrana proti nežádoucímu působení parazitních veličin
- Vnitřní část:** - analogově-číslcový převod, autokalibrace, číslicová linearizace, aritmetické operace, autodiagnostika, statické vyhodnocování naměřených dat
 - přes rozhraní dálkově ovládané rozsahy (zesílení, hlídání mezivýsledků atd.)
- Výstupní část:** - unifikace analogových výstupních signálů
 - komunikace prostřednictvím integrovaného rozhraní se sběrniciovým systémem
 - výkonově binární výstupy, číslicově-analogový převod

Inteligentní sensorový modul

Inteligentní senzor může být vybaven mnoha funkcemi: mají více přepínatelných vstupů, programovatelné zesílení zesilovačů, standardizované komunikační rozhraní – nejčastěji sériovým průmyslovým typu RS485, autodiagnostiku, výstup pro analogové měřidlo atd.

Z běžného neinteligentního senzoru nebo ze senzorů s nižším objemem inteligence se vytvoří inteligentní senzor pomocí sensorového modulu, který vytvoří inteligentní funkce.

Výhody RS485: - přenos po stíněné kroucené dvojlince (kabel UTP),

- symetrický vstup = dobré potlačení součtových rušivých signálů,
- jediné napájecí napětí +5 V,
- 32 členů na 1 segment sítě.

Součástí každého rozhraní je tzv. komunikační protokol definující přenos naměřených dat, adres, řídicích a stavových signálů, zabezpečovacích dat atd.

Kromě uvedených sériových rozhraní se pro náročnější měření (současné měření a přenos více veličin) používají paralelní rozhraní, jako je IEC 652 (IEEE 488).

Rozdělení senzorů

Dle měřené veličiny: senzory teploty, tlaku, průtoku, radiačních veličin, mechanických veličin (dráha, rychlost, zrychlení, kroutící moment atd.) senzory pro analýzu kapalin a plynů, senzory elektrických a magnetických veličin atd.

Dle fyzikálního principu: senzory odporové, indukčnostní, indukční, kapacitní, magnetické, piezoelektrické, optické vláknové, chemické, biologické atd.

Dle styku s měřeným prostředím: bezdotykové, dotykové.

Dle transformace signálu: aktivní a pasivní.

Dle výrobní technologie: elektromechanické, mechanické, pneumatické, elektrochemické, polovodičové, mikroelektronické, optoelektronické...

Technické parametry senzorů

a) citlivost – ideální je statická charakteristika definovaná výrazem: $y = K \cdot x$

kde K je konstantou přenosové funkce a současně citlivost.

b) práh citlivosti – je dán hodnotou snímané veličiny, při níž je na výstupu senzoru signál odpovídající střední kvadratické odchylce šumu senzoru.

c) dynamický rozsah – je dán intervalem přípustných hodnot snímané fyzikální veličin ohraničené prahem citlivosti a maximální hodnotou měřené veličiny.

d) reprodukovatelnost – je dána odchylkou naměřených hodnot při krátkodobém časovém sledu měření neměnné vstupní veličiny a neměnných rušivých vlivů okolí.

e) rozlišitelnost – nejmenší změna snímané veličiny odpovídající absolutní nebo relativní chybě senzoru.

f) aditivní chyba – je způsobená posunem jmenovité lineární charakteristiky.

g) multiplikativní chyba – ekvivalentní změna citlivosti senzoru,
– závislá na hodnotě měřené veličiny,
– změna sklonu statické charakteristiky,

h) chyba linearity – dána odchylkou od ideální lineární charakteristiky.

Dynamické vlastnosti senzorů – (parametry časové odezvy, časová konstanta, šíře frekvenčního pásma, frekvenční rozsah, rychlost číslicového přenosu, parametry šumu aj.)

- nutno znát pro analýzu a syntézu měřících a regulačních obvodů

Senzory teploty

Rozdělení senzorů teploty

Elektrické senzory: odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové,

Dilatační senzory: jsou založeny na principu teplotní roztažnosti kapalin, tuhých látek a plynů,

Speciální senzory: jsou založeny na změnách některých fyzikálních vlastností látek s teplotou (tekuté krystaly, teploměrné barvy, žároměrky, tavné tužky atd.).

Elektrické teploměry

Odporové kovové senzory teploty využívají teplotní závislost el. odporu čistého kovu na teplotě. S rostoucí teplotou se zvětšují amplitudy termických oscilací krystalické mřížky, snižuje se pohyblivost elektronů a odpor kovu stoupá přibližně úměrně s absolutní teplotou.

Platinové odporové teploměry

Používají se nejčastěji, neboť platina se vyznačuje chemickou netečností, stálostí, vysokou teplotou tání atd. Měřicí odpor je tvořen spirálovitě stočeným tenkým platinovým drátkem (0,05 mm), zataveným do keramického nebo skleněného tělíska. Tělísko je pak uloženo v ochranné trubici tzv. jímce. Platinové senzory teploty se též vyrábějí tenkovrstvou technologií (na podložku z korundové keramiky (Al_2O_3) se technikou napařování nanese platinová vrstvička a iontovým leptáním se vytvaruje do meandru). Základní měřicí rozsah je $-200\text{ }^\circ\text{C}$ až $+850\text{ }^\circ\text{C}$. Pro snímač typu Pt100 platí: základní odpor při $0\text{ }^\circ\text{C}$ je $R_0=100\text{ }\Omega$ a při $100\text{ }^\circ\text{C}$ je $R_{100}=138,5\text{ }\Omega$. Tolerance jsou dány normou. Kromě verze Pt100 se také vyrábí senzory Pt500 a Pt1000.

Odporové teploměry se vyrábějí se dvěma nebo čtyřmi vývody. U dvouvodičového provedení se odpor vnitřního vedení připočítá k odporu vlastního měřicího čidla a tím způsobuje dosti značnou proměnnou chybu. Nejistota údaje způsobená vlivem vnitřního vedení se dle teploty pohybuje od 0,1 do 0,5 $^\circ\text{C}$. Pro měření, kde tuto chybu nemůžeme zanedbat, je nutné použít čtyřvodičové zapojení.

Kromě platiny se pro odporové kovové senzory používá také nikl, měď nebo molybden.

Odporové polovodičové senzory teploty

Rozdělení termistorů: - amorfní / polykrystalické,
- negastory / pozistory,
- monokrystalické senzory,

Negastory

- termistory se záporným teplotním součinitelem odporu.
- vyrábějí se práškovou technologií ze směsi oxidů kovů (např. $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$, $\text{MnO}+\text{CoO}$). Vylisované senzory se zpevňují slinováním za vysokých teplot.
- tenkovrstvé polykrystalické negastory SiC se vyrábí metodou vysokofrekvenčního napařování na substrát Al_2O_3 . Senzor je vhodný pro rozsah teplot (-100 až $+450$) $^\circ\text{C}$,
- základní hodnota odporu SiC senzoru při $25\text{ }^\circ\text{C}$ je v rozpětí $10\text{ k}\Omega$ až $1\text{ M}\Omega$,
- tenkovrstvou technologií se dále vyrábí negastor z polykrystalického křemíku dopovaného bórem. Tento miniaturní senzor má rozměr $460\times60\times0,5\text{ }\mu\text{m}$. Rozsah teplot je (-170 až 450) $^\circ\text{C}$.

Pozistory

- termistory s kladným teplotním součinitelem odporu
- vyrábějí se z polykrystalické feroelektrické keramiky např. BaTiO_3 .

- jmenovitá teplota je dle chemického složení odstupňována v rozsahu od 60 °C do 180 °C.
- používají se převážně jako dvoustavové např. signalizace překročení přípustné teploty ve vinutí motoru.
- vyrábějí se z křemíku, germania, india atd.
- v průmyslu nejčastěji Si senzory. Rozsah od -50 °C do +150 °C.

Monokrystalické PN senzory teploty

využívají teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru.

- **diodové senzory** vychází ze Shockleyovy rovnice. Napětí na PN přechodu v propustném směru s rostoucí teplotou klesá podle přesně dané funkce (díky známým materiálovým konstantám polovodičů).
- **tranzistorové senzory** jsou založeny též na teplotní závislosti PN přechodu (využívá se přechod báze-emitor) v propustném směru, případně se tranzistor zapojí jako tzv. „tranzistorová dioda“ (anoda = spojené kolektor s bází, katoda = emitor).

Termoelektrické senzory teploty

Jsou založeny na vzniku termoelektrického napětí na vodiči nebo polovodiči, jehož konce udržujeme na různých teplotách (Seebeckův jev). Dvojice materiálů jsou normalizovány a označeny velkými písmeny. V normách jsou uvedeny konkrétní hodnoty napětí v závislosti na teplotě, tolerance a polynom pro funkce.

Nejpoužívanější typy termočlánků

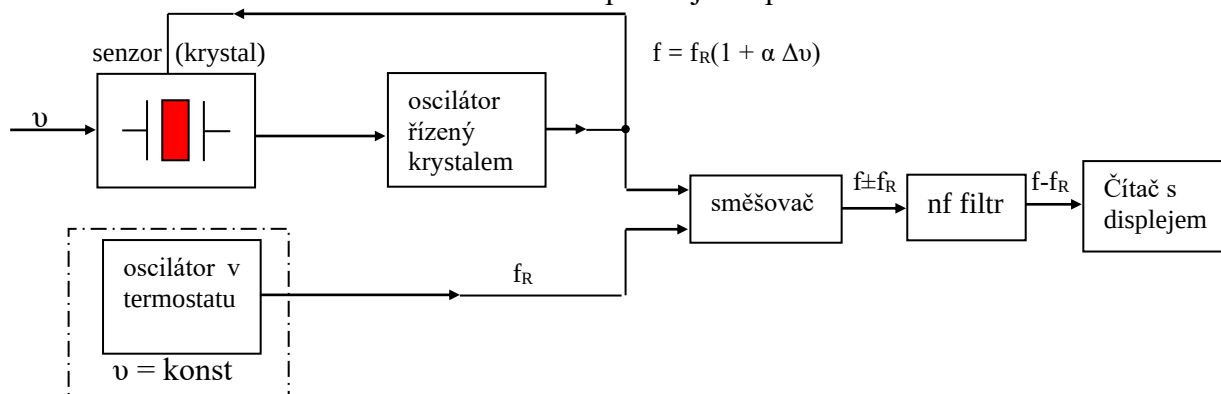
E:	NiCr – CuNi
J:	Fe – CuNi
K:	NiCr - NiAl, NiCr – Ni
S:	PtRh10 – Pt
T:	Cu – CuNi
Fe-Ko:	Fe – CuNi (není v IEC)

Přibližný rozsah teplot

- 40 až 800 °C
- 40 až 750 °C
- 40 až 1100 °C
do 1300 °C krátkodobě do 1500 °C
- 40 až 350 °C
- 200 až 600 °C

Krystalový teploměr

využívá teplotní závislosti rezonančního kmitočtu křemenného výbrusu (krystalu). I když je tato závislost malá, je téměř lineární a při vhodně zvolené základní frekvenci je číselně shodná s měřenou teplotou. Jde o poměřovací měřicí metodu. Jsou použity dva shodné krystaly, kdy jeden je umístěn v termostatu (tepelně stabilizován) a druhý je ovlivňován měřenou teplotou. V dalších obvodech se získá rozdíl frekvencí odpovídající teplotě.



Obr.22. Blokové schéma krystalového teploměru

Příklad: Firma HP používá výbrus s teplotním součinitelem $\alpha_f = 35,4 \cdot 10^{-6} \pm 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ K}^{-1}$ pro rozsah teplot -80°C až $+250^\circ\text{C}$ při $f_R = 28,25 \text{ MHz}$. Citlivost je 1 kHz na 1°C . Použitý čítač umožňuje rozlišovací schopnost teploměru na tisíce $^\circ\text{C}$.

Bezdotykové měření teploty (pyrometrie)

Bezdotykové měření teplot je měření povrchové teploty těles na základě elektromagnetického záření mezi tělesem a okolím nebo mezi dvěma tělesy. Při měření se využívá viditelná a infračervená oblast elektromagnetického záření, a to od $0,35 \mu\text{m}$ do $30 \mu\text{m}$, čemuž odpovídá rozsah měřených teplot od -40°C do $10\,000^\circ\text{C}$.

Výhody: - zanedbatelný vliv měřicí techniky na měřený objekt,
- možnost měření na rotujících nebo pohybujících se tělesech,
- lze měřit (dle typu senzoru) i rychlé změny teploty,
- prostřednictvím optiky a případné mechaniky lze realizovat řádkové nebo plošné zobrazení povrchové teploty tělesa (např. termovize),

Nevýhody: - je možné měřit pouze povrchovou teplotu tělesa,
- vzniká chyba měření způsobená prostupností prostředí,
- vzniká chyba měření způsobená nepřesným stanovením emisivity povrchu tělesa.

Snímače mechanických veličin

Poskytují informaci o fyzikálních veličinách řízeného procesu odvozených od mechanického pohybu a síly. Můžeme je rozdělit podle:

- druhu měřené fyzikální veličiny na snímače:* polohy, rychlosti, zrychlení, kmitavého pohybu, síly a mechanického napětí,
- principu činnosti na snímače:* mechanické, odporové, magnetické, indukční, kapacitní, optické, ultrazvukové, radiační,
- průběhu výstupního signálu na snímače:* spojitě a nespojitě (limitní, číslicové),
- způsobu odměřování na snímače:* absolutní přírůstkové (inkrementální), smíšené.

Snímače polohy

a) Odporové snímače polohy

Základem spojitých odporových snímačů polohy jsou odporové potenciometry, jejichž běžec je mechanicky spojen s předmětem, jehož polohu odměřujeme. Nejčastěji se vyrábějí v provedení rotačním, přímočarém nebo víceotáčkovém (odporová dráha je tvořena šroubovicí s několika závity).

Vlastnosti jsou dány: třídou přesnosti, rozlišovací schopností, linearitou, životností, teplotním koeficientem odporu, provozním kroutícím momentem a šumem.

Rozlišovací schopnost udává, jaký úhlový, případně délkový inkrement (přírůstek) dokáže potenciometr spolehlivě rozlišit. Nejvyšší rozlišení mají potenciometry vrstvé (až $0,01\%$ rozsahu), u vinutých potenciometrů je rozlišení dáno skokovou změnou odporu při pohybu jezdce mezi sousedními závity.

Linearita udává největší odchylku výstupního napětí od vztažné přímky. Udává se v procentech napájecího napětí. Otočné potenciometry s větším průměrem dosahují linearity až $0,002\%$. Linearitu je možné zlepšit zapojením paralelních odporů na vyvedené odbočky vinutí.

Životnost je definována jako počet otočení hřídelkou při zadaných provozních podmínkách a při dodržení provozních vlastností v příslušných mezích. Životnost vinutých typů je řádově 10^6 , vrstvových a hybridních 10^7 .

Teplotní koeficient odporu (pouze pro drátové potenciometry) se stanoví na základě změny odporu při změně teploty vždy o 1°C proti vztažné teplotě.

Provozní krouticí moment je definován jako největší krouticí moment v obou směrech otáčení, který je potřeba k rovnoměrnému točení hřídelkou v celém mechanickém rozsahu při udané rychlosti.

Šum potenciometrů vzniká změnou přechodového odporu při pohybu jezdce po vinutí a je způsoben mechanickými i elektrickými efekty často způsobených korozí.

Rozdělení

Odporové potenciometry rozdělujeme podle:

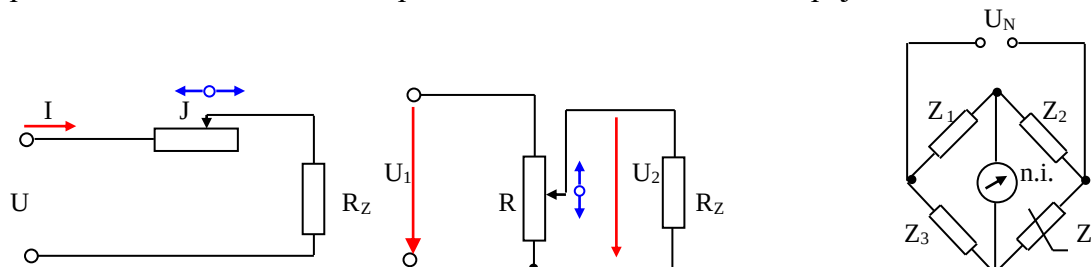
tvaru dráhy: - odporové, - posuvné, - profilové, materiálu dráhy: - kovové: drátové, vrstvé, - nekovové: uhlíkové, elektrolytické, vodivé plasty (CP), cermentové (keramika + kov),	pohybu jezdce: - rotační jednootáčkové, - rotační víceotáčkové, - posuvné,
---	--

Provedení potenciometrů

Základem potenciometru je tělísko tvořené odporovým drátem navinutým na izolační podložce nebo nekovový odporový element tvořený nejčastěji vodivým plastem (CP = Conductive Plastic). Velkou předností „CP“ snímačů je vysoká rozlišovací schopnost (v praxi asi 0,01 %), velká životnost. Drátové potenciometry vykazují větší robustnost a elektrickou zatížitelnost. Výhody obou pak spojuje hybridní technologie, která je použita u některých druhů víceotáčkových potenciometrů. Jezdec potenciometrů je vyroben ze speciální kovové slitiny. Hřídelky jsou uloženy v kluzných nebo kuličkových ložiskách.

Zapojení odporového snímače polohy

Tyto snímače převádějí změnu polohy na změnu elektrického odporu. Pro další zpracování nebo přenos informace je nutné převést získaný signál na elektrické napětí nebo elektrický proud. Používáme reostatové, potenciometrické a můstkové zapojení.



Obr.23. Reostatové, potenciometrické a můstkové zapojení

Výhoda potenciometrického zapojení ve srovnání s můstkovým spočívá především v linearity výstupního signálu a minimalizaci chyby způsobené změnou rezistivity odporové dráhy. Můstkovou metodu vyhodnocování je možno aplikovat pro rezistory, kapacity a indukčnosti. Je velmi přesná a citlivá.

Nespojité snímače polohy – mechanické spínače

Převádějí změnu polohy sledovaného objektu na skokovou změnu odporu způsobenou přepínáním kontaktů. Výstupní signál je tedy logického typu (zap – vyp). Nejčastěji jsou používány pro měření polohy pohybujících se částí různých technických zařízení jako součástí koncových spínačů (hovorově koncáky).

b) Magnetické a bezdotykové snímače polohy.

Podle principu dělíme tyto snímače na jazýčková relé, Wiegandovy sondy a Hallovy sondy.

Jazýčková relé využívají silových účinků magnetického pole permanentního magnetu na jazýčky z magneticky měkkého materiálu, zatavené do skleněné trubičky, plněné inertním plynem. Vnější magnetické pole spíná jazýčkové kontakty s vysokou spolehlivostí a bez záskoků (burstů) obvyklých u mechanických kontaktů.

Wiegandova sonda je založena na principu, kdy drát z anizotropní slitiny Vicalloya vykazuje vlivem magnetostrikce rozdílné hysterezní smyčky a vlivem vnějšího působení se mění bod kdy skokem mění svou polarizaci při čemž se indukuje napěťový impuls.

c) Indukčnostní a indukční snímače polohy

Indukčnostní a indukční senzory tvoří rozsáhlou skupinu senzorů polohy, posunutí, úhlu natočení, otáček, síly, zrychlení atd.

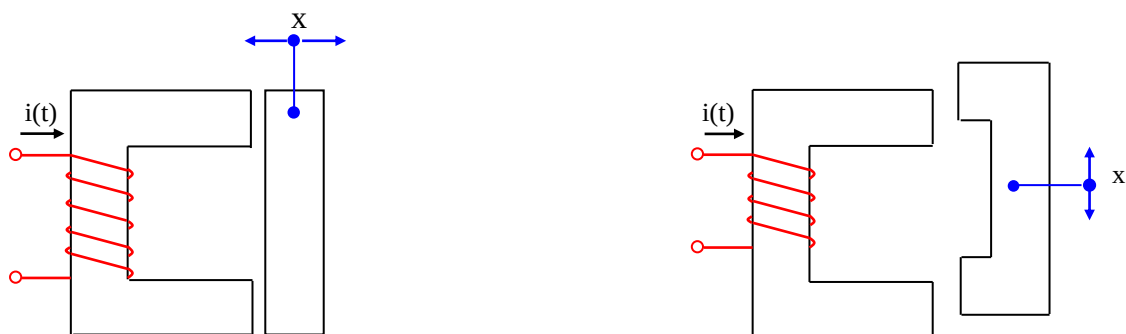
Princip indukčnostních snímačů polohy spočívá v převodu polohy na změnu vlastní nebo vzájemné indukčnosti, zatímco v indukčních snímačích je vnějším polem indukováno napětí.

Indukčnostní snímače se podle principu činnosti dělí na tlumivkové (s otevřeným nebo uzavřeným magnetickým obvodem) a transformátorové.

Tlumivkové snímače

Snímače s uzavřeným magnetickým obvodem jsou pasivní senzory, které mění vlastní indukčnost cívky v závislosti na poloze snímaného předmětu. Podle veličiny ovlivňující indukčnost dělíme snímače na:

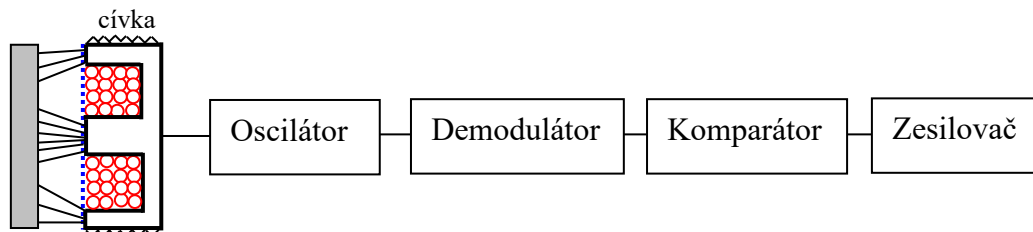
- snímače s proměnnou délkou střední siločáry,
- snímače s proměnnou plochou vzduchové mezery,
- snímače s proměnnou permeabilitou



Obr.24. Snímače s proměnnou vzduchovou mezerou a s proměnnou plochou vzduchové mezery

Vyhodnocování údajů indukčnostních snímačů je možné několika způsoby: rezonanční obvody, můstková zapojení nebo přímé měření.

Nespojitý indukčnostní snímač



Obr.25. Princip činnosti nespojitého indukčnostního snímače

Jedná se o velmi často používaný prvek, jehož princip činnosti spočívá v rozladování oscilátoru přiblížením feromagnetického materiálu k čelu cívky. Po připojení napětí na snímač, začne kmitat LC obvod a vznikne vysokofrekvenční elektromagnetické pole, které je

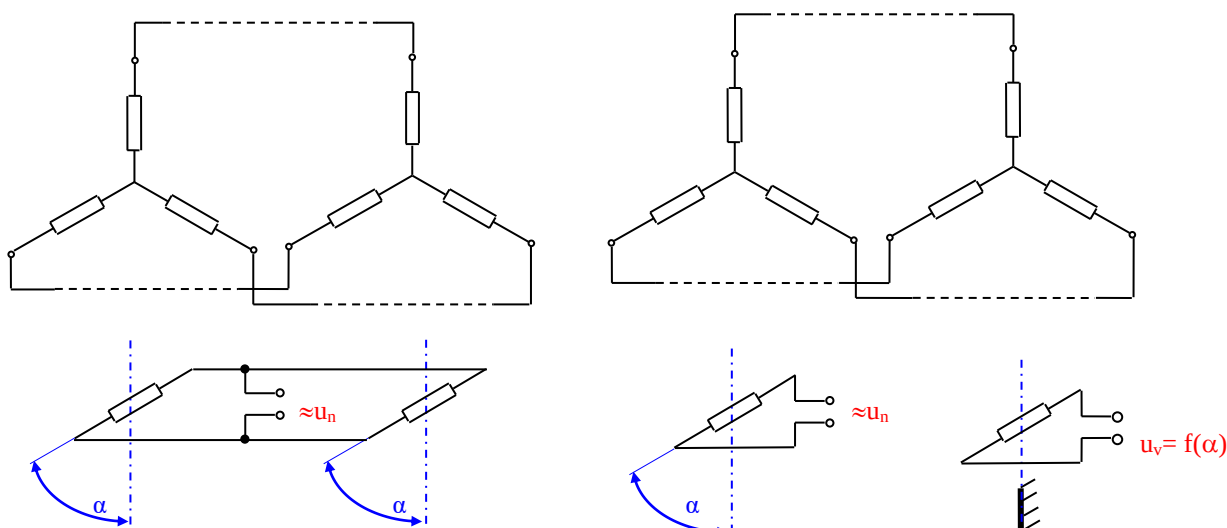
soustředěno feritovým jádrem přes aktivní plochu do osy snímače. Při přiblížení kovového předmětu k čelu cívky se v něm indukují vířivé proudy, které tlumí kmitání LC obvodu. Dojde k rozladění oscilátoru, jeho výstupní signál je přiveden na vstup komparátoru, který porovná prahovou hodnotu napětí s hodnotou na svém vstupu a v případě přítomnosti předmětu překlopí klopný obvod. Výstupní impuls se nakonec zesílí a na výstupu dostaneme logickou proměnnou odpovídající stavu začlenění.

Důležitým parametrem tohoto snímače je spínací vzdálenost, která je definována jako kolmá vzdálenost snímaného předmětu od aktivní plochy snímače, při které dojde k sepnutí. Její hodnota je definována jako polovina průměru aktivní plochy snímače. Spínací vzdálenosti a způsob jejich zjišťování pro různé materiály jsou přesně stanoveny normami.

Indukční snímače polohy se vyrábí s provedení válcovém, hranolovém, šterbinovém a v provedení s kruhovým otvorem. Materiálem pouzdra a snímací plochy je vysoce jakostní nerezová ocel, mosaz s povrchovou úpravou niklem nebo teflonem, plastické hmoty atd. Výstupní napětí je většinou stejnosměrné (může být i střídavé) a jednotlivé snímače se liší úrovní výstupního napětí.

Selsyny

Používají se pro vyhodnocení úhlu natočení a pracují na principu polohového transformátoru. Jsou konstruovány podobně jako vícefázové motory. Skládají se ze statoru, který je třífázový a rotoru který je jednofázový a vinutí je vyvedeno přes kartáčky a kroužky. Selsyny se používají vždy ve dvojicích (vysílač a přijímač) a to ve dvou zapojeních.



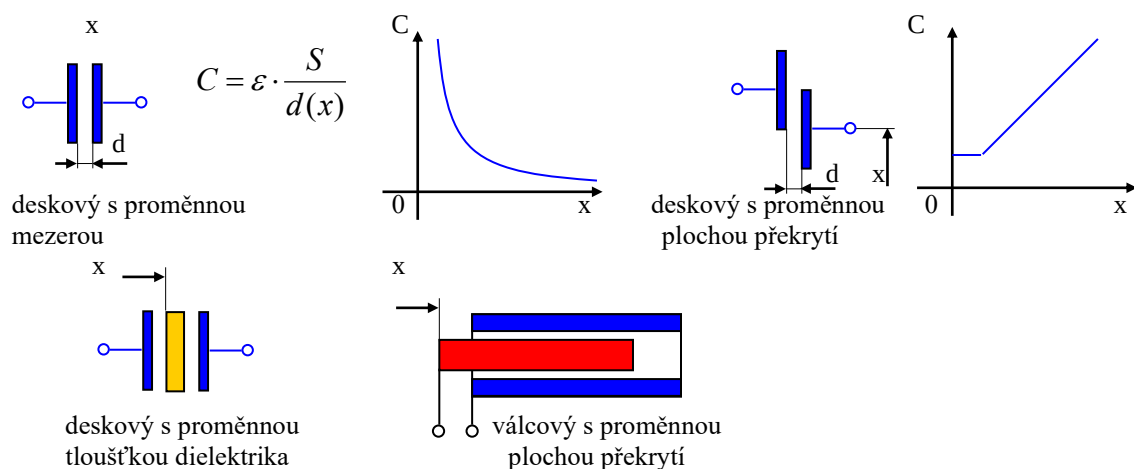
Obr.26. Princip činnosti selsynů

V prvním zapojení pracuje selsyn jako přenašeč výchylky. Stator vysílače i přijímače jsou propojeny a rotory obou selsynů jsou napájeny ze společného střídavého zdroje. Jestliže se rotor vysílače natočí o určitý úhel, indukují se proudy ve statoru vysílače a vytvoří magnetické pole ve statoru přijímače. Rotor přijímače se pak natočí o stejný úhel jako rotor vysílače. Tento systém se nehodí pro přenos momentů a při nezatíženém výstupním rotoru je přesnost přenosu lepší než 1 %. Přesnost lze ještě zlepšit pomocí servozesilovače až na 10^{-2} %.

V druhém zapojení je napájen pouze rotor vysílače a rotor přijímače je trvale zablokován. Z kartáčů přijímače pak odebíráme napětí, pro které platí: $u_v = u_n \cos \beta$, kde β je úhel vysílače rotoru vůči zablokovanému rotoru.

d) Kapacitní snímače polohy

Tyto snímače převádějí měřenou veličinu na kapacitu kondenzátoru, která je pak převedena na zpracovatelný signál s logické nebo spojité formě. Používají se především pro nekovové předměty (papír, plast, olej, vodní roztoky, granulát, prášek).



Obr.27. Principy kapacitních snímačů a základní funkční vztahy

Měřicí obvody kapacitních senzorů mají za úkol vyhodnotit kapacitu snímače a převést ji na napěťový nebo proudový signál úměrný měřené veličině. Důležitou podmínkou pro správnou činnost snímačů je minimalizace parazitních kapacit. Nejjednodušší metodou je zkrácení přívodů k měřicímu členu nebo přímo použití integrovaného převodníku.

e) Optické snímače polohy

Jejich výhodou je necitlivost na elmg a jiná pole. Nevýhodou použití jen tam, kde je čisté (opticky propustné) prostředí (bez prachu, aerosolu). Podle základního principu je dělíme na:

- snímače pro měření polohy: spojité a nespojité (absolutní a inkrementální),
- snímače pro indikaci polohy (binární / 2 stavové).

Optická indikace polohy

Indikace polohy pouze konstatuje, zda se předmět vyskytuje v předem definovaném prostoru.

Rozdělení optických indikátorů polohy:

jednocestné systémy:

- přijímače cizího záření, které neobsahují vysílač záření,
- světelná závora s odděleným zdrojem a přijímačem záření (nejčastější),
- světelná záclona, mezi zdrojem a přijímačem záření je soustavou zrcadel vytvořena síť paprsků,
- světelná mříž, sestavená z několika sériových světelných závor,

reflexní systémy: reflexní světelná závora, reflexní světelná mříž, reflexní světelná záclona.

snímací (ohledávací) systémy

Jednocestné systémy

Jednocestná závora se skládá z vysílače a přijímače. Vysílač je uspořádán tak, aby na přijímač dopadalo co nejvíce světelného záření. Přijímač detekuje dopadající záření a odlišuje světlo dopadající z okolí. Vysílačem je zde svítivá nebo laserová dioda vyzařující ve viditelné nebo infračervené oblasti. Přijímačem bývá fotodioda, fototranzistor nebo optron.

Optická mříž vznikne seřazením několika jednocestných závor nad sebou a kolmo na sebe a jejich logickým propojením. Optická mříž hlídá celou plochu mezi vysílači a přijímací stranou.

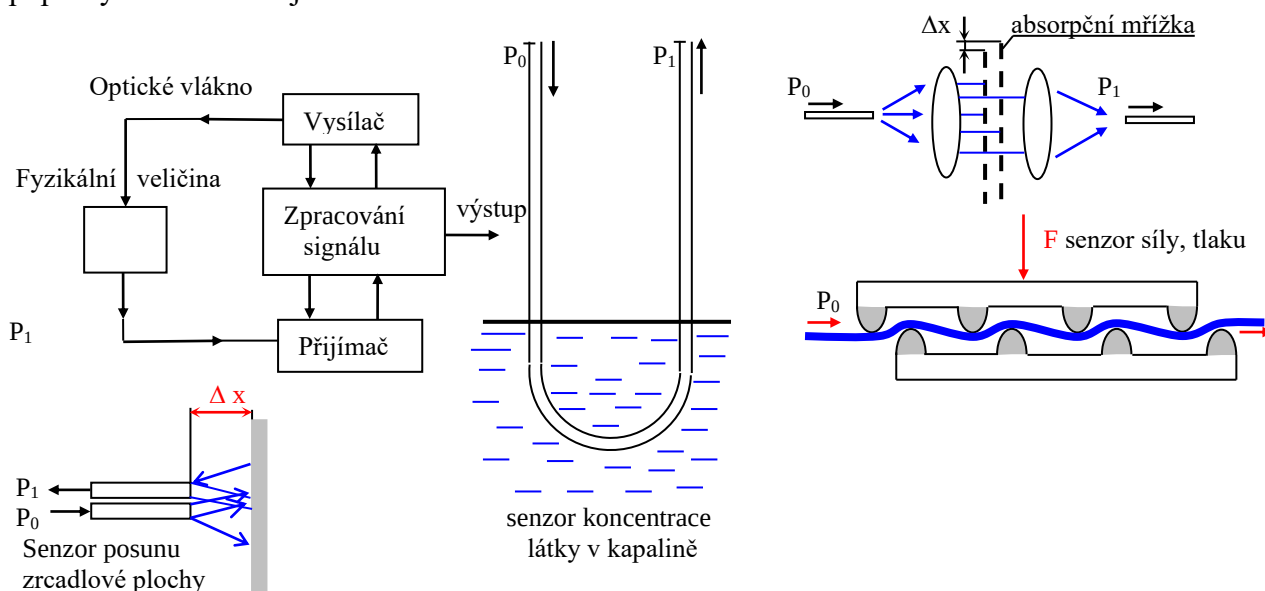
Světelná záclona se vytvoří pomocí soustavy zrcadel, kdy paprsek od vysílače putuje k přijímací záření různými drahami.

Reflexní systémy – zdroj i přijímač světla jsou umístěny v jedné jednotce. Na opačné straně detekovaného prostoru je umístěno odrazné zrcadlo. Protože klasické zrcadlo by vyžadoval velmi přesnou montáž a seřízení polohy (při sebemenší odchylce se paprsek odrazí jinak), používá se princip tzv. trojzrcadla (koutového odražeče), které zajistí zpětný odraz i při změnách vzájemné polohy vysílače a odražeče (v určitém rozsahu). Známým provedením trojzrcadla je reflexní odrazka (zadní plochy aut) nebo reflexní materiály s mikrokuličkami (dopravní značky).

Snímací (ohledávací) systémy – jsou podobné reflexním systémům, ale světelný paprsek je místo zrcadlem odrážen předmětem libovolného tvaru a barvy. Odražena je jen část dopadajícího záření, a proto musí tento systém pracovat s větším výkonem než reflexní.

f) Optické vláknové senzory (OVS)

Tyto senzory vznikly na základě vědomostí získaných při aplikacích optických vláken pro přenos dat. Optická vlákna vyvinutá původně pro přenos širokopásmových signálů přináší do oblasti opticko-elektrických snímačů novou kvalitu, ať již ve zdokonalení klasických, výše popsaných senzorů či jako samostatné snímače.



Obr.28. Příklady optických vláknových senzorů

Nejčastější dělení OVS je podle způsobu modulace světla, a to na senzory s modulací amplitudovou, fázovou, polarizační, vlnové délky a časového šíření impulsů. Dále tyto senzory dělíme na interní (měřená veličina působí přímo na vlákno) a externí (systémy mají vnější senzor a vlákno pouze přenáší signály).

g) Ultrazvukové senzory polohy

Pracují na principu odrazu ultrazvukových pulsů od detekovaného objektu. Zjednodušeně můžeme rozložit ultrazvukový snímač do tří funkčních bloků – ultrazvukový převodník, vyhodnocovací jednotka a výstupní obvod.

Ultrazvukový převodník (kombinovaný přijímač/vysílač) vyšle krátký ultrazvukový puls, potom se přepne do přijímacího režimu a je vyhodnocován přijatý odražený ultrazvukový puls,

u kterého se nejdříve zjišťuje, zda jde opravdu o odraz vyslaného signálu. Jestliže ano, je z délky intervalu (vyslaný – přijatý signál) a rychlosti šíření zvuku odvozeno, zda předmět leží v nastaveném rozmezí a podle toho je upraven stav výstupu. Pokud pracuje vyhodnocovací jednotka spojitě, můžeme spojitě vyhodnocovat skutečnou vzdálenost sledovaného předmětu.

Při použití ultrazvukového snímače musíme respektovat šířku vyzařovaného akustického svazku. S rostoucí vzdáleností se tato šířka rozšiřuje, a proto snímáný objekt musí mít s rostoucí vzdáleností zaručený minimální rozměr. Předměty vhodné pro detekci jsou všechny tuhé a kapalně látky, a i všechny sypké materiály. Tvar a barva odrazné plochy jsou libovolné. Musíme ovšem dodržet minimální odrazovou plochu (podle katalogu). Předměty nevhodné pro detekci jsou materiály se špatnou odrazivostí zvuku: guma, vysoká vrstva pěny na hladině kapaliny, jemná bavlna a vata, jemný prach.

Snímače síly a tlaku

a) Elektrické snímače síly

Měření síly je realizováno měřením výchylky, kterou síla (tlak) vyvolá působením na různé typy deformačních prvků, a jejím převodem na elektrický signál.

Piezoelektrické snímače

Funkce tohoto snímače je založena na piezoelektrickém jevu, při němž deformací krystalů dielektrik, které nejsou středově souměrné vzniká polarizací vázaný náboj. Ten může na elektrodách přiložených k povrchu krystalu indukovat volný náboj. Používanými materiály jsou tzv. feroelektrika (titaničitan barnatý), tj. látky, které se v elektrostatickém poli nebo účinkem síly snadno polarizují. V měřicí technice se používá především křemen SiO_2 .

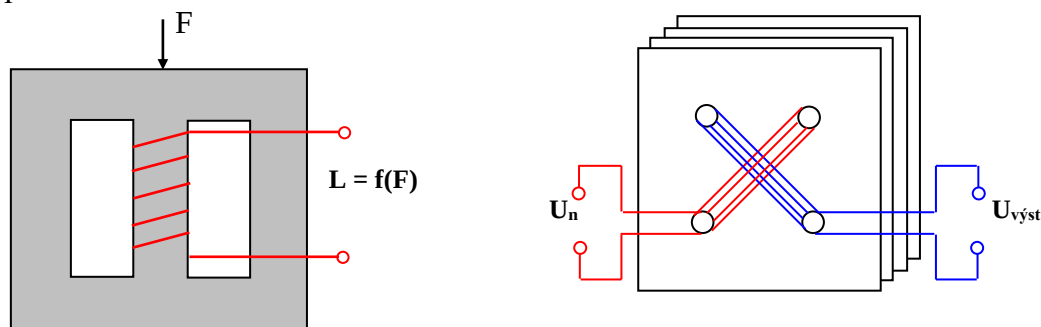
Piezoelektrické krystaly se používají pro měření časově proměnných sil.

Magnetické snímače

Jejich činnost je založena na stanovení změn magnetických veličin vyvolaných deformacemi feromagnetických materiálů. Nejčastěji se využívá 2 následujících principů:

Magnetostrikce je fyzikální jev, při němž se vlivem sil vyvolaných magnetickým polem mění rozměry feromagnetika nebo naopak vlivem deformací vyvolaných vnějšími silami se mění permeabilita feromagnetika. Snímače pracující na tomto principu mají nejčastěji magnetický obvod z permalloye ($\text{Fe}+\text{Ni}+\text{Mo}$) nebo transformátorové oceli. Výstupní veličinou je změna indukčnosti, kterou vyhodnocujeme např. můstkovými metodami.

Magnetoanizotropní snímače jsou konstruovány jako pevné těleso složené z trafoplechů v němž jsou ve čtyřech otvorech symetricky vzhledem ke středu vložena dvě vinutí. Nepůsobí-li na toto těleso síla je vazba mezi vinutími minimální, protože vinutí jsou na sebe kolmá a mg pole primáru neprotíná sekundární vinutí. Po zatížení tělesa se magnetický tok budícího vinutí natočí ve směru lepší mg. vodivosti a začne procházet sekundárním obvodem v němž indukuje výstupní napětí úměrné působící síle.



Obr.29. Magnetostrikční a magnetoanizotropní snímač

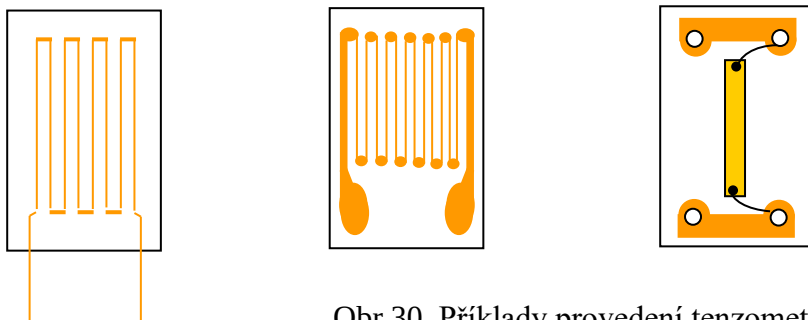
Tenzometrické snímače – odporové

Tyto snímače vyhodnocují změnu odporu způsobenou změnou geometrických rozměrů nebo krystalografické orientace snímacího prvku (tenzometru) vlivem deformace pružného měrného prvku se kterým je tenzometr pevně spojen.

Rozdělení tenzometrů: kovové: - drátkové: - volné drátky nebo mřížky natažené mezi držáky,
- drátky lepené na podložce,
- fóliové (fotolitografická technologie),
- napařované (tenkovrstvá technologie),
polovodičové: - monokrystalické: - lepené na podložce,
- integrované na Si substrátu,
- polykrystalické.

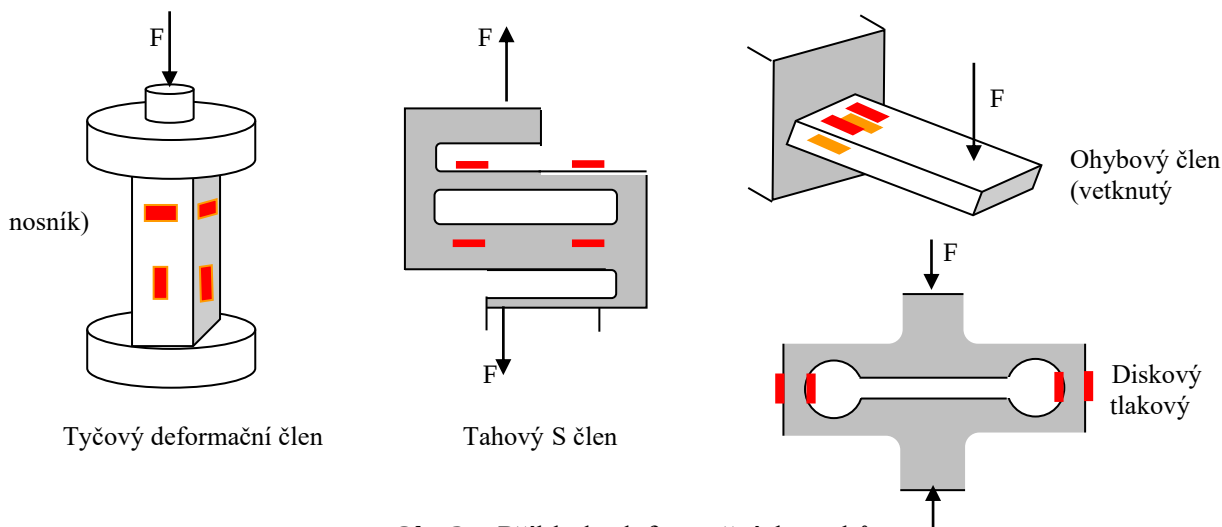
V současné době se nejčastěji používají tenzometry fóliové, napařované a monokrystalické.

Kovové tenzometry se vyrábějí ze slitin Cu-Ni (konstantan), Ni-Cr (Nichrom) apod. Drátkové tenzometry jsou z drátu o průměru 10-40 μm . Fóliové tenzometry jsou vyrobeny odleptáním napařené fólie na podložce z plastu (tloušťka fólie 1-10 μm , tloušťka podložky 10 a více μm). Povrch je chráněn plastickou fólií.



Obr.30. Příklady provedení tenzometrů

Polovodičové tenzometry jsou založeny na principu piezorezistivního jevu. Vyrábějí se z křemíku řezáním, broušením či leptáním monokrystalu, nebo planární technologií na křemíkovém nebo jiném substrátu. Tenzometry z monokrystalu se buď lepí na podložku nebo přímo na měřicí mechanický člen. V porovnání s kovovými jsou polovodičové mnohem citlivější. Nevýhodou je odchylka od lineární charakteristiky a značná teplotní závislost.



Obr.31. Příklady deformačních prvků

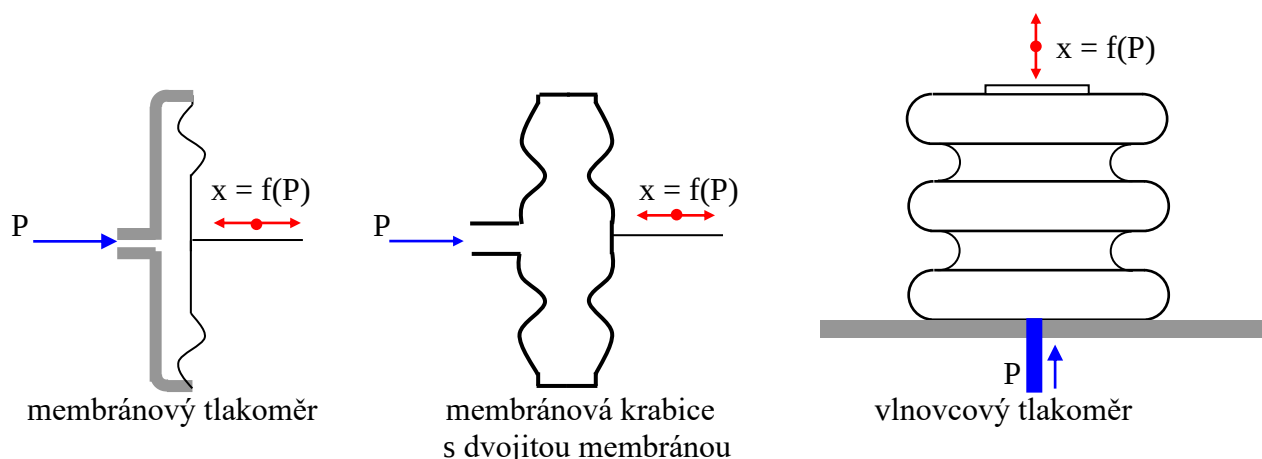
Měřicí obvody tenzometrů jsou založeny většinou na aplikaci Wheatstoneova můstku, který vyvážen při nezátížených tenzometrech.

Deformační prvky tenzometrických snímačů se používají k určení měřicího rozsahu tenzometru. Tenzometry měří působící síly nepřímo. Působením síly se těleso definovaným způsobem deformuje a tuto deformaci tenzometr měří. Pomocí deformačních těles lze měřit síly případně vážit hmotnosti od 10^{-1} N až po 10^8 N.

b) Snímače tlaku

Kapalinové tlakoměry určují tlak z výšky nebo rozdílu výšek sloupců kapaliny v nádobách vhodného tvaru (U-trubice, prstenec, nádobka s uzavřeným, otevřeným, svislým neskloněným nebo skloněným ramenem).

Deformační tlakoměry určují tlak z deformace měřicího prvku v lineární části deformační charakteristiky, popisujícím závislost jejího zdvihu na působícím tlaku.



Obr.32. Membranový, krabicový a vlnovcový tlakoměr

Snímače průtoku

Snímače průtoku tekutin (kapalin a plynů) určují objemové množství Q_v [m^3/s] nebo hmotnostní množství Q_M [kg/s] média proteklé zvoleným průřezem S za časovou jednotku.

Platí vztahy: $Q_v = V/t = v_{stř} \cdot S$ [m^3/s]; $Q_M = m/t = v_{stř} \cdot S \cdot \theta$ [kg/s]

Z těchto vztahů vyplývá, že musíme měřit buď rychlost, nebo objem, nebo hmotnost.

a) rychlostní snímače: průřezové, plovákové, turbínkové, indukční, ultrazvukové, vírové ...

b) objemové snímače: dávkovací snímače, plynoměry,

c) hmotnostní snímače: Coriolisův snímač.

ad a) rychlostní snímače

vyhodnocují průtok nepřímo měřením střední rychlosti proudu tekutiny. Ta závisí vzhledem k rychlostnímu profilu na typu proudění charakterizovaným tzv. Reynoldsovým číslem Re .

Průřezové snímače jsou skupinou, pro kterou je typické, že ve snímači se mění průřez potrubí. Díky tomu vzniká na překážce v potrubí pokles tlaku. Základními typy průřezových snímačů jsou:

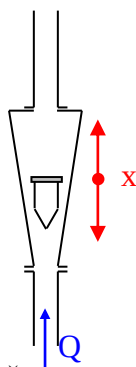
- *Clona (kruhová centrická clona):* - výrobně nejjednodušší, nejlevnější a nejužívanější prvek, překážku tvoří plechová vložka s vyříznutým kruhovým otvorem (velikost otvoru vůči průměru potrubí umožňuje určit měřicí rozsah),
- způsobuje citelnou tlakovou ztrátu a vyžaduje čisté tekutiny,
- *Dýza ISA 1932:* používá se při větších požadavcích na přesnost, v náročných provozních podmínkách a má delší životnost a stálost.

- *Venturiho trubice*: využívá efektu snížení tlaku v zúženém profilu potrubí kde médium proudí rychleji vůči části s větším profilem. Rozdíl tlaků odpovídá rychlosti proudění.
- *Pitotova a Prandtlova trubice*: využívají efektu náporového tlaku proudícího plynu na čelo trubice v porovnání se statickým tlakem působícím na boky trubice. Rozdíl tlaků odpovídá rychlosti proudu. Nejčastěji se tento princip využívá v letecké a raketové technice, ale najdeme ji i na monopostech Formule 1 a jinde.

clona dýza Venturi Pitot Parschall

Obr.33. Průřezové snímače

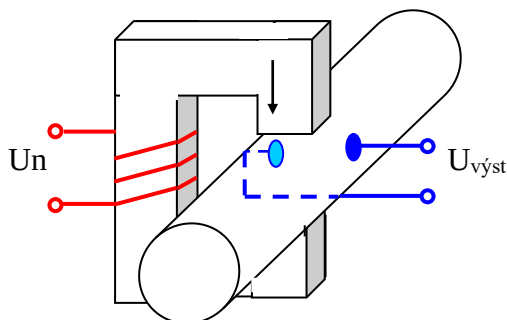
Plovákový průtokoměr (rotametr) pracuje na principu udržování konstantního tlakového rozdílu při proměnlivém škrcení průtočného průřezu. Ve svislé kuželové trubce je proudící tekutinou nadzvedáván plovák. Plovák je šikmo rýhovaný a vlivem proudění tekutiny rotuje (tím se jeho poloha stabilizuje a nedotýká se stěn) a je unášen do polohy, kde nastane rovnováha mezi dynamickým působením tekutiny a tíhou plováku. Vyhodnocení výškové polohy plováku se provádí snímači polohy, nejčastěji transformátorovým.



Obr.34. Řez plovákovým průtokoměrem

Turbínkový průtokoměr využívá kinetickou energii kapaliny k uvedení rotoru do otáčivého pohybu rychlostí úměrné střední rychlosti $v_{stř}$ kapaliny protékající příčným průřezem snímače. Otáčky rotoru jsou převáděny mechanicky převodovým ústrojím na integrační počítadlo nebo snímány elektronicky indukčním snímačem.

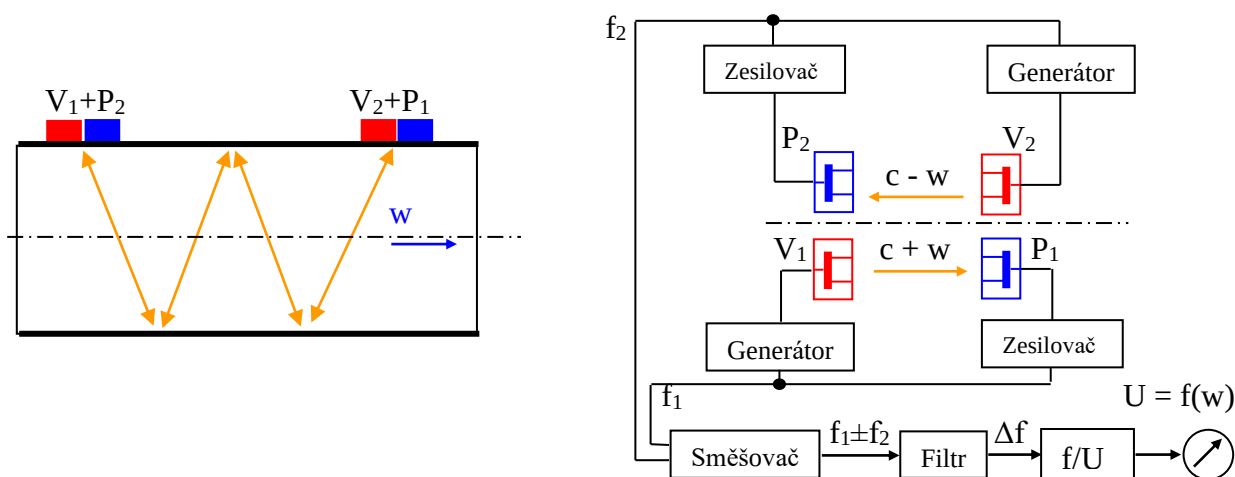
Indukční průtokoměr využívá Faradayův zákon o indukci napětí ve vodiči při jeho pohybu v magnetickém poli. Proudící kapalinu si lze představit jako paralelně řazená proudová vlákna (s délkou L rovnou šířce pólových nástavců) pohybující se rychlostí v kolmo k vektoru magnetické indukce B . Průtokem kapaliny se indukuje na dvojici elektrod, jejichž spojnice je kolmá k vektorům B, v napětí $U_{výst} = B \cdot L \cdot v$. Indukční průtokoměr neobsahuje žádné pohyblivé prvky, může tedy pracovat v libovolné poloze, nevyžaduje přímý úsek pro stabilizaci průtoku a nevzniká v něm tlaková ztráta jako při použití škrtících orgánů. Jeho charakteristika je lineární s citlivostí řádově 1 mV/ms^{-1} a přesností 1 %.



Obr.35. Princip indukčního průtokoměru

Ultrazvukový průtokoměr vyhodnocuje signály na základě změn rychlosti šíření ultrazvukových vln při jejich pohybu ve směru a proti směru proudění kapaliny. Jeho výhodou je, že neobsahuje pohyblivé prvky, a proto je použitelný i pro znečištěná média. Je odolný proti rušivým signálům (teplota, tlak) a umožňuje dodatečné měření bez rozpojení potrubí (montuje se na povrch potrubí).

Vírový průtokoměr využívá vzniku vírů a tím i vzniku tlakových pulzací na překážce zpravidla lichoběžníkového tvaru vložené do proudu tekutiny. Na odtokové straně překážky dochází ke spirálovitému pohybu tekutiny a tím vzniku střídavého obtékání překážky. Frekvence oscilací proudu je úměrná rychlosti tekutiny obtékající překážku a je detekována (jako změna tlaku) tenzometrickými, piezoelektrickými nebo kapacitními snímači tlaku.



Obr.36. Princip činnosti ultrazvukového průtokoměru

Anemometrický snímač vychází z poznatku, že odběr tepla z ohřátého tělesa vloženého do proudu tekutiny je tím větší, čím rychleji kolem něj tekutina proudí. Jsou používány odporové snímače v můstkovém zapojení.

ad b) objemové průtokoměry

jedná se o dávkovací systémy, které ve směru proudění transportují přesně definovaná množství tekutin nebo plynů.

Dávkovací průtokoměr pracuje na principu plnění a vyprazdňování komor definovaného objemu tak, aby průtok tekutiny snímačem byl plynulý a měření spojitě. Výstupem průtokoměru jsou impulsy indukčního snímače otáček rotujících pístů, z nichž lze převodníkem frekvence-napětí odvodit okamžitý objemový průtok Q_v a integrací otáček celkově proteklé množství tekutiny.

Plynoměry jsou zastoupeny nejčastěji dvěma principy:

- *Zvonový plynoměr* je tvořen nádrží s kapalinou (voda, olej), do které je ponořen zvon vyvažovaný protizávažím. Do kapalinou uzavřeného prostoru pod zvonom se přivádí plyn zvedající zvon. Změna výšky zvonu za časovou jednotku pak udává objemový průtok plynu.
- *Měchový plynoměr* má měrný prostor rozdělen měchem (membránou) na dvě komory jejichž plnění a vyprazdňování přepíná šoupátkový rozvod.

Snímače hladiny

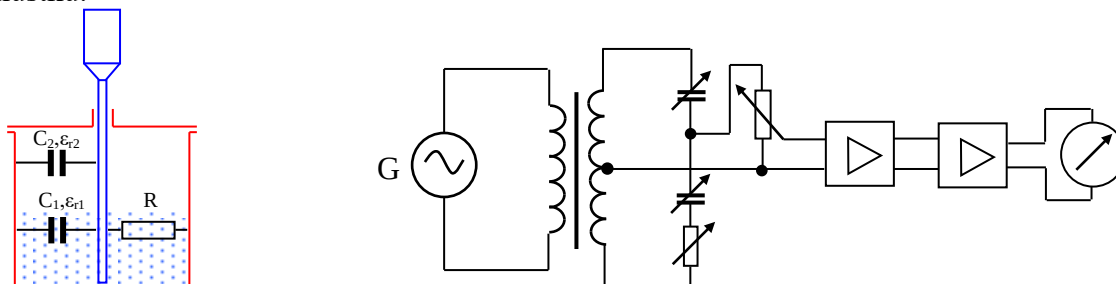
a) Snímače pro nespojité měření hladiny: plovákové, vibrační, vodivostní

Obr.37. Principy nespojitých snímačů hladiny

b) Snímače pro spojité měření hladiny

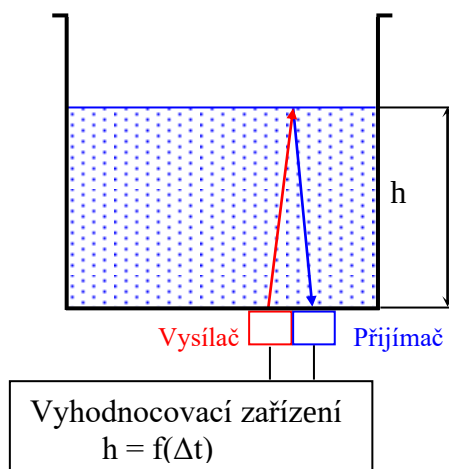
Plovákový snímač hladiny je vybaven plovákem, který sleduje úroveň hladiny, mechanickými převody je tento pohyb zpravidla transformován na změnu polohy jezdce odporového vysílače.

Kapacitní snímač hladiny pracuje na principu měření kapacity kondenzátoru, který má 2 druhy dielektrika: vzduch a měřenou látku (vlastně má proměnlivé ϵ_r). Kondenzátor má elektrody částečně ponořené do měřené látky, kterou může být kapalina, ale i sypký nebo kusový materiál (uhlí, obilí, nafta, granule atd.). Vnitřní elektrodou je kovová tyč, která je, při měření vodivého prostředí zastávajícího funkci druhé elektrody, od něj izolována nevodivým povlakem. Jestliže je měřená látka nevodivá, je vnější elektrodou vodivá válcová plocha nebo vodivý plášť nádoby. Pro volbu typu elektrody platí, že pro látky s měrným elektrickým odporem $\rho > 10^7 \Omega\text{cm}$ lze použít neizolovanou elektrodu. Hodnota kapacity snímače je většinou měřena pomocí střídavých můstků.



Obr.38. Princip kapacitního snímače hladiny

Hydrostatický snímač hladiny určuje nepřímou hladinu kapaliny měřením hydrostatického tlaku u dna nádoby. Vyhodnocovacími přístroji jsou snímače tlaku připojené ke dnu nádrže.



Obr.39. Princip ultrazvukového snímače hladiny

V tlakových nádobách je obvyklé měřit výšku hladiny snímáním tlaku nad hladinou a u jejího dna, aby se tak kompenzoval vliv statického tlaku.

Ultrazvukový snímač hladiny vyhodnocuje úroveň hladiny (i sypkých látek) na základě časového intervalu mezi vysláním a přijetím ultrazvukového signálu měřenou látkou. Jeho výhodou je bezkontaktní měření v rozsazích až desítky metrů. Výměna snímače je možná za provozu zařízení.

Radarové snímače hladiny se rozdělují na bezkontaktní (pulsní nebo se spojitým frekvenčně modulovaným signálem) a na kontaktní.

Pulsní radar vyhodnocuje standardním způsobem dobu mezi vysláním a přijetím signálu je zatížen chybami vzniklými náhodnými signály (odrazy od stěn, dna).

Radar se spojitou vlnou (radar se spojitým frekvenčně modulovaným signálem FMCW) vysílá frekvenci, která v určitém časovém intervalu lineárně roste v rozmezí jednotek GHz, to znamená, že radar se během vysílání spojitě přeladuje. Přijímaná frekvence se tedy liší od právě vysílané frekvence a z jejich rozdílu lze získat nízkofrekvenční signál (kHz), jehož frekvence je úměrná vzdálenosti měřené hladiny od antény.

Radioizotopové snímače hladiny pracují na principu vyhodnocení změny zářivého toku:

- jeho absorpcí průchodem proměnnou vrstvou měřeného prostředí,
- vlivem změny vzdálenosti mezi zdrojem a detektorem záření,



Obr.40. Principy radioizotopových snímačů hladiny

2.2 Přenos informace

Prostředky pro přenos signálu

Ne každý signál je možno zpracovat v místě jeho vzniku. Proto je nutno přenést informaci z místa jejího vzniku do místa jejího zpracování, uložení nebo využití. Zdroje informace technických systémů jsou v převážné míře tvořeny výstupními signály snímačů elektricky i neelektricky měřených technických veličin a mají zpravidla analogový charakter. Tento signál je třeba převést na jednotný nebo unifikovaný signál, nutný pro vzájemné propojování prvků řídicích systémů různých výrobců a výkonově upravit pro přenos informace na větší vzdálenosti. Prostředky pro přenos signálu můžeme rozdělit podle použité energie signálu.

a) Mechanický signál

Tento signál je přenášen táhly, bowdeny, řetězy, řemeny, ozubenými koly, třecími převody, membránami, vlnovci, písty atd. Jsou to tedy především prvky pro přenos síly a výchylky. Dosah mechanického signálu je malý, rychlost je poměrně velká, ale možné setrvačné síly a tření vyžadují značné přestavné síly. Teplotní vlivy a vůle mohou vnášet chybu výchylky.

b) Pneumatický a hydraulický signál

Tento signál je přenášen různými typy potrubí, a to podle přenášeného tlaku (tyto signály mohou vedle informace přenášet i výkon). Pro pneumatiku se používají plastová nebo kovová

potrubí. Pro hydrauliku se používají ocelové trubky nebo vysokotlaké (opředené pancéřované) pryžové hadice.

Při přenosu pneumatického signálu potrubím dochází ke zpožděním, která jsou často mnohokrát větší než zpoždění přístrojů, a proto je tento přenos vhodný pouze tam, kde sledovaný systém sám má velké časové konstanty.

Hydraulické systémy používají pro přenos tlaku potrubí o značném tlaku (až desítky MPa) a problémy zde působí setrvačné síly pohybujícího se sloupce kapaliny v souvislosti s její nestlačitelností. Při náhlém zastavení průtoku může dojít k tlakovým rázům, které mnohonásobně převyšují pevnost potrubí. Proto se hydraulická potrubí volí co nejkratší a nelze realizovat prostorově rozsáhlejší hydraulická zařízení. Zpoždění signálu zde nehraje takovou roli jako u pneumatických signálů (rychlost šíření je v kapalině asi pětikrát vyšší než ve vzduchu). Pro přenos hydraulických signálů se často se používají kapiláry, které zvládají vysoké tlaky a díky malému objemu netrpí tlakovými rázy.

c) Elektrický signál

Analogové i číslicové systémy využívají pro přenos informace v zásadě stejná přenosová prostředí. Přenosové prostředky používané v současnosti jsou nízkofrekvenční kabely se symetrickými páry (12 až 30 telefonních kanálů / pár), vysokofrekvenční kabely (60 až 480 telefonních kanálů / pár), koaxiální kabely (šířka pásma 12 až 60 MHz analogově nebo až 400 Mbit/s). Pro nenáročné aplikace jsou ti obvyčejné dvoulinky, kabely datových sítí UTP a STP a speciální průmyslové kabely pro sítě AS-i.

e) Optický signál

Přenos optického signálu je možný atmosférou, vakuem, kosmickým prostorem, a především různými typy světlovodů. Optickými spoji lze přenášet signál v analogové nebo digitální podobě. Optické záření lze přitom modulovat téměř všemi známými způsoby modulace: amplitudově, frekvenčně, fázově změnou polarizace, popř. různými kombinacemi těchto způsobů. Optická vlákna se používají v širším měřítku od 90.let.

Vlastnosti světlovodů jsou dány mimo jiné jejich propustností pro přenášenou vlnovou délku optického paprsku (rozhoduje o vzdálenosti opakovačů) a jejich mechanickou pevností. Optická vlákna dělíme podle konstrukce na skleněná jednovidová, gradientní, mnohovidová a na plastová.

Jednovidová vlákna (jeden vid = jedna cesta = 1 paprsek ve vlákne) jsou velmi tenká a používají se pro přenos na velké vzdálenosti (vzdálenost opakovačů až 40 km). Mají útlum 1 až 5 dB/km. Spojování a konektování jednovidových vláken je velmi obtížné a nákladné.

Mnohovidová vlákna (více cest = více paprsků v 1 vlákne) se používají se na malé vzdálenosti, řádově km až desítky km. Jejich útlum je podstatně větší, až 40 dB/km.

Plastová vlákna mají průměr kolem 1 mm a jsou využitelná jen na krátké vzdálenosti (jednotky metrů) např. uvnitř některých zařízení. Mohou převést značný světelný tok a jak vlákna, tak jejich konektory jsou laciné.

Přednosti optických přenosových vláken

Velká přenosová šířka, imunita vůči elektromagnetickým polím, interferenční imunita – nedochází k přeslechům a jiným rušením (motory...), odolnost proti žíravinám – vhodné do chemických provozů a do prostorů s vysokou koncentrací vodních par se zvýšenou teplotou, přenášení i malého množství energie, explozní imunita, snazší a lacinější instalace, malé rozměry a hmotnost, vysoká kvalita přenosu, nízká cena.

Nevýhody optických vláken

Vlivem radiace optické vlákno nevratně tmavne a zvětšuje se jeho útlum. Díky své elektrické nevodivosti nepřenáší napájecí el. energii, která je potřeba pro vložené optické zesilovače. Díky absorpci vodíku (z atmosféry nebo vody) vlákna křehnou. Optické vlákna se nevyplátí pro malý přenosový výkon a pro krátké vzdálenosti kvůli vysoké ceně vláken a spojovacích dílů (konektorů).

Prostředky pro úpravu signálu

V některých případech se signály transformují pro další zpracování a přenos užitím jiného druhu fyzikálního nosiče signálu. To se realizuje tzv. mezisystémovými převodníky.

Měřicí a řídicí technika se často orientuje na elektronické číslicové zpracování dat. Proto je třeba realizovat převod analogových veličin na číslicové a po číslicovém zpracování v některých případech je nutný převod zpět do analogového tvaru. Tyto převody se uskutečňují pomocí analogově-číslcových (A/Č, A/D) nebo číslicově-analogových (Č/A, D/A) převodníků.

Zesilovače, tvarovače a filtry

Při přenosu signálu na větší vzdálenosti dochází k útlumu signálu, a proto je třeba obnovit energii, popř. i tvar signálu. Proto se na dlouhá analogová vedení musí zařazovat zesilovače.

Pro diskretní signál se do vedení zařazují tzv. tvarovače signálu, které obnoví původní obdélníkový tvar i amplitudu diskretního signálu.

Při přenosu se signál zatíží šumem a je proto třeba tento šum od signálu oddělit. K tomu se používají filtry. Podle cíle zpracování a vztahu signálu a šumu ve zpracovaném signálu pak rozeznáváme různé druhy filtrů.

Signálové a mezisystémové převodníky

Tyto převodníky slouží pro generování jednotného nebo unifikovaného signálu z přirozených signálů. Vznikajících v senzorech. Umožňují, aby všechny prvky systému mohly pracovat se stejným rozsahem signálu. Potom pro různé fyzikální veličiny i jejich různé rozsahy stačí použít vhodný signálový převodník a všechny další prvky a přístroje jsou již shodné. Rozdíl mezi signálovými a mezisystémovými převodníkem spočívá v tom, že signálové převodníky transformují přirozený fyzikální signál na jednotný, zatímco mezisystémové převodníky transformují jednotný signál jedné energie na jednotný signál jiné energie.

Analogově-číslcové převodníky

Jsou to elektronické systémy převádějící spojitě proměnný vstupní signál (zpravidla napětí) na posloupnost číselných hodnot. Lineárnímu signálu proto odpovídá na výstupu převodníku funkce odstupňovaná v tzv. kvantech, jejichž velikost určuje rozlišovací schopnost převodníku. Spojitému signálu na vstupu odpovídá určitý počet kvant na výstupu. Podle způsobu, jak tento převod realizují, rozdělujeme převodníky do dvou skupin:

- a) přímé převodníky s kvantováním měřené veličiny jejichž výstupem je přímo počet kvant, patří sem převodníky kompenzační a komparační
- b) převodníky s mezipřevodem měřené veličiny na čas nebo frekvenci, u nichž ke kvantování dochází v časové oblasti. Patří sem převodníky s jednoduchou nebo dvojitou integrací a převodníky napětí-frekvence.

Číslicově-analogové převodníky

Používají se k převodu vstupní číselné hodnoty vyjádřené v binárním kódu na odpovídající výstupní hodnotu spojitěho signálu, kterým je zpravidla napětí. V automatizační technice se Č/A převodníky používají k převodu výstupních signálů číslicových řídicích členů na analogový signál ovládání spojitých akčních členů. Dále se používají k převodu číslicových signálů pro

analogové zobrazení ukazovacími měřicími přístroji nebo zobrazení výchylky paprsku obrazovky číslicového osciloskopu.

2.3 Vyhodnocení informace

K vyhodnocení – zpracování informace se používají zesilovače, regulátory, programovatelné automaty, průmyslové počítače. Způsob zpracování signálu závisí na druhu signálu a na druhu energie, která je nositelkou příslušné informace.

Zesilovače – jejich činnost spočívá v tom, že malým vstupním signálem ovládáme velký tok energie. Proto zesilovače musí vždy mít napájení. Zesilovače se mezi sebou liší druhem signálu, konstrukcí, zesílením a hlavně, úkoly, které mají plnit.

Zesilovače můžeme rozdělit na spojitě (analogové) a nespojitě (relé, stykač), podle energie (elektrické, pneumatické a hydraulické), podle statických vlastností (lineární a nelineární), podle dynamických vlastností (stejnoseměrné, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a širokopásmové), podle vlastností výstupu (symetrické a nesymetrické), podle funkce na zesilovače (operační, výkonové a oddělovací) a podle konstrukce (elektronkové, tranzistorové, tyristorové, integrované, magnetické atd.).

Velký vliv na vlastnosti zesilovačů mají zpětné vazby. Ty ovlivňují stabilitu, zesílení, linearitu, dynamické vlastnosti, a impedanci. Důležitým parametrem zesilovačů je ztrátový výkon, který se při práci zesilovače přemění v teplo, které je nutno odvést (chlazení).

Operační zesilovače – jsou základní aktivní součástí pro zpracování analogového signálu. Jsou určeny k tomu, aby ve spojení se zpětnou vazbou realizovaly požadovaný přenos signálu. Ideální operační zesilovač by měl mít nekonečné zesílení, z důvodu zátěže předchozích obvodů by měl mít nekonečný vstupní odpor a z důvodu minimálního zkreslení výstupního signálu i nulový výstupní odpor (ideální zdroj).

Regulátory – jedná se většinou o kompaktní jednotky určené pro montáž na ovládací panely. Vyrábí se celý sortiment regulátorů. Nejjednodušší jsou dvoupolohové regulátory, které pracují na principu ručičkového měřicího přístroje, u kterého se snímá poloha ručičky a podle této polohy se ovládají výstupy regulátoru. Složitější jsou spojitě PID regulátory, které umožňují volit dynamiku a parametry regulátoru.

V současnosti jsou nejčastějším typem regulátory číslicové (mikroprocesorové vestavné jednotky), které umí nahradit jak nespojitě dvou a vícepolohové regulátory, tak analogové PID regulátory (pseudoanalogové PID/PSD regulátory), případně vytvořit vlastní dynamiku s volitelnými parametry.

Programovatelné automaty – obdobou digitálních regulátorů jsou programovatelné automaty (dále jen PLC). Jejich použití je univerzální. Jsou to mikroprocesorové systémy s dostatečným výkonem a s vybavením, které umožňuje celou škálu funkcí. Mohou nahradit jak klasické nespojitě i spojitě regulátory, tak regulátory s nestandardními funkcemi (evoluční, fuzzy, neuronové atd.).

Průmyslové počítače – běžné stolní počítače nejsou dostatečně odolné, aby v průmyslovém prostředí spolehlivě sloužily. Zvláštní konstrukcí lze dosáhnout jejich zvýšené odolnosti zejména proti otřesům, proti kolísání teploty i proti kolísání napájení. Průmyslové počítače poskytují softwarový komfort pro uživatele i programátory, kdy je možné využívat všechny funkce jak operačního systému, tak variant řídicího softwaru. Počítač může dále archivovat naměřená data,

vytvářet databáze, komunikovat pomocí internetu a díky velkému výkonu i analyzovat chování řízené technologie a používat pokročilé softwarové techniky.

2.4 Využití informace

K využití informace dochází na konci celého informačního řetězce. Posledním členem obecně je akční člen, který s regulovaným systémem tvoří mnohdy nedělitelný celek. Akční člen (angl. aktuátor) transformuje výstupní signál regulátoru na fyzickou akci, která působí na regulovaný systém a mění jeho energetické poměry. Samotný akční člen může být tvořený pohonem a regulačním orgánem. Při spojení pohonu (motorické jednotky), příslušných senzorů a regulačního orgánu do jednoho konstrukčního celku vzniká servopohon nebo servomechanismus, který pohání příslušný regulační orgán (ventil, šoupě, klapku atp.).

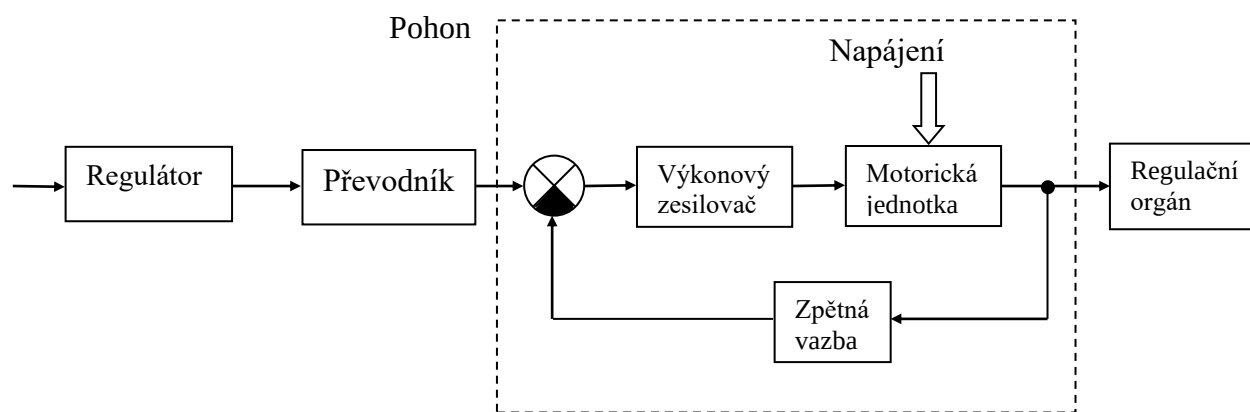
Abychom získali dobře regulovatelný a lineárně reagující regulační obvod je potřeba sladit charakteristiky regulačního orgánu a regulovaného systému. Vzhledem k tomu, že většina systémů má charakteristiku nelineární, navrhuje se regulační orgán s opačnou nelinearitou, která kompenzuje nelinearitu systému a výsledná charakteristika celého regulačního obvodu je lineární.

Akční členy – jsou to všechny prvky, které jsou určené k využití zpracované informace, tzn. prvky na konci řetězce zpracování informace. Mezi ně patří hlavně pohony a na ně navazující regulační orgány.

Pohony jsou zařízení, která převádějí signály z členů pro zpracování informace na výchylku konající požadovanou práci s požadovaným výkonem.

Regulační orgány jsou zařízení pro ovládání toku hmoty nebo energie systémem. Ne vždy je možno rozdělit akční člen na pohon a regulační orgán.

Pohony – můžeme je rozdělit na pohony určené pro ovládání regulačních orgánů a na pohony speciální, které jsou řešeny pro každou aplikaci individuálně. Podle energie, která je využita ke konání práce pohonů, rozlišujeme pohony elektrické, pneumatické a hydraulické.



Obr.41. Blokové schéma pohonu

Pohony můžeme dále rozdělit podle výstupního signálu na spojité (proporcionální) a nespojité (dvoupolohové) a podle dráhy pohybu jejich výstupní části na posuvné, kyvné a rotační. Podle chování v čase je dělíme na statické a astatické.

Pro řízení procesů jsou na pohony kladeny tyto požadavky:

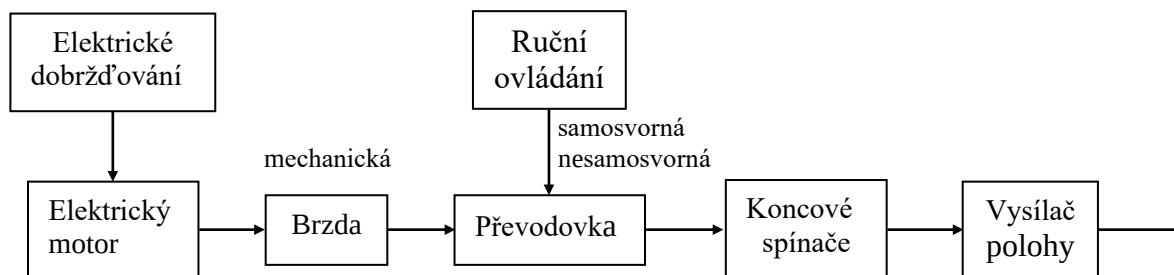
- přímočarý pohyb pro ovládání polohy regulačních ventilů a šoupátek v rozsahu řádově 10^1 až 10^2 mm při silách 10^2 N až 10^2 MN,

- úhlové vychýlení mechanismu pro ovládání škrtkových klapek, žaluzií, kohoutů atd.
- otáčivý pohyb (jednotky až desítky otočení),

U pohonů se mohou používat tato přídatná zařízení:

- zařízení pro definování chování pohonu v případě výpadku napájecí energie (např. dosažení předepsané polohy, brzda) – zajištění tzv. pasivní bezpečnosti,
- zařízení pro ruční ovládání regulačního orgánu,
- vysílač skutečné polohy regulačního orgánu (pro ruční ovládání nebo pro vytvoření zpětné vazby),
- u elektrických pohonů koncové spínače (polohové nebo momentové).

Elektrické pohony



Obr.42. Základní části elektrického pohonu

Elektrické motory – základní vlastnost elektrického motoru, která rozhoduje o jeho použití je určena jeho mechanickou charakteristikou – závislostí zatěžovacího momentu na otáčkách. Dále rozhoduje, zda má konstantní nebo proměnné otáčky a způsob a rozsah jejich ovládání. Z hlediska praktického nasazení pohonu je důležitá přetížitelnost motoru, tepelná a klimatická odolnost, krytí a ochrana proti explozi. Podle napájecího napětí dělíme elektrické motory na stejnosměrné a střídavé. Podle funkčního principu na stejnosměrné, indukční a synchronní.

a) stejnosměrné motory – jsou konstrukčně shodné se ss dynamem, tzn. mají komutátor, který zajišťuje přepínání mezi póly statoru a rotoru a tím vytváří trvalý točivý moment. Magnetické obvody těchto motorů jsou z kompaktních materiálů. Stejnosměrné motory dělíme na sériové, derivační a kompaundní.

Derivační motor: má budící vinutí statoru zapojeno paralelně k rotoru. Otáčky jsou závislé na velikosti budícího proudu. Nastavené otáčky se mění se zatížením jen málo a lze využít rekuperaci.

Sériový motor: má budící vinutí statoru zapojeno do série s vinutím rotoru. Otáčky tohoto motoru se zatížením klesají a zároveň vzrůstá hnací moment (tato vlastnost je výhodná pro trakční použití jako je pohon vozidel: trolejbusů, tramvají, lokomotiv, ale i startér spalovacího motoru atd.). Při odlehčení rotoru nebezpečně narůstají otáčky (až do poškození / roztržení rotoru).

Kompaundní motor: vznikne spojením derivačního a sériového motoru. Hlavní póly nesou derivační i sériové vinutí. Podle toho, jak velké jsou magnetomotorické síly těchto vinutí a jakým směrem magnetují, lze dosáhnout různých tvarů charakteristik. Převládá-li sériové vinutí, tak derivační vinutí pouze zamezuje, aby se nezvýšily otáčky při úplně odlehčeném motoru. Převládá-li derivační vinutí, lze sériové vinutí využít pro zvýšení záběrového momentu. U tohoto motoru lze využít motorické a generátorické režimy (brzdit rekuperací).

b) indukční (střídavé) motory – podle fází je dělíme na jednofázové a třífázové, podle konstrukce a způsobu provozu na synchronní, asynchronní, komutátorové, se stíněným polem a krokové.

Jednofázové komutátorové motory: mají podobnou konstrukci a vlastnosti jako stejnosměrné stroje. Dnes se používají především v sériovém zapojení. Liší se pouze tím, že mají magnetické obvody rotoru i statoru skládané z plechů (kvůli ztrátám vířivými proudy). Moment není konstantní, ale sinusově kolísá s dvojnásobnou frekvencí napájecího proudu. Mají velkou závislost otáček na zatěžovacím momentu, avšak nemají omezenou hodnotu maxima otáček, jako např. asynchronní motory (50 Hz = 3000 ot/min). Jmenovité otáčky se volí kolem 10 000 ot/min i vyšší. Používají se u ručního nářadí apod. Jejich nevýhodou je vznik vysokofrekvenčního výboje na komutátoru. Proto je třeba tyto motory dobře odrušit (odrušovací kondenzátory).

Asynchronní třífázové indukční motory: Tři fáze napětí a proudu přivedené do tří statorových vinutí motoru vytvoří kruhové točivé pole, jehož směr je určen sledem jednotlivých fází. Přehození dvou fází způsobí změnu smyslu otáčení točivého pole a tím i hřídele motoru. Rotor motoru nemá žádné vinutí, ale pouze vodivě propojenou klec tzv. kotvu nakrátko. Regulaci otáček můžeme provést stupňovitě, je-li motor vybaven přepínatelnými póly, nebo změnou frekvence pomocí frekvenčního měniče.

Jednofázové indukční motory: Jsou odvozeny z asynchronních motorů třífázových. Při jednofázovém napájení mají však třífázové motory nulový rozběhový moment, a proto se normálně sami nemůžou rozběhnout. Rozběhu dosáhneme díky pomocnému fázovému vinutí, které napájíme fázově posunutým napětím a tím se vytváří pulzní rozběhový moment. Posunutí fáze docílíme vřazením odporu nebo kapacity do série s pomocnou fází. Zjednodušenou konstrukcí dostaneme jednofázový asynchronní motor s hlavním a pomocným vinutím. Tyto motory jsou jednoduché, nenáročné a nevyžadují třífázový rozvod.

Motory se stíněným polem: má statorové vinutí ze dvou cívek, z nichž každá magnetizuje jeden vyniklý pól. Každý pól je rozpůlen a jeho jedna půle je obepnuta silným závitem spojeným nakrátko. Tyto závity nakrátko vytvoří točivé pole, které otáčí rotorem. Úpravou rotoru nakrátko lze docílit, že motor pracuje synchronně s frekvencí sítě. Záběrný moment a účinnost jsou malé, a proto se motorku se stíněným polem používá jen pro nejmenší výkony (desítky W) – pohon hodin, zapisovačů, gramofonů atd.

c) krokové motory – V současné technické praxi se používají tři druhy krokových motorů: krokové motory s pasivním rotorem, krokové motory s aktivním rotorem a krokové motory s odvalujícím se rotorem. Vinutí je umístěno pouze v statoru. Rotor je sestaven z plechů a případně magnetů.

Krokové motory s pasivním rotorem: Rotor je v tomto případě tvořen svazkem plechů nalisovaných na hřídel. Plechy mají tvar, který tvoří pólové nástavce. Motory s pasivním rotorem mohou být tři a více fázové. Prakticky se používají čtyř nebo pěti fázové. Typické pro ně je relativně malá velikost kroku (většinou 1 až 5°, výjimečně 15 až 22,5°). Provozní momenty od jednotek mN·m až do 1,5 Nm. Nejvyšší rozběhový kmitočet je od několika kHz u nejmenších až do několika desítek Hz u největších motorů. Mají však jednoduchou a levnou konstrukci.

Krokové motory s aktivním rotorem: Jejich rotor obsahuje magneticky aktivní část – permanentní magnet. Mají složitější magnetický obvod a jsou tudíž dražší. Mají širší pásmo provozních kmitočetů. Podle uspořádání pólů magnetu rozlišujeme krokové motory:

- **s radiálně polarizovaným magnetem:** obvykle jsou s čtyř a vícepólovým magnetem, mají velikost kroku větší než 15°, obvykle 30°, 45° i 60°,
- **s axiálně polarizovaným permanentním magnetem:** mají vždy dvojpólový magnet, rotor má dvě části s vyjádřenými pólovými nástavci a tyto póly jsou vzájemně posunuté, jsou nejvíce rozšířené, obvykle jsou označovány jako hybridní. Konstruuji se s velikostí kroku od 0,36 do 5°,

nejčastěji $0,9^\circ$ a $1,8^\circ$. Tyto motory vykazují při stejném objemu 2 až 2,5krát větší moment než motory s pasivním rotorem. Pásmo provozních kmitočtů je několik kHz a u některých speciálních aplikací až desítky kHz.

- **motory s odvalujícím se rotorem:** dosahují nejlepších hodnot poměru provozního momentu k objemu motoru – 2krát větší než u motorů s axiálně polarizovaným permanentním magnetem. Jsou vhodné pro realizaci velmi malých kroků (zlomky stupně). Dosahují velmi vysokých provozních kmitočtů (desítky kHz) a velkých přesností krokování při příznivých dynamických vlastnostech.

Obr.43.Principy krokových motorů

Ovladače krokových motorů – časové posloupnosti přepínání fází krokových motorů je nutno realizovat s kmitočtem řádu kHz. Ovladač musí v každém případě plnit dva požadavky: musí vytvořit předepsanou časovou posloupnost buzení fází motoru, jednak zajistit jmenovitou hodnotu proudu v sepnuté fázi krokového motoru. Nezbytnou součástí každého krokového motoru je tedy elektronický komutátor a výkonový zesilovač. Ovladač může ještě plnit některé další funkce např. provoz v režimu synchronního motoru s velkým regulačním poměrem. Jednoduchou a pohodlnou změnou frekvence generátoru je možno dosáhnout změny otáček krokového motoru. Dále je možno dosáhnout naprosto synchronního chodu dvou motorů, popřípadě přesně definovaného vzájemného pohybu dvou i více motorů.

Krokové motory tak při značné jednoduchosti zajišťují poměrně spolehlivý a přesný chod.

Pneumatické pohony

Vyznačují se jednoduchým a robustním provedením, čistotou provozu, vysokou provozní spolehlivostí, velkými přestavnými silami (řádově až 10^4 N) a poměrně krátkými přestavnými dobami. Jsou vhodné do provozů s agresivním prostředím i nebezpečím požáru či exploze, a to vše při nízké ceně.

Pneumatické pohony dělíme, podle prvku převádějícího tlak na sílu nebo výchylku, na pohony s membránou, pístem, vlnovcem a speciální, podle způsobu generování pohybu na jednočinné a dvojčinné a podle dráhy výstupního prvku na posuvné, kyvné a rotační a podle signálu na spojitě (proporcionální) a nespojitě.

a) Membránové pohony – můžeme je rozdělit na pohony pro proporcionální činnost a pohony pro nespojitou činnost (dvupolohové). Membránové pohony pro proporcionální činnost se používají především v oblasti spojitě regulace pro pohon regulačních orgánů. Vyrábí se ve velkých sériích a ve stavebnicovém uspořádání. Jejich výhodou je dokonalá těsnost, nevýhodou je relativně malý zdvih.

b) Pístové pohony – předností pneumatických pístových pohonů je jejich možný velký zdvih (řádově až metry), robustnost a spolehlivost konstrukce, značné síly (desítky kN) nebo momenty (stovky Nm), malý zastavěný prostor a relativně nízká cena. Jejich nevýhodou je značné tření při pohybu, a možná netěsnost. Životnost pneumatických pohonů pro ovládání se udává v km dráhy (např. 10 000 km). Pístové pohony určené pro regulaci musí být vybaveny korektorem, který umožní přesné polohování.

Pístové pohony určené pro ovládání jsou většinou dvupolohové. U těchto pohonů se nedoporučuje radiální zatěžování pístnice, protože to snižuje životnost pohonu.

Hydraulické pohony

Pracovní tlaky používané v hydraulických řídicích obvodech dosahují tlaků řádově až desítky MPa. Nelze tedy rozumně použít membránu jako převodový prvek a pružinu pro vratný pohyb. Hydraulické pohony jsou proto zásadně dvojčinné a chovají se jako astatické členy, tj. mají integrační charakter činnosti. Jsou schopny generovat největší síly nebo momenty, při malých dobách přestavení a současně při nejmenších možných rozměrech i tíže pohonů, ve srovnání s jinými typy pohonů. Proto se používají v mobilní technice – pozemní vozidlo, loď, letadla atd. Pracují obvykle s elektronickým zařízením. Principem se hydraulické pohony celkem neliší od pístových dvojčinných pohonů.

Problémem hydraulických pohonů je jejich nečistý provoz a jsou problematické tam, kde je nebezpečí požáru. Jsou-li použity pro spojitou regulaci průmyslových zařízení, tvoří vždy jednu stavební jednotku s čerpadlem, zásobní nádrží oleje a rozvaděčem. Důvodem je nutnost omezení délky rozvodu kapaliny, ve které při větší délce vznikají, díky nestlačitelnosti a setrvačným silám, tlakové rázy.

Regulační orgány

Regulační orgány můžeme rozdělit na speciální regulační orgány a na regulační orgány pro všeobecné použití.

Speciální regulační orgány jsou zpravidla integrální součástí regulovaného systému jsou konstruovány výhradně pro jeden účel, např. rozváděcí kola vodních turbín, ventil průtoku chladicí vody v chladiči automobilu atd.

Regulační orgány pro všeobecné použití jsou určeny pro ovládání průtoků plynů, par a kapalin. Podle konstrukce je můžeme rozdělit na **ventily, kohouty, šoupátka, klapky a žaluzie**. Každý regulační orgán musí být dimenzován na jmenovitý pracovní tlak P_N a jmenovitou světlost D_N . Současně musí vyhovovat i svou tepelnou a korozivní odolností protékajícímu médiu.

Charakteristiku ventilů můžeme konstrukčně ovlivnit volbou tvaru kuželky, která uzavírá průtok média. Pro **rychlootvírací charakteristiku** se volí talířová kuželka. Pro **lineární charakteristiku** je určena válcová kuželka se zářezy. Pro **ekviprocentní charakteristiku** je používá kuželová kuželka. Pro **charakteristiku parabolickou** je určena jehlová kuželka.

Obr.44. Konstrukce regulačních orgánů

3. LOGICKÉ ŘÍZENÍ

3.1 Booleova algebra (logická algebra)

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

pravda = true, 1, high, H, +5 V, 20 mA ...

nepravda = false, 0, low, L, 0 V, 4 mA ...

Booleovu algebru lze velmi snadno použít k řešení mnoha úloh v technické praxi. Má použití všude tam, kde můžeme rozhodnout, zda výrok platí, nebo neplatí. V technické praxi to například znamená: obvod je zapnut/vypnut, kontakt je sepnut/rozepnut, napětí nabývá hodnot 0/5 V, proud má hodnotu 4/20 mA, tlak má hodnotu 0/100 kPa.

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

Základním prvkem logiky je **logický výrok**. Logický výrok je tvrzení, o kterém je možno rozhodnout, zda platí nebo neplatí (je možno určit jeho platnost).

Platnost výroku vyjadřujeme pomocí **logické proměnné**. Logická proměnná nabývá dvou hodnot: **0** a **1**. Logická proměnná se označuje písmenem (př.: $A=1$).

Pomocí logických spojek lze vytvářet složené logické výroky. Algebraický zápis složených výroků je symbolicky vytvářen operátory. Základní logické operátory jsou:

- negace	není pravda, že	$\bar{A}$	NOT
- logický součin	a současně, (a, i)	$A \cdot B$	AND
- logický součet	nebo	$A + B$	OR
- výlučný součet	výlučně nebo	$A \oplus B$	EXOR

Zákony Booleovy algebry

Zákon	Algebraický vztah			
komutativní	$a + b = b + a;$		$a \cdot b = b \cdot a$	
asociativní	$a + (b + c) = (a + b) + c;$		$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$	
distributivní	$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c;$		$a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c)$	
vyloučeného třetího	$a + \overline{a} = 1;$		$a \cdot \overline{a} = 0$	
agresivita 1 a 0	$a + 1 = 1;$		$a \cdot 0 = 0$	
neutralita 0 a 1	$a + 0 = a;$		$a \cdot 1 = a$	
absorpce	$a + a = a;$	$a \cdot a = a;$	$a \cdot (a + b) = a;$	$a + a \cdot b = a$
absorpce negace	$a + \overline{a \cdot b} = a + b$			
zákon inverze (DeMorganův)	$\overline{a + b} = \overline{a} \cdot \overline{b};$		$\overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b}$	
Zákon dvojité negace	$\text{not}(\text{not}(a))=a$			

3.2 Kombinační obvody

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

3.2.1 Popis kombinačních logických funkcí

1. Slovně

Logická funkce je popsána výroky – slovním vyjádřením, ve kterém se používají logické spojky. Příklady jsou:

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

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

2. Vzorcem (logickým výrazem)

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

$+ \cdot \cap \cup \wedge \vee \leftrightarrow \Rightarrow$ atd.

$Y = a \cdot b + c \cdot d$

$Z = a \cdot /b + /a \cdot b$

3. Pravdivostní tabulkou (tabulkou stavů)

Kombinační logickou funkci n -proměnných lze popsat tabulkou, v níž jsou uvedeny všechny možné kombinace hodnot vstupních proměnných a příslušná funkční hodnota. Počet kombinací (řádků tabulky) je roven 2^n , kde n je počet vstupních proměnných.

Příklady:

- 2 vstupní proměnné ... 4 kombinace (řádky tabulky): 00, 01, 10, 11
- 3 vstupní proměnné ... 8 kombinací: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111
- 4 vstupní proměnné ... 16 kombinací: 0000, 0001, 0010, ..., 1111

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

Při vyplňování tabulky postupujeme tak, aby číslo řádku (začínáme 0. řádkem) odpovídalo dvojkovému číslu složeného z hodnot vstupních proměnných v každém řádku. Postupujeme tedy takto:

- začneme vyplňovat pravý krajní sloupec od shora čísly 01010101...01 (po jedné),
- do vedlejšího sloupce vlevo opět od shora píšeme 0011001100...110011 (po dvou)
- do dalšího vedlejšího sloupce vlevo píšeme 0000111100001111...00001111 (po čtyřech)

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

4. Uvedením binárně kódovaných čísel řádků, pro něž nabývá funkce hodnoty 1

Tento popis logické funkce se nazývá seznam indexů. Logická funkce znázorněná předchozí tabulkou, by se vyjádřila $\Sigma Y(a, b) = 1, 2$ nebo jen stručně $Y(1, 2) = 1$. Pro funkce s převládajícím počtem jedniček je výhodné (úspornější) uvést čísla řádků obsahující 0. Pro náš příklad: $Y(0, 3) = 0$

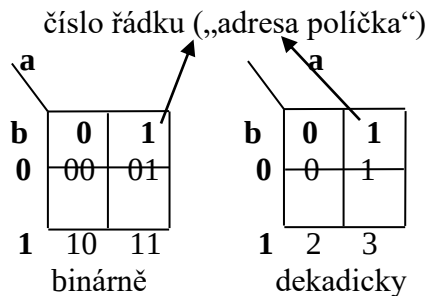
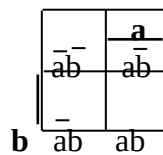
č.	b	a	Y
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	0	1
3	1	1	0

5. Karnaughovou mapou

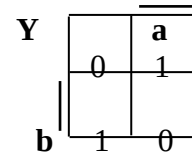
Karnaughova mapa je grafický zápis pravdivostní tabulky, v němž každému řádku odpovídá určité políčko. Mapa má proto 2^n políček, kde n je počet vstupních proměnných. O každém políčku můžeme říci, zda patří dané proměnné nebo její negaci. Karnaughovu mapu lze velmi výhodně využít při zjednodušování logických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

a) Karnaughova mapa pro 2 proměnné

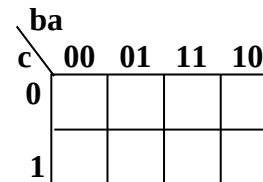
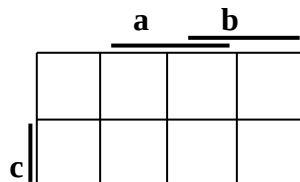
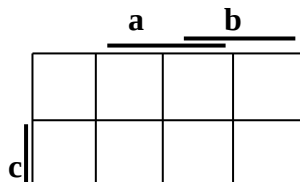
políček				
č.	b	a	Y	
0	0	0	0	
1	0	1	1	
2	1	0	1	
3	1	1	0	



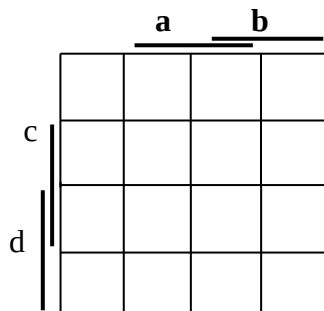
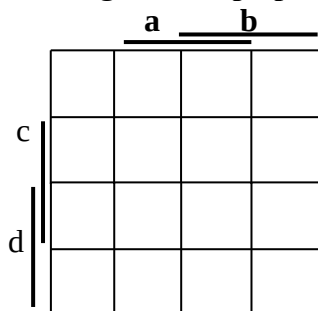
Hodnoty funkce Y se zapisují do příslušných



b) Karnaughova mapa pro 3 proměnné



c) Karnaughova mapa pro 4 proměnné



3.2.2 Základní logické funkce

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

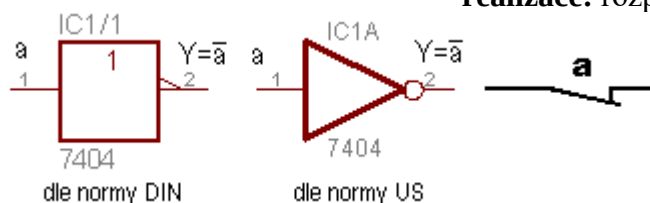
a) Negace / inverze

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

zkratka: NOT; INV
pravdivostní tabulka

a	Y
0	1
1	0

označení: $\bar{A}$; /A; NOT A; NOT(A) spojka: neplatí, že; ne-
realizace: rozpínací kontakt



b) Logický součin, konjunkce

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

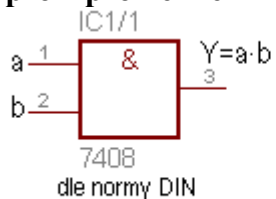
Zkratka: AND

označení: $A \cdot B$; $A \wedge B$

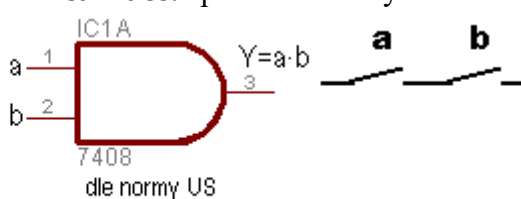
spojka: a současně

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

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



Realizace: spínací kontakty v sérii



c) logický součet, disjunkce

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

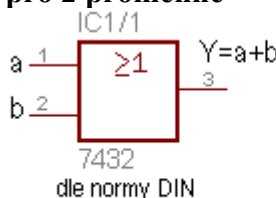
Zkratka: OR

označení: $A + B$; $A \vee B$

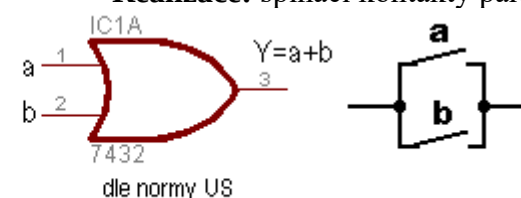
spojka: nebo (alespoň jeden)

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

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



Realizace: spínací kontakty paralelně



d) negovaný logický součin, Shefferova funkce

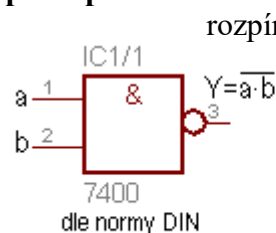
Může být definován i pro více vstupních proměnných. Výsledek negovaného logického součinu je roven jedné vždy, když alespoň jedna vstupní proměnná je rovna nule.

Zkratka: NAND

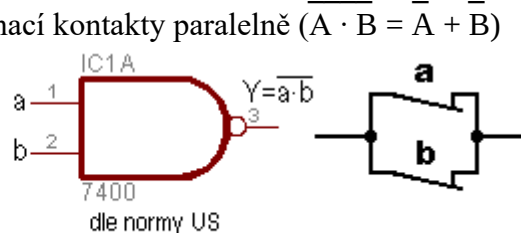
označení: $\overline{A \cdot B}$; $\text{NOT}(A \cdot B)$

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

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



Realizace: rozpínací kontakty paralelně ($\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$)



e) negovaný logický součet, Pierceova funkce

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

Zkratka: NOR

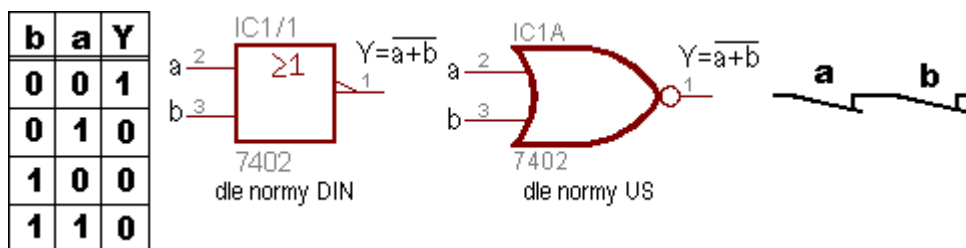
označení: $\overline{A + B}$; $\text{NOT}(A + B)$

spojka: ani

Pravdivostní tabulka pro dvě proměnné

Realizace:

rozpínací kontakty sériově ($\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$)



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

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

Zkratka: XOR

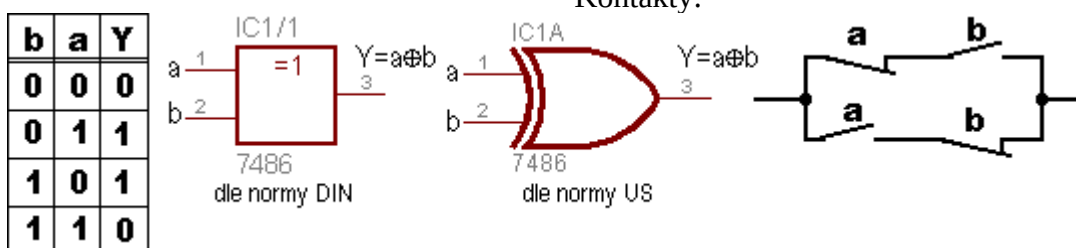
označení: $A \oplus B$

spojka: jeden nebo druhý (ne současně)

Pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

Realizace: $A \oplus B = /A \cdot B + A \cdot /B$

Kontakty:



3.2.3 Zjednodušování logických funkcí – minimalizace

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

Používané metody minimalizace:

- Použití pravidel Booleovy algebry – metoda je vhodná pro jednoduché funkce,
- Metoda Quineova – Mc Cluskeyova, z ní jsou odvozeny algoritmy Presto a Espresso, jsou to metody pro software, jsou vhodné pro větší počet proměnných ($>> 4$),
- Využití Karnaughových map – často používaná metoda, výhodná pro 3 až 4 proměnné (maximálně 5 proměnných – při více proměnných se stávají nepřehlednými).

Zjednodušování logických funkcí pomocí Karnaughových map

Karnaughovy mapy se nepoužívají pouze k vyjádření logické funkce, ale slouží hlavně k minimalizaci logických funkcí. Pro správný postup při minimalizaci je důležitý pojem *sousední políčko*. Je to políčko obsahující stejnou hodnotu, které hranou sousedí s políčkem se stejnou hodnotou. Hrana sousedního políčka může být kterákoliv (levá, pravá, horní, dolní) i na vnějším okraji mapy. Dvě sousední políčka mají mezi sebou jen jednu změnu v kombinaci vstupních proměnných. Následující příklady ukazují, která políčka v Karnaughových mapách jsou *sousední políčka*.

	a		b	
c		1		
d				1
				1
		1		

	a		b	
c				
d	1			1
		1	1	

	a		b	
c	1			1
d		1	1	
		1	1	
	1			1

Postup při minimalizaci logické funkce.

1. Zadanou funkci vyneseme do mapy, tzn. že políčko, kde je funkce rovna jedné označíme 1 (I).
2. Všechna **sousední políčka s „1“** zakroužkujeme do **smyček obsahující 2ⁿ políček** (tj. 2⁰=1, 2¹=2, 2²=4, 2³=8, 2⁴=16, ...). Sousední políčka leží i přes hrany a rohy.
3. Každá 1 může ležet i ve více smyčkách.
4. Musíme zakroužkovat **všechny „1“** pomocí **co nejméně co největších** smyček. Smyčky musí mít **tvár čtverce nebo obdélníku**.
5. Jednotlivé smyčky vyjádříme jako průnik – **součin jednoznačných proměnných**, které smyčky obsahují (tj. proměnná nenabývá mimo smyčku stejné hodnoty jako ve smyčce).
6. **Výsledkem je** vyjádření všech smyček pomocí sjednocení průniků odpovídajících proměnných tzn. logický **součet jednotlivých součinů**.

Často používané obraty při zjednodušování funkcí.

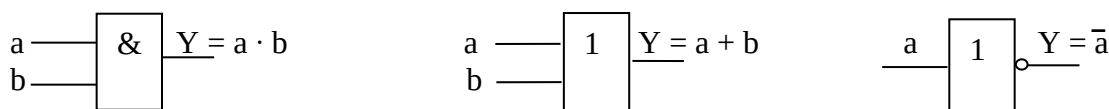
- a) Funkci je možno dvakrát znegovat a dále použít DeMorganův zákon.
- b) Má-li logická funkce, kterou chceme minimalizovat, v tabulce méně nul než jedniček, je snazší vypsát a minimalizovat negovanou funkci. Výsledek se musí zpátky znegovat.
- c) Jestliže víme, že některé kombinace vstupních hodnot nemohou v praxi nastat, dosadíme za ně takové hodnoty, aby výslednou funkci bylo možno co nejvíce zjednodušit. Například do takových políček napíšeme „x“ a při minimalizaci je zakroužkujeme spolu s „1“ (0), čímž získáme větší smyčky a tím i jednodušší vyjádření minimalizované logické funkce.

3.2.4 Realizace logických funkcí

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

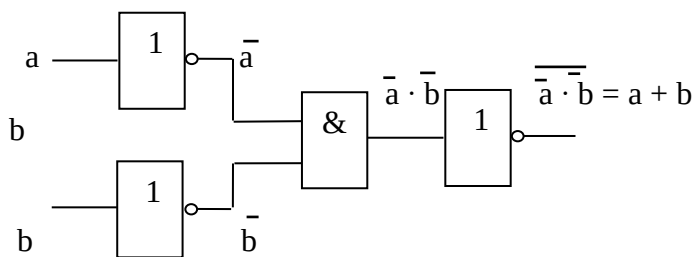
Realizace logických funkcí pomocí logických integrovaných obvodů

V předchozích kapitolách jsme viděli, že jakákoliv logická funkce libovolného počtu proměnných může být zapsána pomocí stejných operátorů: logického součtu, logického součinu a negace. Tato skupina tří operátorů tvoří tzv. úplný systém logických funkcí. V praxi tedy stačí zkonstruovat tři logické členy (mechanické, pneumatické, elektrické atd.), které realizují tyto tři funkce. Na následujícím obrázku jsou symbolické značky těchto členů (a, b vstupy, Y výstup).

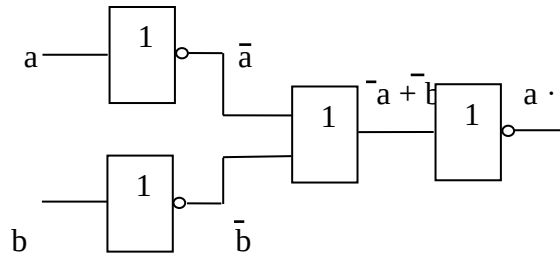


Obr.45. Členy logického součinu, logického součtu, negace

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



Obr.46. Log. součet pomocí součinu a negace

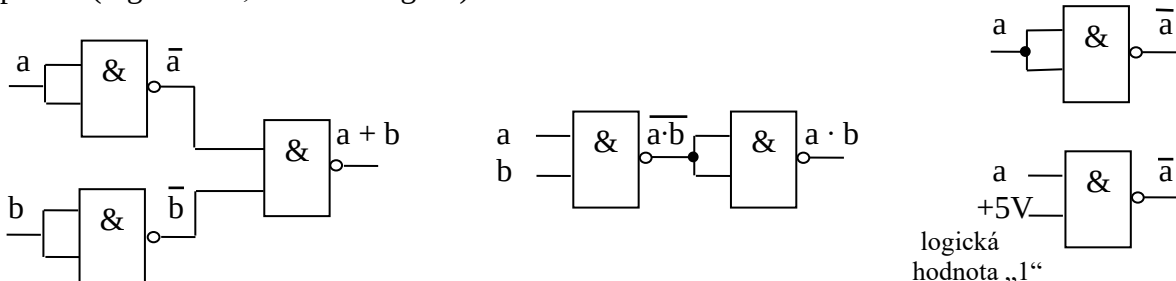


Obr.47. Log. součin pomocí součtu a negace

Později byly tyto dvojice nahrazeny obvody NAND a NOR, z kterých každý sám o sobě tvoří úplný logický systém (tj. pomocí jednoho typu hradel lze realizovat libovolnou log. funkci).

Operátor NAND (tzv. Shefferova funkce)

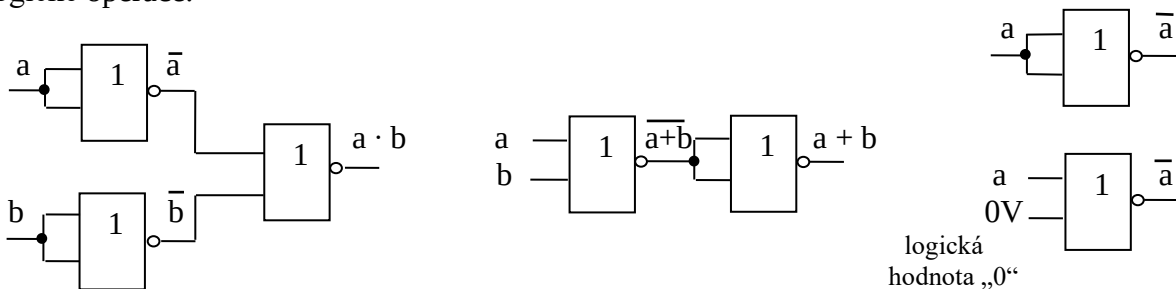
Tento operátor tvoří úplný logický systém, protože umožňuje realizovat všechny základní operace (log. součin, součet a negace).



Obr.48. Funkce NAND a pomocí ní realizovaný logický součet, součin a negace

Operátor NOR (tzv. Pierceova funkce)

Tento operátor také tvoří úplný logický systém a také umožňuje realizovat všechny základní logické operace.



Obr.49. Funkce NOR a pomocí ní realizovaný logický součin, součet a negace

Snaha používat jenom členy NAND a NOR místo členů logického součinu, součtu a negace vznikla z důvodu zmenšení počtu typů těchto členů na 1 čipu integrovaného obvodu.

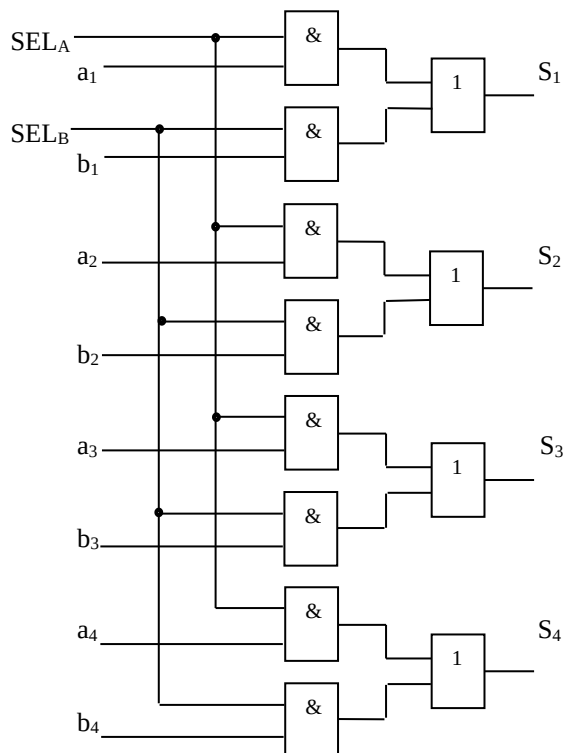
Poznámka: v praxi se používají současně členy NAND i NOR. Převody funkcí se však nedělají algebraicky, protože je to obtížné a dochází k chybám. Ve skutečnosti se realizuje každý z výrazů buď v přímém nebo v negovaném tvaru.

Jedním z kritérií optimálního návrhu logického obvodu je počet použitých pouzder, jejich typy a tím i cena celého obvodu. Dalším parametrem je spolehlivost obvodu a možnost vzniku logických hazardů.

Obvyklé kombinační funkce a příslušné obvody

Funkce přepínání informace (binární přepínač)

S tímto problémem se setkáváme, když se více veličin $A = a_1 a_2 a_3 \dots a_n$; $B = b_1 b_2 b_3 \dots b_n$, atd. má v různých okamžicích přivádět do společného bodu. K tomuto účelu se vytvářejí výběrové funkce SEL_A , SEL_B (select=výběr) atd., které vybírají v daném okamžiku vstup, který se má přenést na výstup.



a_n	b_n	SEL_A	SEL_B	S_n
a_n	b_n	0	0	0
a_n	b_n	0	1	b_n
a_n	b_n	1	0	a_n
a_n	b_n	1	1	$a_n + b_n$

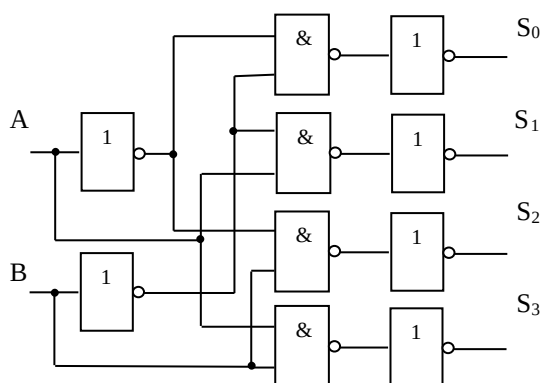
$$S_n = SEL_A \cdot a_n + SEL_B \cdot b_n$$

Obr.50. Přepínání dvou informací – funkční tabulka a obvodové schéma

Výběr proměnné se realizuje pomocí součinů $A \cdot SEL_A$, $A \cdot SEL_B$ a sečtením těchto součinů pomocí součtových členů. Pro tento účel jsou vyráběny integrované obvody, např. obvod 7451 realizuje tuto funkci s invertory na výstupech.

Dvojkový dekodér

Je to obvod s n tzv. adresovými vstupy a 2^n výstupy, z nichž je v jednom okamžiku aktivní vždy jen jeden. Číslo aktivního výstupu odpovídá dvojkové hodnotě přivedené na adresové vstupy. Tento obvod se využívá pro výběr jednoho prvku z 2^n (výběrový dekodér 1 z n).



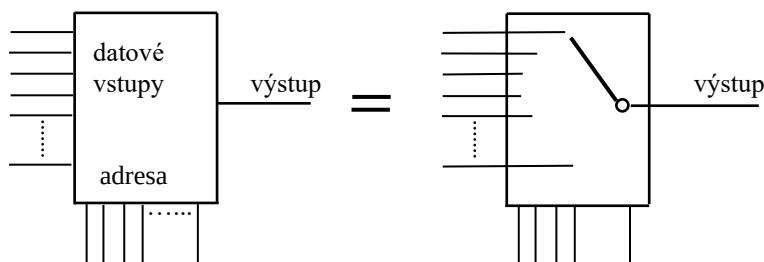
adresové vstupy		výstupy			
B	A	S_3	S_2	S_1	S_0
0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0

výběrový dekodér 1 ze 4

Obr.51. Pravdivostní tabulka a principiální schéma dekodéru

Multiplexory

Multiplexory (MX nebo MUX) jsou kombinační logické obvody s n datovými vstupy, adresovými vstupy a jedním výstupem. Adresové signály jejichž hodnotu určuje výběrový dekodér 1 z n určují, který datový vstup bude aktivní. Tohoto obvodu se hlavně používá jako přepínače s mnoha vstupy na jeden výstup. Po zadání adresy vstupu se hodnota z tohoto vstupu přenáší na výstup.



Obr.52. Blokové schéma a symbolická značka multiplexoru

Využití multiplexeru jako generátoru libovolné kombinační funkce:

Multiplexer realizuje kombinační funkci pomocí pevně daných hodnot na datových vstupech a pomocí adresových vstupů. Je možné realizovat libovolnou funkci pro počet vstupních proměnných rovný počtu adresových vstupů.

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

Demultiplexory

Demultiplexory (DMX nebo DMUX) se liší od multiplexorů přehozením směru toku signálu. Demultiplexor má jen jeden vstup, který se pomocí vnitřního přepínače přepíná na jeden z více výstupů. V podstatě zrcadlí funkci multiplexeru.

3.3 Sekvenční obvody

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

Asynchronní sekvenční obvody

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

Synchronní sekvenční obvody.

Tyto obvody nemění stav na výstupu ihned při změně vstupů, ale až po změně dalšího signálu – taktovacího signálu (hodinový, „clock“, angl. zkratka CLK, nebo jen C). Systém mění své hodnoty jen v definovaných okamžicích, danými hodinovým signálem, např. při jeho náběžné hraně. Všechny výstupy se tedy mění současně v jednom okamžiku.

3.3.1 Popis sekvenčních obvodů

a) Slovně

Logická funkce je popsána slovním vyjádřením, např. stav na výstupu Q se změní v opačný, vždy při sestupné hraně impulsu na vstupu D.

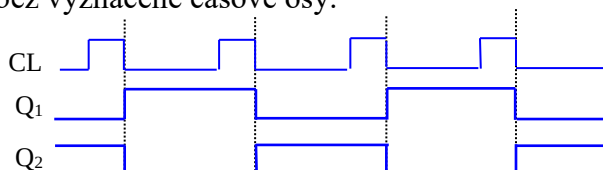
b) Vzorcem (logickým výrazem)

Pro vyjádření logické funkce vzorcem se používají podobně jako u kombinačních obvodů symboly logických funkcí $+$ $\cdot$ $\leftrightarrow$ $\Rightarrow$ ap. Charakteristickým znakem rovnice sekvenční logické funkce je výskyt závislé proměnné (výstup) na obou stranách.

Příklad: $Y = \neg a \cdot (b + Y)$

c) Časový diagram

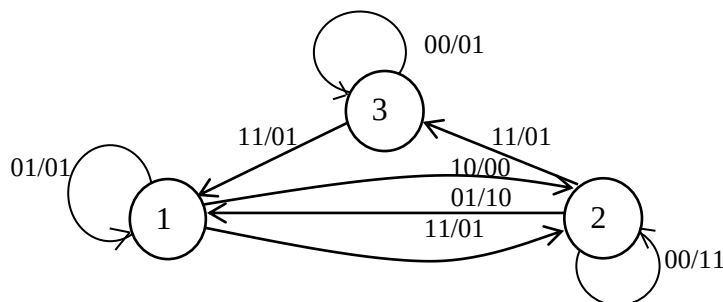
Časový diagram znázorňuje stavy signálů v závislosti na čase, pro přehlednost se kreslí pod sebe, často bez vyznačené časové osy.



Obr.53. Popis sekvenčního obvodu časovým diagramem

d) Popis grafem

Uzly grafu znamenají vnitřní stavy zařízení, můžeme do nich psát číslo stavu. Spojnice (orientované čáry) představují přechody mezi stavy a jsou popsány vstupními proměnnými, způsobujícími daný přechod a výstupními stavy. Smyčka, která začíná a končí ve stejném stavu, tento stav nemění.



Obr.54. Příklad grafu

f) Popis tabulkou přechodů

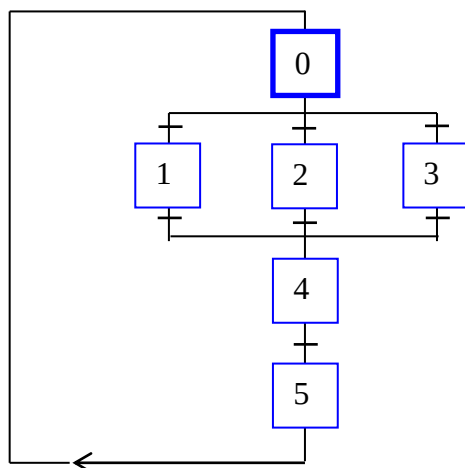
V tabulce je pro každý možný vnitřní stav a danou kombinaci vstupů zapsán nastávající stav a hodnoty výstupů.

Vstupy		Výstupy	
R^n	S^n	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	Q^n	$\bar{Q}^n$

Obr.55. Příklad tabulky přechodů

g) Popis jazykem typu GRAFCET

Jazyk Grafcet je grafický jazyk pro sekvenční programování, který vychází z tzv. Petriho sítí, je názorný a vede uživatele k systematičnosti.



Obr.56. Příklad popisu obvodu jazykem Grafcet

3.4 Pneumatické obvody

3.5 Elektropneumatické obvody

4. REGULAČNÍ TECHNIKA

4.1 Regulované systémy

Regulovaný systém je soubor technických zařízení nebo jeho část, na kterém se provádí regulace a v němž se ovlivňuje regulovaná veličina. Vstupním signálem systému je akční veličina u , výstupním signálem je regulovaná veličina y . Dalšími vstupními veličinami jsou poruchy z , jejichž účinek na regulovaný systém má být regulací odstraněn. Většina systémů má tu vlastnost, že se po skokové změně akční veličiny regulovaná veličina sama ustálí. Tyto systémy nazýváme *statické*. Jejich odezva na vstupní signál (dynamika chování) odpovídá obecně proporcionálním členům.

Systémy, u nichž se po skokové změně akční veličiny regulovaná veličina trvale mění, se nazývají *astatické*. Ty nemají schopnost se ustálit. Podobně se chovají integrační členy.

Obr.57. Příklady statických a astatických systémů

Vlastnosti regulovaných systémů popisujeme podobně jako u ostatních členů regulačního obvodu. Statické vlastnosti jsou popsány statickou charakteristikou. Dynamické vlastnosti se popisují přechodovou charakteristikou a frekvenčními charakteristikami v komplexní rovině a v logaritmických souřadnicích. Matematicky zapisujeme dynamické vlastnosti diferenciální rovnicí a operátorovým přenosem. Koeficienty rovnic systémů se označují písmenem s .

Statický regulovaný systém 0. řádu

Jeho chování odpovídá odezvě ideálního proporcionálního členu a jeho odezva je okamžitá změna úměrná vstupnímu signálu.

a) Diferenciální rovnice: $s_0 \cdot y = u$

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

c) Frekvenční a přechodová charakteristika:

Obr.58. Kmitočtová a přechodová charakteristika stat. systému 0. řádu

Obr.59. Příklady stat. systémů 0. řádu

Statický regulovaný systém 1. řádu

Jeho chování odpovídá odezvě setrvačného proporcionálního členu a jeho odezva je zpožděná za změnou vstupního signálu. Ustálená hodnota je úměrná vstupnímu signálu.

a) Diferenciální rovnice: $s_1 \cdot y' + s_0 \cdot y = u$

b) Přenos: $F(p) = \frac{1}{s_1 p + s_0}$ $F(j\omega) = \frac{1}{s_1 j\omega + s_0}$

c) Frekvenční a přechodová charakteristika:

Obr.60. Frekvenční a přechodová charakteristika stat. systémů 1. řádu

Obr.61. Příklady stat. systémů 1. řádu

Statický regulovaný systém 2. řádu

Jeho chování odpovídá odezvě kmitavého proporcionálního členu. V tomto systému mohou vznikat díky dvěma setrvačnostem tlumené kmity.

a) Diferenciální rovnice: $s_2 \cdot y'' + s_1 \cdot y' + s_0 \cdot y = u$

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

c) Frekvenční a přechodová charakteristika:

Obr.62. Frekvenční a přechodové charakteristiky stat. systému 2. řádu

Obr.63. Příklady stat. systémů 2. řádu

Astatický regulovaný systém 1. řádu

Astatické systémy se od statických liší tím, že nemají samoregulační schopnost. V jejich diferenciální rovnici a v přenosu chybí činitel s_0 . Je zřejmé, že astatický systém 0. řádu neexistuje. Jejich odezva odpovídá integračnímu členu, kdy při přítomnosti vstupního signálu se výstup trvale mění až do technických limitů (technické poruchy). Rychlost změny výstupu odpovídá velikosti vstupního signálu.

a) Diferenciální rovnice: $s_1 \cdot y' = u$

b) Přenos: $F(p) = \frac{1}{s_1 p}$ $F(j\omega) = \frac{1}{s_1 j\omega}$

c) Frekvenční a přechodová charakteristika:

Obr.64. Frekvenční a přechodové charakteristiky astatického systému 1.řádu.

Obr.65. Příklady astatických systémů 1.řádu.

Astatický regulovaný systém 2. řádu

Jeho odezva je v podstatě stejná jako u předchozího typu, ale je doplněna o časové zpoždění.

a) Diferenciální rovnice: $s_2 \cdot y'' + s_1 \cdot y' = u$

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

c) Frekvenční a přechodová charakteristika:

Obr.66. Frekvenční a přechodové charakteristiky astatického systému 2. řádu

Obr.67. Příklady astatických systémů 2. řádu

4.2 Spojité regulátory

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

Snímač měřícího členu zjišťuje průběh regulované veličiny a mění jej na signál, vhodný ke zpracování v dalších členech regulátoru. Konstrukce snímače je dána druhem a velikostí regulované veličiny a druhem regulátoru. Výstupní signál snímače, úměrný okamžité hodnotě regulované veličiny, se v porovnávacím členu srovnává se žádanou hodnotou, nastavenou řídicím členem. Výstup porovnávacího členu, který je úměrný regulační odchylce, se zavádí do ústředního členu. To je hlavní část regulátoru, proto se často nazývá regulátor v užším slova smyslu. Skládá se zpravidla z několika funkčních celků, které provádějí vlastní řídicí funkce

regulátoru. Jeho výstupní signál ovládá akční člen. Ten se skládá z pohonu a regulačního orgánu a řídí tok energie do regulovaného systému. Regulátory se rozdělují podle následujících hledisek:

1. podle druhu energie, s níž pracují:

Mechanické regulátory:

- obsahují pouze mechanické členy (páky, táhla, převody, roztěžníky, setrvačníky, vačky)
- nejsou příliš přesné ani rychlé a jsou rozměrné,
- výhodou je jejich jednoduchost, nízká cena a snadná opravitelnost,

Pneumatické regulátory:

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

Hydraulické regulátory:

- využívají k napájení hydraulický olej, těsnost systémů je prioritou,
- vzhledem k nestlačitelnosti kapalin mohou mít velkou sílu a rychlost,
- rozvod je realizován tlakovým potrubím a hadicemi, různými ventily apod.
- hmotnost kapaliny a pohyblivých částí zhoršuje dynamické vlastnosti,
- přesnost regulace je většinou uspokojivá,
- předností je spolehlivost a snadné provádění oprav, proto se používají v těžkých provozech

Elektrické a elektronické regulátory:

- používají k napájení elektrickou energii,
- dříve se využívali systémy různých točivých elektrických strojů (dynam, Ward-Leonardovo soustrojí apod.) a magnetických zesilovačů (přesytkové systémy),
- dnes se používají elektronické regulátory, pouze akční členy jsou elektromechanické (elektromagnety, servopohony, servomotory atd.)
- největší výhodou elektrických regulátorů je vysoká kvalita regulace (vysoká přesnost a rychlost), malé rozměry, malá hmotnost, vysoká energetická účinnost, čistý a bezhlučný provoz s minimální údržbou a relativně nízká cena elektrických součástí,
- nevýhodou je větší složitost, která komplikuje opravy, citlivost na elektromagnetické rušivé pole, někdy samy produkují rušivé signály (nutnost důkladného odrušení a dodržení zásad EMC),
- s rostoucí spolehlivostí, dostupností elektrických součástí vzrostla i spolehlivost těchto systémů.

2. podle způsobu napájení:

Přímé (direktivní) regulátory – odebírají energii pro svou činnost z regulovaného systému. Jde o jednoduché, nejčastěji mechanické regulátory bez velkých nároků na kvalitu regulace (Wattův regulátor otáček u parních strojů, plovákový regulátor hladiny).

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

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

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

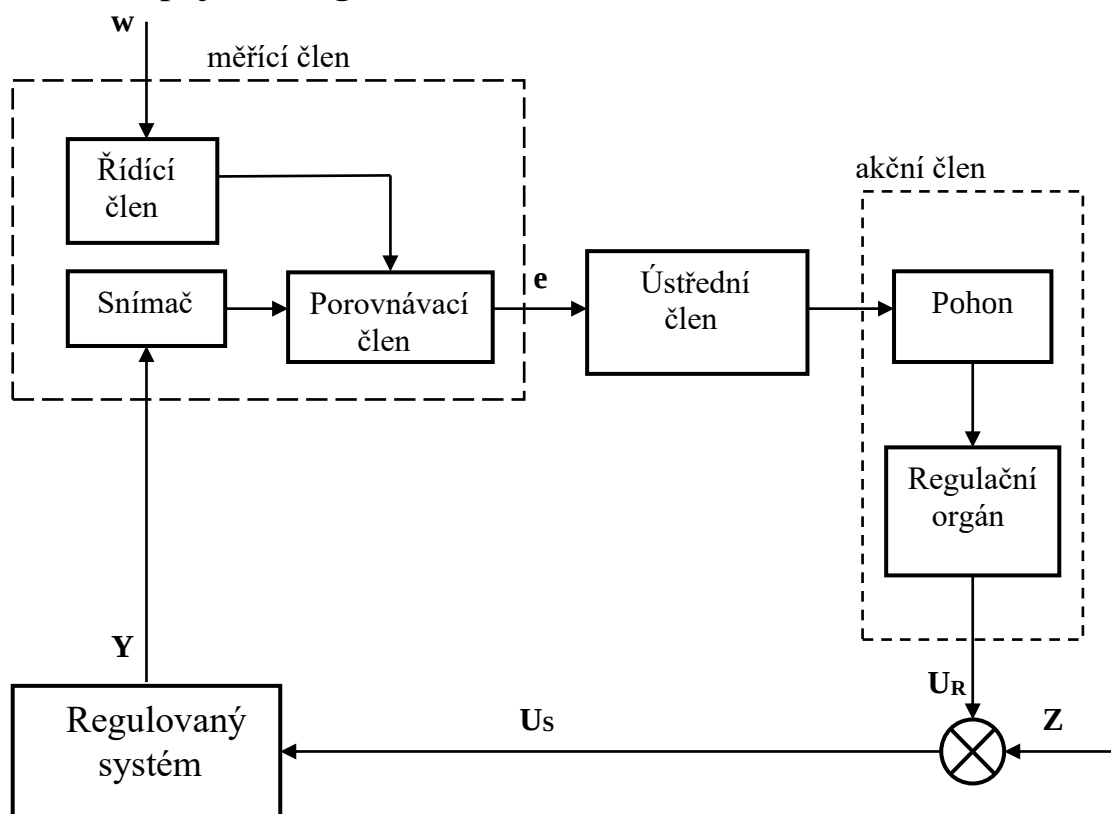
3. podle průběhu přenášeného signálu:

Spojité (analogové) regulátory – pracují se spojitými signály, a proto jejich hlavními stavebními prvky jsou operační zesilovače. Kvalita regulace je vysoká, jejich návrh je poměrně snadný. Pro velké výkony je však nevýhodná jejich menší energetická účinnost.

Nespojité (polohové, impulsové, digitální) regulátory – pracují s nespojitými signály. Můžeme je dále rozdělit na regulátory nespojitě v amplitudě (dvou a vícepolohové), nespojitě v čase (impulsové) a nespojitě v amplitudě i čase (diskrétní = digitální). Díky spínacímu režimu aktivních prvků dosahují velmi vysoké účinnosti. Mohou být velmi jednoduché (při nižší kvalitě regulace) nebo složitější, je-li třeba dosahovat stejné kvality, jakou dosahují spojitě regulátory (tzv. kvazispojitě regulátory).

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

Bloková skladba spojitého regulátoru



Rozdělení regulátorů podle jejich dynamických vlastností

a) Proporcionální regulátor „P“ – pouze zesiluje regulační odchylku e , přičemž zesílení je v širokém frekvenčním rozsahu konstantní. Teprve při vysokých frekvencích, které nejsou pro daný systém podstatné, jeho přenos vlivem setrvačnosti klesá. Jedná se tedy o proporcionální člen s konstantním reálným přenosem mnohem větším než jedna. Tento regulátor snadno vytvoříme stejno-směrným invertujícím zesilovačem.

Diferenciální rovnice: $u(t) = k_0 \cdot e(t)$

Operátorový přenos: $F(p) = k_0$

Obr.68. Základní zapojení proporcionálního regulátoru

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

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

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

Skutečné regulátory nemají přenos ideálně konstantní, tedy nezávislý na frekvenci.

Proporcionální regulátor je velmi levný, jednoduchý a stabilní. Je však nevýhodný tím, že pracuje s trvalou regulační odchylkou. Tu nelze u proporcionálního regulátoru odstranit, můžeme však ovlivnit její velikost změnou zesílení (změnou pásma proporcionality – viz dále). Zvětšením zesílení se sice zmenšuje trvalá regulační odchylka, ale zmenšuje se i stabilita obvodu a při velkém zesílení regulační obvod ztrácí stabilitu – rozkmitá se.

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

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

Obr.69. Základní zapojení integračního regulátoru.

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

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

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

Integrační regulátor je i v kombinacích s jinými typy regulátorem, který umožňuje (za určitou dobu) zcela odstranit regulační odchylku. Nevýhodou je pokles zesílení se zvyšující se frekvencí, takže regulátor pomalu odstraňuje poruchy.

Regulátor **I** je velmi vhodný pro statické regulované systémy bez setrvačnosti, jeho zesílení může být velmi vysoké bez nebezpečí rozkmitání. Je nejvhodnější, ze všech ostatních typů pro regulaci statických systémů s dopravním zpožděním. U těchto systémů nejvíce hrozí rozkmitání regulačního obvodu, a proto musíme nastavit menší zesílení regulátoru. Je méně vhodný pro regulaci systémů vyšších řádů, u nich se lépe uplatní regulátor **PI**.

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

c) Derivační regulátor „D“ – ideální regulátor **D** nelze realizovat. Způsobují to parazitní setrvačnosti, které potlačují přenos při vysokých frekvencích. Ideální přenos určuje opět poměr odporu ve zpětné vazbě a impedance ve vstupu:

$$F(p) = -\frac{R}{\frac{1}{pC}} = -pCR = -pT_D = k_I \cdot p \quad \text{kde } T_D = k_I = RC \text{ je derivační časová konstanta}$$

Diferenciální rovnice: $u = k_I \frac{de}{dt}$

Operátorový přenos: $F(p) = k_I \cdot p$

Obr.70. Základní zapojení derivačního regulátoru

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

Obr.71. Charakteristiky derivačního regulátoru

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

Kombinace základních typů

Tyto kombinace realizujeme v podstatě třemi způsoby:

Paralelním řazením – základních regulátorů se dosahuje nejlepších výsledků, každý základní regulátor se samostatně nastavuje, jsou však potřeba 4 zesilovače.

Použitím korekčních členů – využívá pouze jeden centrální zesilovač, kvalita obvodu je nižší, protože je závislá na vlastnostech korekčního členu a přesnosti jeho návrhu.

Zpětnovazebním zapojením – využívají pouze jeden zesilovač, kvalita je vyhovující, ale závislá na zpětnovazebním obvodu, který má inverzní charakteristiku.

Proporcionálně integrační regulátor „PI“

vznikne paralelním spojením regulátoru P a I .

Diferenciální rovnice: $u = k_0 e + k_I \int edt$

Přenos: $F(p) = k_0 + \frac{k_I}{p} = k_0 + \frac{1}{T_I p}$

Obr.72. Charakteristiky regulátoru PI

Přechodová charakteristika vznikne součtem obou dílčích přechodových charakteristik.

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

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

Proporcionálně derivační regulátor „PD“

vznikne paralelním spojením regulátoru P a D.

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

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

Obr.73. Charakteristiky PD regulátoru

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

Proporcionálně integračně derivační regulátor „PID“

vznikne paralelním spojením regulátorů P, I a D.

Diferenciální rovnice: $u = k_0 e + k_{-1} \int e dt + k_1 \frac{de}{dt}$

Přenos: $F(p) = k_0 + \frac{k_{-1}}{p} + k_1 \frac{de}{dt} = k_0 + \frac{1}{T_i p} + T_d$

Obr.74. Charakteristiky PID regulátoru

Stabilita regulačního obvodu

Regulační obvod je uzavřená dynamická struktura se zpětnou vazbou. Regulátor pracuje zpravidla jako zesilovač, který zesiluje regulační odchylku, převádí ji na odpovídající změnu akční veličiny, a zasahuje opět do regulovaného systému. Při nevhodné velikosti (příliš velkém) zesílení regulátoru a při nevhodném fázovém posunutí signálů může dojít k rozkmitání regulačního obvodu. Podobná situace nastává, když regulační obvod vyvedený z rovnovážného stavu poruchou nebo změnou požadované hodnoty se nedovede znovu ustálit.

Stabilita je nejdůležitější podmínkou správné činnosti regulačních obvodů. Regulační obvod je stabilní, jestliže se při libovolné změně vstupní veličiny, po odeznění přechodového děje, výstupní veličina ustálí na nové hodnotě. Po ustálení vstupní poruchy se ustálí i regulovaná veličina. Tímto způsobem je definována stabilita i u dalších obvodů (např. zesilovače).

Nestabilní systémy nejčastěji kmitají (oscilují) nebo se překlápějí do jednoho nebo druhého mezního stavu a tím vlastně neplní regulační funkci. Vlivem oscilací nebo překlápění může dojít k poškození regulovaného systému. Proto je třeba vyšetřování stability věnovat náležitou pozornost. Stabilita regulačního obvodu závisí výhradně na přenosových vlastnostech jeho členů, zvláště v obvodu uzavřené zpětnovazební smyčky. Nejvíce se projevují přenosy systému a regulátoru.

K vyšetřování stability slouží tzv. kritéria stability.

Kritéria stability

Stabilita je základní podmínkou správné činnosti regulačních obvodů. Jakýkoliv člen nebo systém je stabilní tehdy, když po změně kterékoliv vstupní veličiny a po odstranění vzruchu se výstupní veličina vrátí do původního stavu. V regulačním obvodu mohou být jednotlivé členy stabilní i nestabilní. Požadujeme však vždy, aby uzavřený regulační obvod byl ve všech případech stabilní. Zjišťujeme, zda jsou dodrženy určité podmínky stability, zvaná kritéria stability. Některá z nich řeší otázku stability algebraickými metodami, jiná metodami grafickými. Matematici vyvinuli řadu modifikovaných postupů, které dobře vyhodnocují stabilitu některých typů regulačních obvodů

Nejznámějšími algebraickými kritérii jsou: **Hurwitzovo** a **Routh-Schureovo**. Obě kritéria vycházejí z tzv. charakteristické rovnice regulačního obvodu. Jejich nevýhodou je, že poskytují pouze informaci o tom, zda obvod je stabilní či ne. Nejsou vhodná pro obvody s dopravním zpožděním. Jejich velkou výhodou je, že jsou vhodná pro zpracování na počítači. Samozřejmě, že jsou již vytvořeny příslušné programy na řešení stability regulačních obvodů.

Mezi nejznámější grafická kritéria patří: **Michajlovo-Leonhardovo**, **Nyquistovo** a **Küpfmüllerovo**. Tato kritéria vyhodnocují stabilitu pomocí grafů (Michajlova hodografu, frekvenční charakteristiky v komplexní rovině a přechodové charakteristiky regulovaného systému).

4.3 Nespojité regulátory

Nespojitý regulátor je charakteristický tím, že jeho výstupní signál (akční veličina) nezávisí spojitě na vstupním signálu (regulované veličině). Akční veličina se nemění spojitě, ale může nabývat pouze omezeného počtu hodnot, přičemž změna z jedné hodnoty na druhou probíhá skokem. Pro akční člen nespojitého regulátoru to znamená, že může zaujmout pouze dvě nebo více pevných poloh. Podle počtu těchto poloh rozdělujeme tyto regulátory na dvupolohové, třípolohové a vícepolohové.

Nespojité regulátory patří pro svou jednoduchou konstrukci a cenovou dostupnost mezi nejrozšířenější regulátory. Nejjednodušší dvupolohový regulátor teploty, tvořený bimetalem a mžikovým kontaktem najdeme v téměř všech domácích spotřebičích jako jsou žehličky, fény, kulmy, ledničky, mrazničky, pračky, sušičky, myčky nádobí, rychlovarné konvice, elektrické varné desky, vařiče, trouby, remosky, vinotéky, topinkovače, fritézy, kávovary, pokojové termostaty, přímotopy, klimatizace, vysoušeče a jiné. Podobně jednoduše jsou konstruované regulátory hladiny pro kalová čerpadla (plovákem ovládaný spínací kontakt), regulátory tlaku pro čerpadla domácích a zahradních vodáren (membránou ovládaný rozpínací kontakt) nebo regulátor hladiny splachovače (plovákem ovládaný ventil).

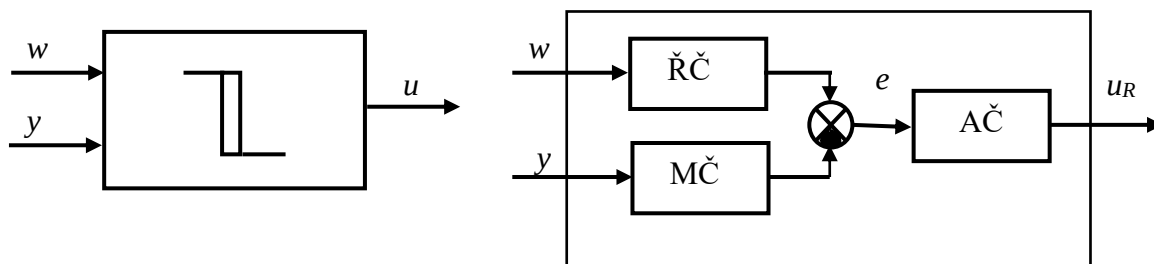
Dvupolohový regulátor

Nejjednodušším nespojitým regulátorem je dvupolohový regulátor. Poklesne-li skutečná hodnota regulované veličiny y pod žádanou hodnotu $y_d = w - h/2$, nabude akční veličina určitou pevnou hodnotu u_{max} (většinou maximální hodnotu akční veličiny). Překročí-li skutečná hodnota

regulované veličiny žádanou hodnotu $y_h = w + h/2$, nabude akční veličina jinou pevnou hodnotu u_{min} , (zpravidla nulovou).

Technicky lze tento regulátor vytvořit pomocí elektromechanického relé, které spíná při vyšším napětí cívky (překonává odpor větší vzduchové mezery magnetického jádra) a rozpíná při nižším napětí cívky (zbytkový magnetismus jádra s malou vzduchovou mezerou přidržuje relé v sepnutém stavu) = **reléová charakteristika**. Abychom získali správnou logiku je potřebné použít rozpínací kontakt relé – tj. s růstem regulované veličiny dojde k rozepnutí přívodu napájecího napětí regulovaného systému.

Relé má hysterezi danou konstrukcí relé a není ji možné měnit, takže jako samostatný regulátor se používá jen vzácně v nejjednodušších a nenáročných regulačních obvodech. Častější je využití relé jako akčního členu – výstupní spínací jednotky regulátoru.



Obr.75. Blokové schéma dvoupolohového regulátoru

Činnost regulátoru je názorně vidět na jeho statické charakteristice. Kromě žádané hodnoty řídicí veličiny w (y_w) zde ještě rozlišujeme dolní a horní hranici hystereze y_d a y_h . Velikost hystereze h má vliv na přesnost regulace a na četnost spínání.

Zmenšení hystereze sice zvyšuje přesnost regulace, ale zároveň zvyšuje i frekvenci spínání a tím snižuje životnost regulátoru. Ze statické charakteristiky dále vyplývá, že hodnoty regulované veličiny y_d a y_h , při kterých dochází k sepnutí nebo rozepnutí kontaktů regulátoru, se neshodují s žádanou hodnotou w . Regulovaná veličina tedy kmitá v pásmu hystereze se šířkou h .

Obr.76. Statické charakteristiky dvoupolohového regulátoru

Regulační obvody s dvoupolohovým regulátorem

a) Regulační obvod tvořený statickým jednokapacitním regulovaným systémem

Obr.77. Příklad regulačního obvodu a průběh regulované a akční veličiny

Regulovaná veličina se po zapnutí začne zvětšovat podle přechodové charakteristiky statického jednokapacitního systému (podle křivky ohřevu). Toto zvětšování pokračuje až do doby, kdy skutečná hodnota regulované veličiny dosáhne hodnoty y_h (horní hranice hystereze). V tom okamžiku „spadne“ (vypne) akční veličina u_R na hodnotu 0. Regulovaná veličina se od této doby začne zmenšovat, a to opět podle přechodové charakteristiky (podle křivky chladnutí).

Jakmile se hodnota regulované veličiny zmenší na hodnotu y_d (dolní hranice hystereze) regulátor sepne ($u = u_{max}$) a regulovaná veličina se opět začne zvětšovat. Tento cyklus se neustále opakuje, a tak skutečná hodnota regulované veličiny neustále kmitá mezi hodnotami y_d a y_h . Abychom mohli posoudit kvalitu regulace zavádí se následující charakteristické veličiny regulačního pochodu:

- **šířka pásma kmitání** – Y_k : rozsah ve kterém regulovaná veličina periodicky kmitá,
- **perioda kmitů** – T : doba trvání kmitů u nespojitého regulátoru,
- **frekvence četnosti spínání** – f : počet zapnutí / vypnutí za jednotku času.

V našem případě regulace jednodukapacitního systému udržuje dvoupolohový regulátor regulovanou veličinu v mezích y_d a y_h . Šířka pásma kmitání je tedy shodná s hysterezí h a lze ji volbou hystereze regulátoru ovlivnit. Charakteristické veličiny regulačního pochodu můžeme vypočítat pro případ, kdy akční veličina má alespoň dvojnásobnou hodnotu, než jaká by byla nutná pro udržení regulované veličiny na žádané hodnotě při trvalém zapnutí akční veličiny. Obvod tedy pracuje s nadbytkem výkonu 100 %. Pro odvození využijeme vztahy pro podobnost trojúhelníků.

$$\text{Platí: } \frac{T/2}{h} = \frac{T_n}{x_w} \quad \text{odtud: } T = 2 \frac{h}{x_w} T_n \quad \text{a: } f = \frac{1}{2} \frac{x_w}{h} \frac{1}{T_n}$$

Z těchto vztahů je zřejmé, že při zmenšování hystereze h nebo při zkracování doby náběhu T_n se frekvence spínání f zvyšuje, a to nepříznivě ovlivňuje životnost regulátoru. Pokud není nutná příliš velká přesnost udržování regulované veličiny na žádané hodnotě a není na závalu její větší kolísání, volí se raději větší hystereze tak, aby četnost spínání byla nižší než výrobcem uváděný údaj spínací jednotky regulátoru. Při překročení povolené četnosti spínání klesá životnost regulátoru. Např. stykače řady V30D mají povolenou četnost spínání 60 sepnutí za hodinu tj. 1 sepnutí za minutu.

b) Regulační obvod tvořený dvoukapacitním statickým regulovaným systémem

Regulace dvoukapacitního (popřípadě vícekapacitního) regulovaného systému se liší od regulace jednodukapacitního systému. Regulovaná veličina nekmitá pouze v pásmu hystereze, ale pásmo kmitání bývá širší než pásmo hystereze. Znamená to tedy, že regulovaná veličina po zapnutí (popřípadě vypnutí) akční veličiny, ještě nějakou dobu klesá (popřípadě roste). Je to způsobeno zpožděním v systému, které je dáno velikostí doby průtahu T_u . Teprve po uplynutí této doby se změní její průběh.

Je tedy zřejmé, že na šířku pásma kmitání a tím i na kvalitu regulačního pochodu má vliv regulovaný systém, a především její doba průtahu. Hystereze regulátoru se naopak příliš neuplatní, neboť ke kmitání regulované veličiny dojde i při nulové hysterezi.

Obr.78. Průběh regulované a akční veličiny při regulaci dvoukapacitního (popř. vícekapacitního) systému

Pro případ 100 % nadbytku výkonu můžeme opět odvodit příslušné vztahy pro výpočet šířky pásma kmitání regulované veličiny Y_k a periody T . Jestliže vyjdeme z podobnosti trojúhelníků,

$$\text{pak: } \frac{T_u}{x_u} = \frac{T_n}{x_w} \quad x_u = x_w \frac{T_u}{T_n} \quad Y_k = h + 2 \cdot x_u = h + 2x_w \frac{T_u}{T_n} = h + x_{\max} \frac{T_u}{T_n}$$

Průběhy uvedené na předchozím obrázku jsou teoretické, neboť ve skutečnosti nejsou v průběhu regulované veličiny ostré hrany a přechody jsou zaoblené. Proto je skutečná šířka pásma kmitání regulované veličiny menší, než bychom spočítali z uvedených vztahů.

Další charakteristickou veličinou regulačního pochodu je *doba rozběhu* T_r . Je to doba potřebná k tomu, aby po zapnutí regulačního obvodu skutečná hodnota regulované veličiny poprvé dosáhla žádané hodnoty. Tuto dobu lze ovlivnit volbou rozsahu akční veličiny. Čím je nadbytek výkonu větší, tím je kratší doba rozběhu, ale současně se zvětšuje šířka pásma kmitání X_k regulované veličiny.

Obr.79. Průběhy regulované a akční veličiny pro různé hodnoty rozsahu akční veličiny

Třípolohový regulátor

Jeho akční člen může zaujmout tři pevné polohy, a proto na tomto regulátoru můžeme v porovnání s dvoupolohovým regulátorem nastavit ještě jednu hodnotu akční veličiny. Tu je třeba vhodně zvolit, protože tím lze zlepšit kvalitu regulačního pochodu v porovnání s pochodem řízeným dvoupolohovým regulátorem.

Obr.80. Statická charakteristika třípolohového regulátoru

Regulační obvody s třípolohovými regulátory

Ke splnění obou předchozích protichůdných požadavků je možno použít třípolohový regulátor. U něj je možno nastavit celkem tři hodnoty akční veličiny. Při vhodně zvolených hodnotách lze značně zkvalitnit regulační pochod.

Tento způsob se s výhodou využívá u elektrických pecí, kde se používá poloh trojúhelník – hvězda – vypnuto. Při spojení topných těles do trojúhelníku má pec velký topný výkon a z toho vyplývá i velmi krátká doba rozběhu. Jakmile regulovaná veličina dosáhne poprvé nastavené hodnoty x_{w1} , přepojí se topná tělesa do hvězdy, a tím se topný výkon zmenší na třetinu. Regulovaná veličina se i nadále zvětšuje, ale již mnohem pomaleji. Při dosažení nastavené hodnoty se x_{w2} se topení vypne úplně. Další regulační pochod pak využívá pouze stavů hvězda – vypnuto, pokud se nevyskytnou velké poruchy.

Seřízení (nastavení) nespojitých regulátorů

Dvoupolohové regulátory bez zpětné vazby mají jedinou charakteristickou veličinu, prostřednictvím které lze do jisté míry ovlivňovat průběh regulačního pochodu. Je to hystereze regulátoru. Ne u každého regulátoru lze tuto veličinu nastavovat. Vliv změny hystereze se uplatňuje především při regulaci jednodukapacitních systémů a volba velikosti hystereze má vliv na četnost spínání regulátoru.

Způsoby zvyšování kvality regulačního pochodu

Zlepšení kvality regulačního pochodu znamená především zmenšení šířky pásma kmitání Y_k . Z předchozích vztahů vyplývá, že toho můžeme dosáhnout několika způsoby.

- **Zmenšení hystereze** – této možnosti využíváme pouze u jednodukapacitních regulovaných systémů. Je třeba si uvědomit, že zmenšením hystereze se zvyšuje frekvence spínání a životnost regulátoru se zkracuje.
- **Zkrácení doby průtahu** – toto opatření patří k nejvýznamnějším možnostem zmenšení šířky pásma kmitání regulované veličiny. Regulační obvod musí být navržen tak, aby přenos informace o změnách regulované veličiny na akční člen byl rychlý. Toho lze dosáhnout vhodným uspořádáním regulačního obvodu (měřící člen by měl být umístěn co nejbližší u akčního členu, pokud tomu nebrání provozní podmínky) a použitím přístrojů s velmi dobrými dynamickými vlastnostmi. Doba průtahu samotného regulovaného systému dodatečně ovlivnit příliš nejde.
- **Prodloužení doby náběhu** – má smysl pouze v těch případech, kdy se s prodloužením doby náběhu neprodlouží současně i doba průtahu. Prodloužení doby náběhu dosáhneme zvětšením kapacity regulovaného systému, což může znamenat doplnění systému o přídatnou tepelnou, elektrickou, objemovou kapacitu.
- **Zmenšení rozsahu akční veličiny** – je nevýhodné tím, že zmenšováním rozsahu akční veličiny se sice zmenšuje šířka pásma kmitání regulované veličiny, ale současně se prodlužuje doba rozběhu. Většinou požadujeme krátkou dobu rozběhu, což vyžaduje co největší rozsah akční veličiny. Oba tyto požadavky jsou protichůdné a nelze je splnit jednoduchým dvoupolohovým regulátorem.

4.4 Číslicové regulátory

Historický vývoj číslicové techniky

Číslicová technika je založena na využití poznatků z teorie číselných soustav, zejména dvojkové, a z dvouhodnotové logické algebry, tzv. Booleovy algebry (1847). Teoreticky byly základy číslicové techniky dobře zvládnuty již v 19. století, technické realizace se dočkaly až ve dvacátém století. Pro zapojování logických funkcí se nejprve používaly obyčejné elektrické spínače, později je nahradili elektromechanická relé. To již umožňovalo konstrukci prvních číslicových počítačů.

V roce 1934 začal Konrad Zuse v Německu vyvíjet samočinný počítač, který uvedl do chodu v roce 1938. Byl však pomalý a nespolehlivý. V roce 1941 byl vytvořen reléový počítač s pamětí pro 64 dvaatřicetibitových čísel, zobrazením v pohyblivé čáře a čtením instrukcí z děrné pásky.

V roce 1944 byl v USA dokončen reléový počítač Mark I. Byl 15 m dlouhý, 2,4 m vysoký a obsahoval 3 300 relé. Pracoval s čísly na 23 desetinných míst, vstup byl z 24stopé děrné pásky. Sčítání trvalo 0,3 s, násobení 3-5 s. Na Harvardské univerzitě pracoval 15 let.

V roce 1946 byl uveden do provozu elektronkový počítač (určený hlavně pro výpočet dělostřeleckých tabulek) označený zkratkou ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer). Obsahoval 17 468 elektronek a 7 200 krystalových diod, zabíral plochu 167 m², měl příkon 174 kW a vážil přibližně 30 tun. Sečtení dvou čísel trvalo 0,2 ms a násobení 2,8 ms. Počítač měl magnetickou paměť s kapacitou 100 čísel a počítal přímo v desítkové soustavě.

Mezníkem ve vývoji elektroniky a tím i automatizace byl v roce 1947 vynález tranzistoru a v roce 1959 vynález integrovaného obvodu, které postupně úplně nahradily relé a elektronky.

V 70. letech 20. stol. s vývojem mikroprocesorů vznikly programovatelné automaty a spolu s nimi různé generace počítačů. Ty se staly neodmyslitelnou součástí automatizovaných systémů. Logické a analogové řízení tak začalo být nahrazováno řízením diskrétním.

Výhody diskrétního řízení

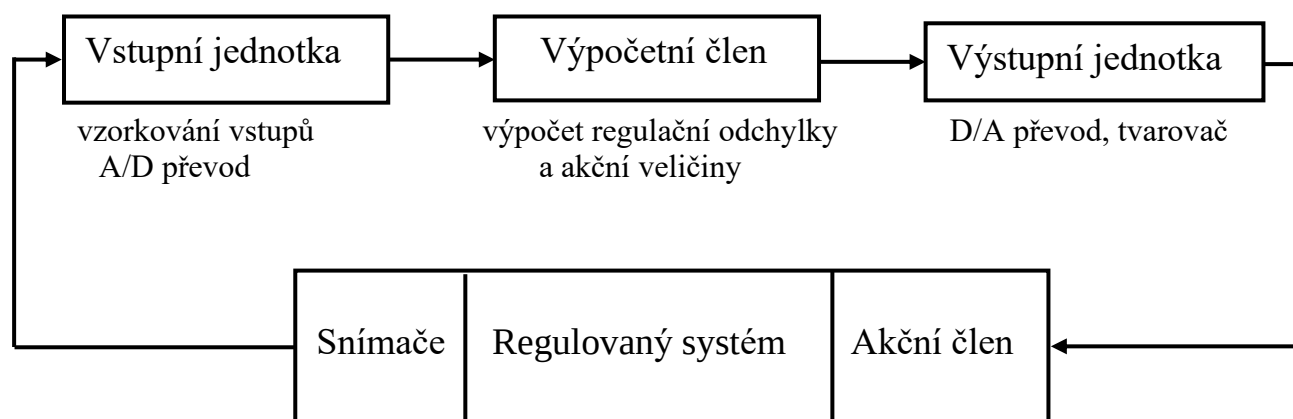
Řízení je obecně definováno jako působení řídicího objektu na objekt řízený se snahou docílit požadovaného cílového chování. Podle tvaru signálů, kterými se přenáší informace lze řízení rozdělit na:

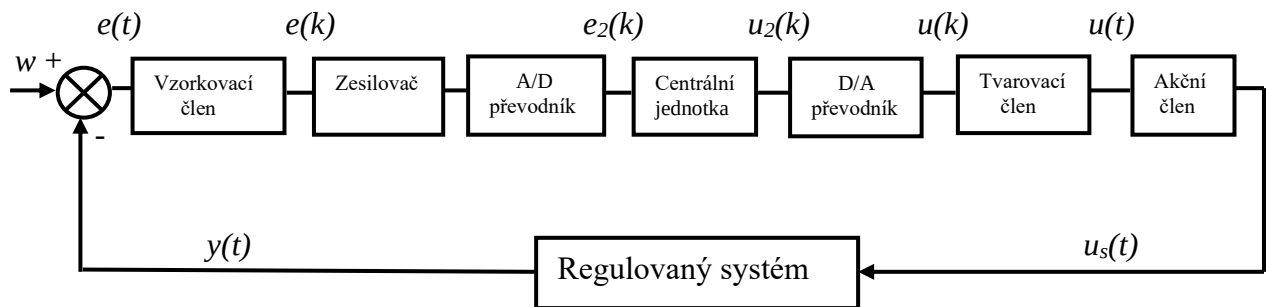
- *logické řízení*: binární signály (True, False / log. 0 a log 1), základem jsou logické obvody,
- *analogové řízení*: spojité signály v daném intervalu, základem jsou operační zesilovače,
- *diskrétní řízení*: signály jsou definovány v určitých časových okamžicích daných tzv. periodou vzorkování, základem je mikroprocesorová jednotka.

Většina technických prostředků současné automatizační techniky pracuje na principech diskrétního řízení a proti klasickému (spojitému/analogovému) řízení má řadu výhod:

- **možnost centralizace a decentralizace řídicích prostředků**: řídicí obvod je možné rozdělit na několik vzájemně spolupracujících celků propojených průmyslovými komunikačními linkami. Vznikne tzv. *distribuovaný řídicí systém*, který je charakteristický víceúrovňovou hierarchickou strukturou.
- **vysoká spolehlivost**: vyjadřuje se tzv. střední dobou mezi poruchami, případně střední dobou mezi opravami. U současných řídicích systémů nabývá tento parametr hodnot řádově 10^4 až 10^7 (10^1 milionů) provozních hodin.
- **snadná změna struktury regulátorů**: počítače a programovatelné automaty umožňují požadovanou strukturu regulačního členu sestavit vhodnou kombinací počítačích bloků.
- **programové nastavení parametrů regulátorů**: regulátory diskrétních systémů jsou často tvořeny jedinou výkonnou instrukcí (nejčastěji instrukce PID/PSD) a blokem dat obsahujícím všechny požadované parametry. Konstanty regulátoru se nastavují jejich modifikací. Některé systémy mají zabudovanou funkci automatického nastavení příp. adaptivní mechanismus.
- **minimální drift nuly**: základem analogových regulátorů jsou stejnosměrné zesilovače, které jsou charakteristické nestálostí výstupního napětí (drift nuly). Tento problém u mikroprocesorových systémů neexistuje.
- **snadný přenos informace na velké vzdálenosti**: veškeré signály jsou přenášeny jako binární data, která jsou podstatně odolnější vůči elmg. rušení než analogové signály.
- **snadnější nastavení, oživení a montáž řídicích systémů**: diskrétní řídicí systémy obsahují řadu ladících a diagnostických funkcí, které usnadňují uvedení řízení do chodu, detekci a odstranění případných poruch.

Blokové schéma číslicového regulačního obvodu





Popis činnosti:

Vycházíme z předpokladu, že regulátor bude zpracovávat jedinou regulovanou veličinu $y(t)$. Snímač sejme informaci (spojitý signál) úměrnou regulované veličině. V porovnávacím členu je tato informace porovnána s žádanou hodnotou řídicí veličiny a postupuje dál jako spojitá veličina jejíž velikost odpovídá regulační odchylce $e(t)$. Regulační odchylka $e(t)$ se přivádí na vstup vzorkovacího členu (vzorkovače). Vzorkovač vybírá v pravidelných intervalech T_{vz} (perioda vzorkování) ze signálu $e(t)$ vzorky (impulsy) $e(k)$, jejichž šířka je zanedbatelná proti délce intervalu T_{vz} . Amplitudy vzorků se rovnají amplitudám regulační odchylky $e(t)$ v okamžicích vzorkování.

Signál ze vzorkovače je veden do zesilovače, který svým zesílením a posunem nuly určuje rozsah pro daný vstup. Zesílení je často nastaveno softwarově.

Po zesílení je diskretní signál pomocí A/D převodníku upraven do digitální podoby. Šířka datového slova určuje rozlišující schopnost převodníku a ovlivňuje přesnost celé regulační smyčky. Současné řídicí systémy pracují s datovým slovem o šířce 8 až 16 bitů. Dále je veličina prezentována pouze v číselné podobě.

Vstupní obvody reálných řídicích systémů zpracovávají řádově desítky až tisíce signálů a jejich zpracování samostatnými vzorkovacími obvody by bylo neúměrně drahé. Proto se zpravidla pro skupinu vstupů použije jeden analogový obvod, na který se pomocí analogového multiplexoru postupně vstupní obvody připojují.

Dále putuje signál ve formě čísla do centrální jednotky. Centrální jednotka tvoří základ řídicího systému. Vyhodnocuje vstupní datové signály nesoucí informaci o stavu řízeného objektu, provádí výpočet akčních veličin, alarmových hlášení a pomocí výstupních obvodů zasahuje zpět do procesu.

Informace na výstupu centrální jednotky má také podobu posloupnosti čísel. Ta jsou převedena D/A převodníkem na diskretní hodnoty signálu. V tvarovači je z těchto hodnot vytvořen signál v podobě stupňovité funkce, který již působí na akční člen.

Číslicové regulátory se známou strukturou

Tyto regulátory jsou vlastně obdobou spojitých regulátorů jejichž funkce je převedena do diskretních rovnic. Při odvození číslicových regulátorů se používají diferenční rovnice, protože číslicové obvody zpracovávají navzorkované hodnoty signálů, mezi kterými je časová difference (vzorkovací perioda T_{vz}). Rovnice jsou upraveny do rekurzivního tvaru tak, aby vyhovovaly použití v algoritmech programovatelných automatů a mikroprocesorových aplikacích.

Číslicový proporcionální regulátor

Diferenční rovnice: $u(k) = r_0 \cdot [e(k) - e(k-1)] + u(k-1)$

Číslicový integrační (sumační) regulátor

Diferenční rovnice: $u(k) = r_{-1} \cdot T_{vz} \cdot e(k) + u(k-1)$

Číslicový derivační regulátor

Diferenční rovnice: $u(k) = r_1 \cdot (1/T_{vz}) \cdot [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] + u(k-1)$

Číslicové kombinované regulátory

PI regulátor: $u(k) = (r_0 + r_1 \cdot T_{vz}) \cdot e(k) - r_0 \cdot e(k-1) + u(k-1)$

PD regulátor: $u(k) = (r_0 + r_1/T_{vz}) \cdot e(k) - (r_0 + 2 \cdot r_1/T_{vz}) \cdot e(k-1) + (r_1/T_{vz}) \cdot e(k-2) + u(k-1)$

PSD: $u(k) = (r_0 + r_1 \cdot T_{vz} + r_1/T_{vz}) \cdot e(k) - (r_0 + 2 \cdot r_1/T_{vz}) \cdot e(k-1) + (r_1/T_{vz}) \cdot e(k-2) + u(k-1)$

Číslicové regulátory s neznámou strukturou

Struktura regulátoru je stanovena nepřímou požadovaným počtem vzorků potřebných k regulaci. V ideálním případě to znamená že v následujícím kroku je dosažena požadovaná hodnota a tedy platí tzv. rovnice minimálního počtu regulačních kroků: $y(k) = w(k-1)$

Tím se získá tzv. minimální tvar přenosu řízení. Rovnice regulátoru se poté určí dosazením $y(k)$ z diferenční rovnice systému do a po úpravě rovnice posunutím vzorků a vytknutím $u(k)$ se získá rovnice regulátoru neznámé struktury.

Další typy číslicových regulátorů

Do této skupiny můžeme zařadit regulátory, které jsou tvořeny speciálními algoritmy. Mezi nejčastěji zmiňované patří tzv. genetické evoluční algoritmy. Tyto algoritmy napodobují evoluci při postupné úpravě řídicího kódu jako při evoluci v přírodě. Z evolučního hlediska by úpravy měly vést k optimálnímu řízení s minimem spotřeby energie a nejlepší dynamikou.

Dalším typem jsou řídicí programy simulující činnost neuronových sítí, které mají schopnost získávat zkušenosti (učit se). Tyto algoritmy ale vyžadují velký výpočetní výkon, který ještě není běžně k dispozici a poměrně složitý režim učení.

Také sem patří tzv. expertní systémy (napodobení chování experta z daného oboru), fuzzy logika a regulace, umělá inteligence atd.

4.5 Programovatelné automaty (PLC)

Programovatelný automat (česky – zkratka PA) je uživatelsky programovatelný řídicí systém určený pro řízení průmyslových a technologických procesů nebo strojů. Jedny z prvních programovatelných automatů (z angličtiny Programmable Logic Controller – zkratka PLC) byly vyrobeny firmou Allen-Bradley počátkem roku 1969. Byly to jednoduché systémy logického typu, které nahrazovaly relé, časová relé a mechanická počítadla. Díky jednoduchému programování, velké přizpůsobitelnosti a spolehlivosti se PLC rychle rozšířily a v současné době jsou používány téměř ve všech oblastech průmyslu. Progresivní vývoj moderních mikroelektronických prvků velké integrace umožnil výrazné změny vlastností PLC. V současných aplikacích se však zvyšuje podíl úloh regulačního typu, úloh monitorování řídicího procesu a úloh analogového měření. Někdy se PLC označují zkratkou FPC nebo PC (Free Programmable Controller), v němčině pak SPS (Speicher-Programmierbare Steuerung).

Na našem trhu se vyskytuje řada typů PLC různých výrobců jak českých, tak zahraničních jako např. ABB, Allen-Bradley, AEG, Eberle, Klöckner Moeller, Festo, GE, Matsushita, Mitsubishi, Modicon, Omron, Saia, Siemens, Telemecanique, Teco. PLC různých výrobců se samozřejmě v detailech liší, ale mají společné základní znaky, způsoby použití a v posledních letech se sjednocuje i způsob jejich programování dle standardu IEC 61 131-3.

Hlavní předností PLC je možnost rychlé realizace systému. Technické vybavení nemusí uživatel vyvíjet. Stačí navrhnout a objednat vhodnou sestavu modulů PLC pro danou aplikaci, vytvořit projekt, napsat a odladit uživatelský program, a to vše realizovat a uvést do chodu. Jen výjimečně se podaří, že první varianta řešení zůstane tou poslední a konečnou. Požadavky na

celý systém se průběžně vyvíjejí a rozšiřují. Na rozdíl od systémů s pevnou logikou (relé, stykače), stačí u systémů s PLC většinou opravit, změnit nebo rozšířit uživatelský program. Pokud si dodatečné požadavky zákazníka vyžadují použití nových vstupů a výstupů, stačí mnohdy využít rezerv v konfiguraci systému, popřípadě doplnit potřebné moduly, doplnit projekt a program, všechno důkladně odladit, ověřit, otestovat, zdokumentovat a seznámit uživatele se změnami. K dalším velkým výhodám PLC patří jejich schopnost komunikace s nejrůznějšími systémy a zařízeními (senzory, měřicí zařízení, akční členy) s ostatními PLC a s nadřazenými systémy. Tato schopnost komunikace umožňuje stavbu řídicích systémů skládající se z nejrůznějších komponent od různých výrobců.

4.5.1 Technické vybavení PLC

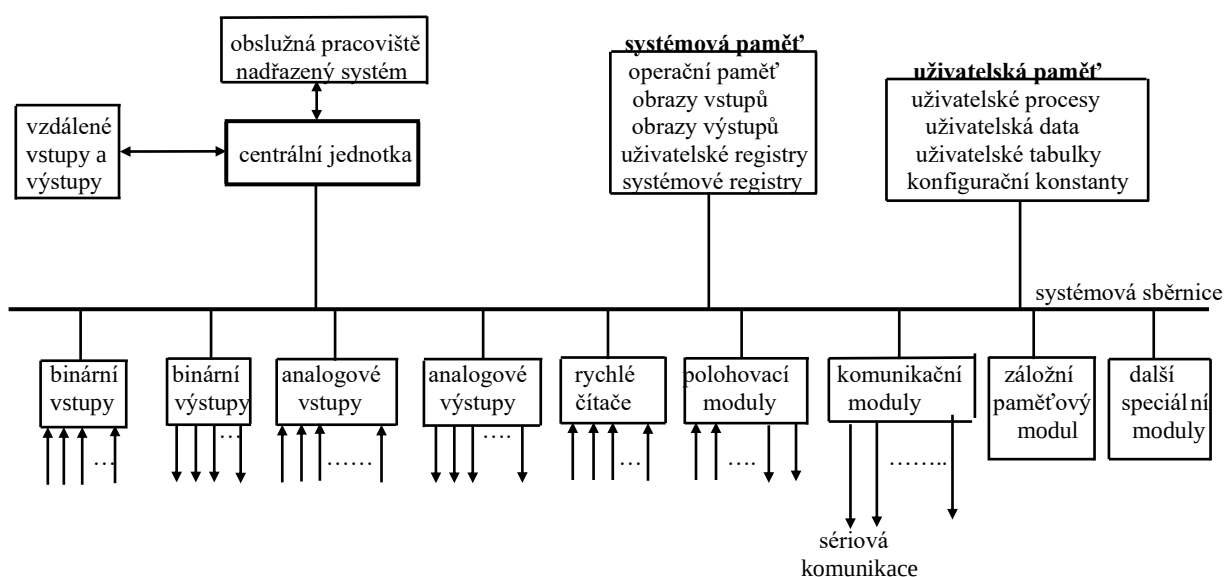
Každé PLC se v podstatě skládá z centrální procesorové jednotky, systémové paměti, uživatelské paměti, souboru vstupních a výstupních jednotek pro připojení řízeného systému (technologického procesu, výrobního stroje nebo zařízení) a souboru komunikačních jednotek pro komunikaci s ostatními systémy.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

Pouzdro, základní modul, napájení

Kompaktní PLC jsou umístěny v jednom uzavřeném pouzdře (krytu, kazetě) s jednou daným počtem vstupů a výstupů (většinou do 8 vstupů a 8 výstupů). U některých typů je možné rozšířit počet zpracovávaných signálů pomocí tzv. přídavných rozšiřovacích modulů. Kompaktní PLC se většinou montují přímo na lištu DIN do rozvaděče.

Modulární (vanové) PLC jsou tvořeny hlavní jednotkou ve které je umístěna centrální procesorová jednotka (CPU), napájecí jednotka, systémová a napájecí sběrnice a několik volných pozic (slotů) pro zásuvné periferní jednotky. Zásuvné moduly si volí podle potřeby projektant z nabídky výrobce automatu. Modulární PLC mohou zpracovávat až 10^2 signálů.

Stavebnicové PLC jsou tvořeny základní deskou (angl. breadboard) s pasivní systémovou sběrnicí, na kterou se osazují jednotlivé moduly z nabídky různých výrobců. Projektant si sestavuje celý automat podle svých požadavků. Základními moduly jsou: modul zdroje, modul procesoru, moduly vstupních a výstupních signálů, modul komunikací a dalších jednotky. Stavebnicové PLC se sestavují pro nejnáročnější aplikace pro zpracování až 10^3 signálů



Obr.81. Blokové schéma PLC

Centrální procesorová jednotka

Centrální procesorová jednotka (angl. Central Procesor Unit – zkratka CPU) je základem celého PLC a určuje jeho výkonnost. Bývá jednoprocesorová i víceprocesorová (matematický koprocesor, vstupně-výstupní procesor, komunikační procesor, rychlý bitový procesor).

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

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

Binární vstupní jednotky

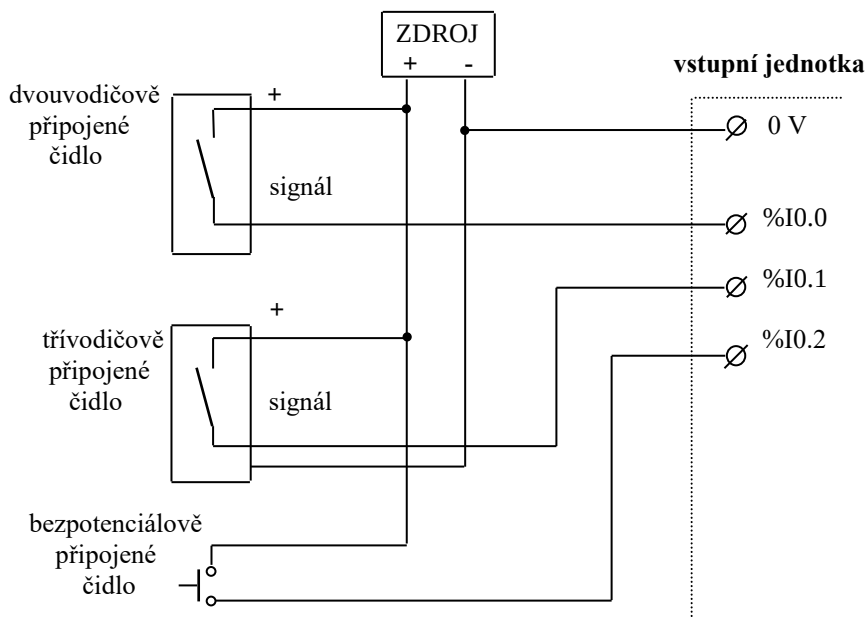
Zajišťují tyto 4 základní funkce:

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

Binární vstupy slouží k připojování prvků pro tvorbu vstupů s dvouhodnotovým charakterem výstupního signálu jako jsou tlačítka, přepínače, koncové spínače, senzory doteku nebo přiblížení, dvouhodnotové senzory tlaku, teploty, hladiny atd.

Často jsou vybaveny společným vodičem pro zápornou i kladnou polaritu a umožňují volit polaritu signálů podle potřeby.

Napěťové úrovně (nejpoužívanější) ss: 5, 12, 24, 48 V stř: 24, 48, 115, 230 V



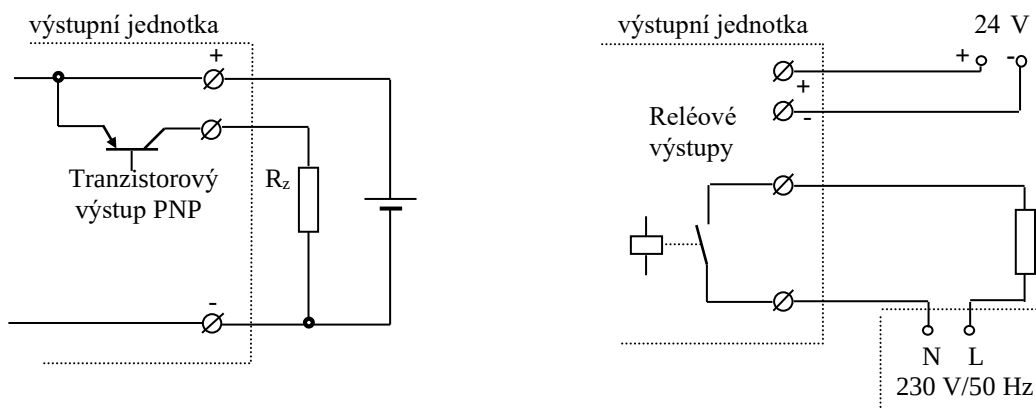
Obr.82. Různé způsoby připojení kladného vstupního signálu

Binární výstupní jednotky

Slouží k připojování různých akčních členů s dvouhodnotovým charakterem (cívky relé a stykačů, signalizační zařízení, solenoidové ventily, cívky pneumatických a hydraulických rozvaděčů, stupňovité řízení pohonů a frekvenčních měničů atd.). Plní tyto 4 základní funkce:

- galvanické oddělení signálu přicházejícího z CPU od signálu předávaného z výstupní jednotky akčním členům (pomocí optočtenů),
- zesílení signálu na potřebnou úroveň,
- ochrana výstupů před zkratem nebo přetížením,
- signalizace stavu výstupů (pomocí LED).

výstupní napětí – ss: 24, 48 V – tranzistorové spínací prvky NPN, PNP
– stř.: 24 až 250 V, 24 / 48 V, 115 / 230 V – triakové spínací prvky
– pro ss i stř. napětí (do 250 AC/60 V DC) – reléové spínací prvky



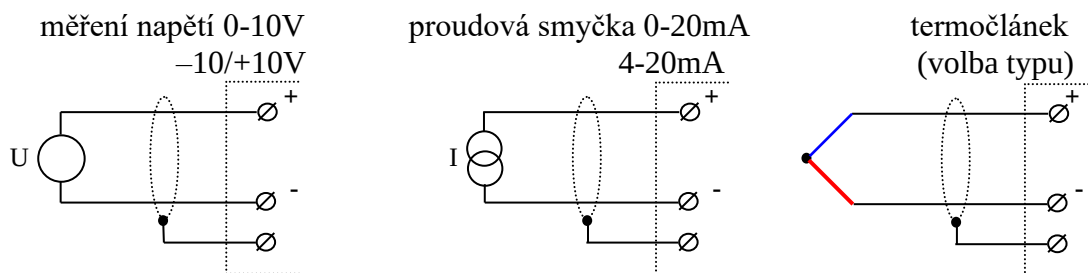
Obr.83. Různé způsoby připojení výstupních jednotek

Analogové vstupní jednotky

Zprostředkují kontakt PLC se spojitým (analogovým) prostředím. Umožňují měřit základní veličiny napětí, proud a odpor. Většinou jsou určeny pro zpracování unifikovaných signálů a pro připojení nejčastěji používaných snímačů mezi které patří potenciometry (100 Ω), odporové snímače teploty (Pt100, Pt500, Pt1000), termočlánekové snímače teploty (FeKo, Pt-PtRh).

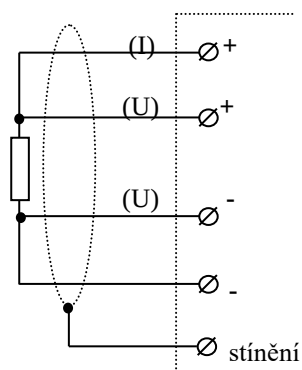
Nejdůležitější součástí je A/D převodník, který převádí analogové signály na číselné hodnoty. Přesnost převodu je určena počtem bitů převodníku (nejčastěji 10 nebo 12 bitů).

Existují analogové jednotky specializované pro určité typy čidel (speciální snímače tlaku, vlhkosti, koncentrace látek atd.). Nejsou již univerzální, ale zato jsou optimálně přizpůsobeny svému určení a poskytují tak kvalitnější a levnější řešení. Moduly mohou být vybaveny galvanickým oddělením a tím zvyšovat odolnost systému proti rušení.

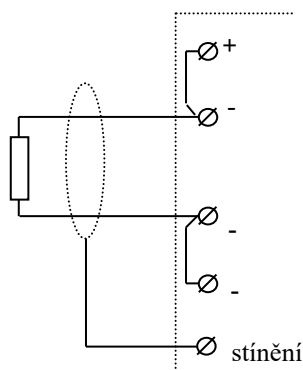


Zapojení pro odporové snímače (např. odporové snímače teploty)

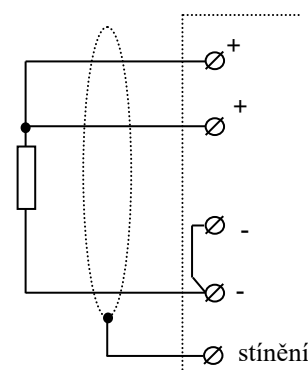
4vodičové zapojení



2vodičové zapojení



3vodičové zapojení



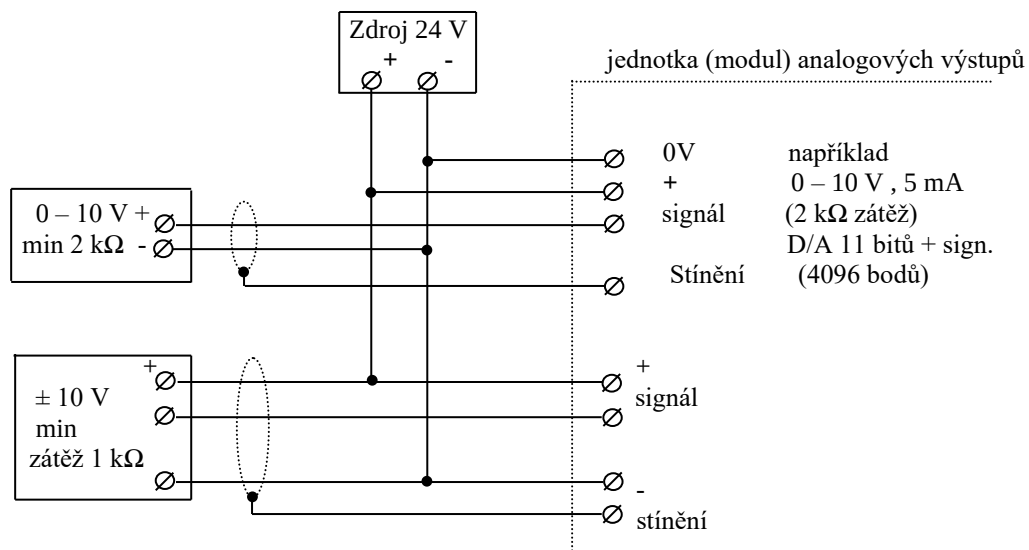
Obr.84. Různé způsoby připojení analogové vstupní jednotky

Analogové výstupní jednotky

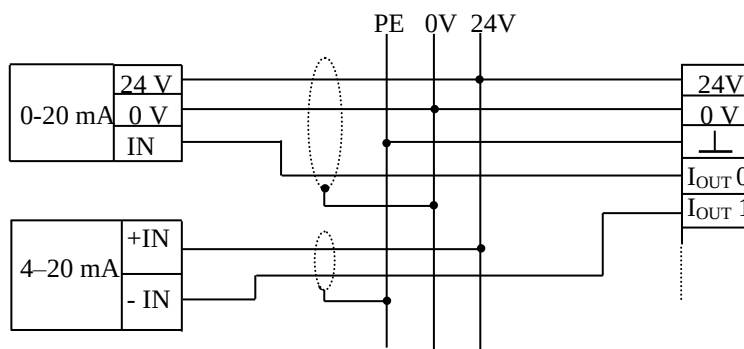
Slouží pro ovládání různých akčních členů či zařízení se spojitým charakterem vstupního signálu (servopohony, frekvenční měniče, ručkové měřicí přístroje atd.). Základ tvoří D/A převodník, zpravidla 10 až 16bitový na čemž závisí jeho přesnost. Analogové výstupy jsou buď napěťové nebo proudové (aktivní, pasivní).

Komunikační jednotky

Umožňují komunikaci se vzdálenými moduly vstupů a výstupů, s podsystémy, se sousedními a nadřazenými systémy, s operátorskými panely a s jinými inteligentními přístroji, s počítači a jejich sítěmi a umožňují vytvářet distribuované systémy. Většinou rozšiřují počet asynchronních sériových komunikačních kanálů. K dispozici jsou i jednotky umožňující dálkové přenosy dat přes modem a telefonní síť nebo přes radiomodem. Jednotlivé jednotky se liší podle počtu poskytovaných kanálů a podle použitého typu rozhraní (RS 232, RS 485, Ethernet atd.).



Obr.85. Připojení akčních členů k napěťovým výstupům



Obr.86. Připojení akčních členů k aktivním a pasivním proudovým výstupům

Speciální jednotky

Moduly pro řešení regulačních úloh – PID regulátory, moduly s fuzzy logikou a fuzzy regulací. Modul pneumatických výstupů – místo vodičů mají hadičky (pro výbušná prostředí). Jednotka pro vstup z CCD kamery – obrazová informace z technologického procesu.

Čítačové jednotky

Jsou určeny k čítání pulsů, jejichž perioda je srovnatelná nebo kratší, než je smyčka programu programovatelného automatu (inkrementální snímače). Kromě čítání pulzů mohou vyhodnocovat další parametry signálů: frekvenci, střidu signálu, souhrnnou dobu logické 1 nebo 0, průměrné, minimální a maximální hodnoty.

Polohovací jednotky

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

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

4.5.2 Programové vybavení PLC

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

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

Vykonávání programu PLC

Program PLC je posloupnost instrukcí a příkazů jazyka. Typickým režimem jeho aktivace je cyklické vykonávání v programové smyčce. Na rozdíl od jiných programovatelných systémů se programátor PLC nemusí starat o návrat programu na začátek po jeho „doběhnutí“, to zajistí systémový program. Naopak každé dlouhodobé setrvání programu v programové smyčce je chybou a systém ji hlásí jako „překročení doby cyklu“.

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

Tvorba uživatelských programů

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

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

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

Programovací jazyky PLC

Jsou to jazyky navržené pro snadnou, názornou a účinnou realizaci logických funkcí.

Jazyky systémů různých výrobců jsou podobné, nikoliv však stejné, takže je není možno přenášet mezi PLC. Mezinárodní norma IEC 1131 se snaží jazyka a zvyklosti různých výrobců co nejvíce sblížit. Tato norma definuje tyto typy jazyků:

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

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

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

Jazyk logických schémat – jazyk funkčních bloků (Function Block Diagram, německy FUP) je grafický jazyk, který základní logické operace popisuje obdélníkovými značkami. Výška značky je přizpůsobena počtu vstupů. Své značky mají i ucelené funkční bloky (čítače, časovače, posuvné registry, paměťové členy, aritmetické a paralelní logické instrukce). Tento jazyk je graficky orientovaný a logika funkcí je určena logickým schématem, které má blíže k elektronice než programování.

Jazyk strukturovaného textu – Structured Text (ST) je obdobou vyšších programovacích jazyků pro PC nebo mikrořadiče (Pascal, C). Umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů. Zápis v programu ve strukturovaném textu je výhodný pro klasické programátory a poměrně přehledně dovoluje programovat i velmi rozsáhlé projekty.

Grafický jazyk pro sekvenční programování – jazyk GRAFCET (SFC) tvoří nadstavbu nad popsánými jazyky. K popisu struktury používá značky stavů přechodů a větvení. Grafcet byl vyvinut z organizačních diagramů (Petriho sítí) a vzhledem trochu připomíná vývojový diagram. Chování v jednotlivých stavech nebo definování podmínek přechodů lze obvykle popsat prostředky kteréhokoliv z předchozích jazyků nebo dalším vnořeným sekvenčním grafem (podgrafem). Je velmi názorný a podporuje systémový přístup k programování.

5. PŘÍKLADY REALIZACE

5.1 Výroba el. energie

Principů výroby el. energie je mnoho. Využívají se fyzikální jevy jako je Seebeckův jev (termočlánek), piezoelektrický jev. Hlavní skupinou a energeticky nejvýznamnější, jsou tzv. tepelné elektrárny. Mezi ně patří uhelné, jaderné, geotermální a s koncentrovanou sluneční energií. V těchto elektrárnách se přeměňuje tepelná energie (jejíž nosičem je ostrá vodní pára) na mechanickou (otáčení parní turbíny) a mechanická energie páry na elektrickou (rotační el. generátory).

Ostatní principy se také využívají, ale tvoří jen malý segment celkové energetické bilance. Např. termoelektrické články mají využití v kosmonautice a při outdoorových aktivitách.

Uhelné a plynové elektrárny

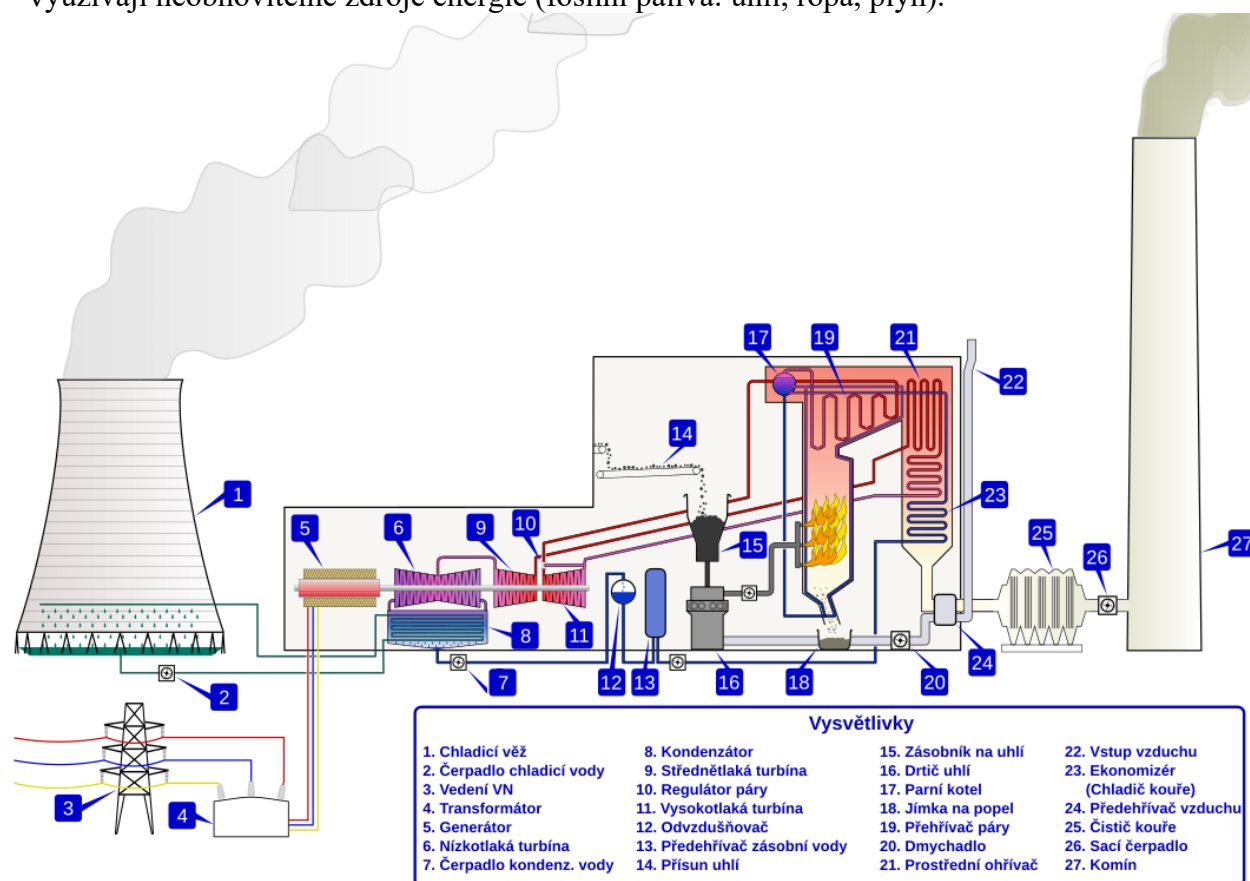
V nich získáváme tepelnou energii spalováním paliva.

Výhody:

- poměrně velký a regulovatelný výkon,
- levný provoz.

Nevýhody:

- produkují obrovské množství emisí: oxidy dusíku, oxid siřičitý, prachové částice, polyaromatické uhlovodíky, oxid uhličitý (podílí se na vzniku skleníkových efektů),
- využívají neobnovitelné zdroje energie (fosilní paliva: uhlí, ropa, plyn).



Obr.87. Uhelná elektrárna

Jaderné elektrárny

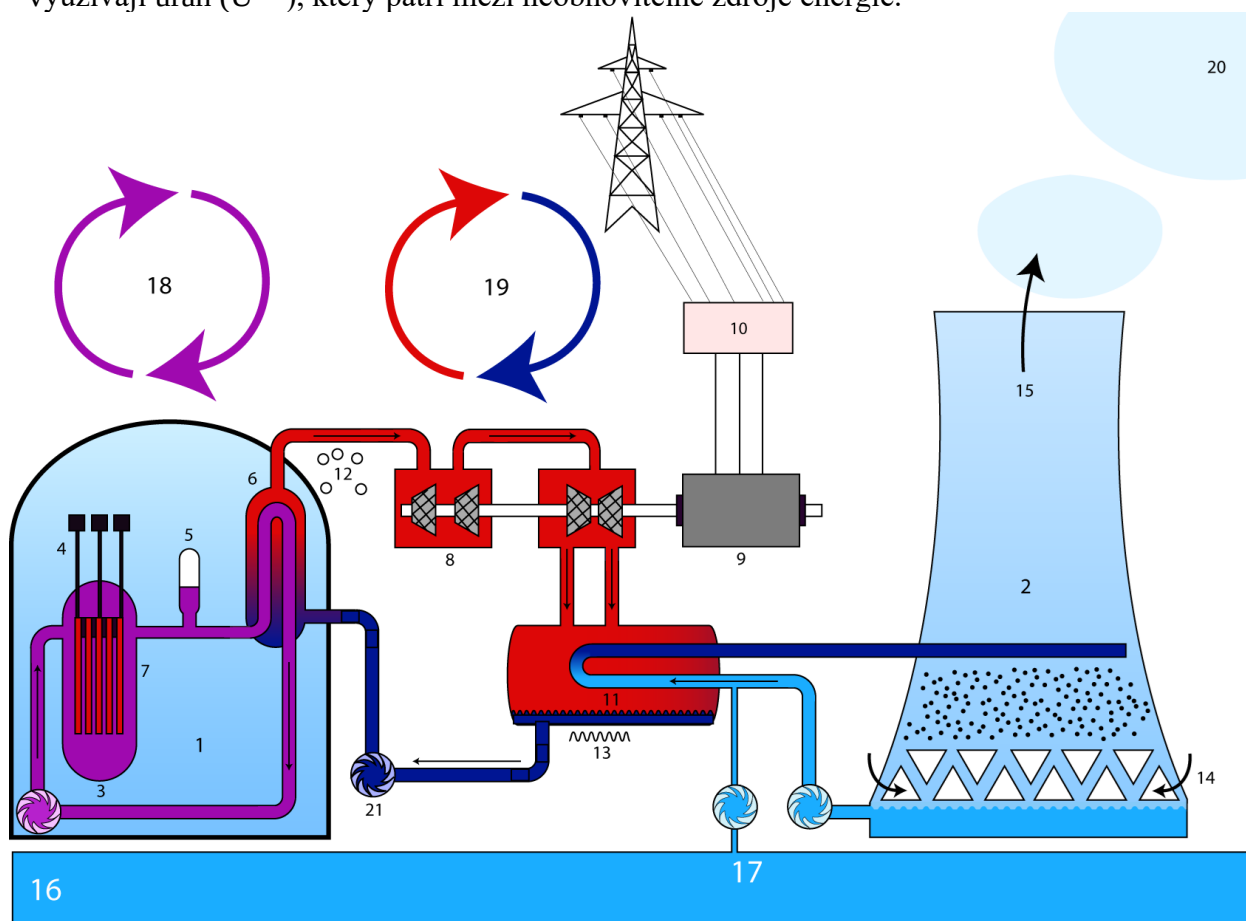
V jaderných elektrárnách vzniká teplo řízenou reakcí při štěpení jader uranu v reaktoru, který je napojen na primární okruh, v němž proudí primární chladicí médium (voda, tekutý sodík apod.). Ohřáté primární médium předává své teplo sekundárnímu okruhu ve formě páry.

Výhody:

- vysoký výkon při malém množství paliva,
- za běžného provozu produkují pouze odpadní teplo a vodní páru,
- nízké výrobní náklady.

Nevýhody:

- vysoké vstupní náklady na výstavbu,
- technologicky náročné získávání paliva,
- produkují jaderný odpad,
- riziko jaderné havárie (i když je velmi malé),
- využívají uran (U^{235}), který patří mezi neobnovitelné zdroje energie.



Obr.88. Jaderná elektrárna

Vodní elektrárny

Vodní elektrárny využívají energii vodních toků a dělí se podle výkonu na malé (do 10 MW), střední (od 10 MW do 200 MW) a velké (nad 200 MW). Přitékající voda předává energii turbíně, která roztáčí generátor připojený ke společné hřídeli. Nejznámější z celé řady vodních turbín jsou: Kaplanova, Francisova, Peltonova a Bánkiho. Rotační energie se v generátoru mění na elektrickou energii.

Výhody:

- výstavba malých vodních elektráren je obvykle podporována,
- voda má vysokou hustotu, a i malý proud zajistí velké množství energie,
- využívají obnovitelný zdroj energie.

Nevýhody:

- nutnost stavění velkých přehrad nebo nádrží, kvůli čemuž jsou i přes svůj obnovitelný charakter považovány za ekologicky kontroverzní (dopad na vodní živočichy a rostliny),
- zasahují do přírodní krajiny,
- nelze je vystavět všude.

Přílivové elektrárny

Jsou jedním z druhů vodních elektráren. Příliv a odliv moře způsobuje u pobřeží proudy vod jejichž energii lze využít umístěním turbín do proudu. Turbíny jsou spojené s generátory, které mění mechanickou energii pohybu vodního proudu na elektrickou energii. Přílivové elektrárny jsou tvořené hrázemi, které koncentrují přílivový a odlivový proud do vhodných lokalit.

Výhody:

- provoz minimálně znečišťuje okolí,
- příliv a odliv se lépe předpovídá než např. chování větru,
- využívají obnovitelný zdroj energie.

Nevýhody:

- nelze je vystavět všude,
- časová nepravidelnost přílivu,
- zatěžování pobřežní oblasti,
- vliv na mořskou pobřežní biologii.



Obr.89. Přílivová turbína

Větrné elektrárny

Mění energii větru na elektřinu pomocí větrníků, jejichž rotory jsou přes převodovky spojené s generátory elektrické energie. Existuje více typů vertikálních větrných turbín: Savoniova, Darrieusova, helixová. Využívá se ale především 3křídla varianta horizontálních turbín.

Výhody:

- vítr poskytuje zdroj energie zadarmo a je prakticky nevyčerpatelný,
- využívají obnovitelný zdroj energie,

Nevýhody:

- narušují vzhled krajiny a mohou být poměrně hlučné (včetně infrazvuku),
- nespécifické vlivy na krajinu, především na faunu (ptactvo, zvěř atd.),
- v bezvětrí jsou elektrárny nevyužitelné,
- výkon je závislý na aktuální síle a směru větru,
- likvidace materiálů (konstrukce) dosluhujících elektráren je velmi nákladná.



Obr.90. Řez gondolou větrné elektrárny

Geotermální elektrárny

Tyto elektrárny využívají k výrobě elektrické energie teplo ze zemského jádra. Při výrobě elektřiny se do hlubinných vrtů vhání voda, ze které vzniká pára, která se dále využívá jako u obecně tepelných elektráren.

Výhody:

- nezávislost na dodávkách paliva,
- stabilní a stálý výkon,
- téměř bezobslužný provoz,
- využívají obnovitelný zdroj energie.

Nevýhody:

- nejistoty v geologických podmínkách,
- možné riziko zemětřesení,
- narušení okolní krajiny, které je hrozbou především pro místní živočichy.

Fotovoltaické (solární) elektrárny

Fotovoltaické neboli solární elektrárny vyrábějí elektřinu z energie slunečního záření. Fotovoltaické panely využívají fotoelektrického jevu, kdy při dopadu slunečních paprsků na polovodičový materiál přímo vzniká elektrický proud.

Výhody:

- dlouhá životnost a nízké náklady na údržbu a provoz,
- finanční úspora za energii a možnost získání dotace na pořízení,
- využívají obnovitelný zdroj energie.

Nevýhody:

- nespolehlivost slunečního záření,
- vyšší pořizovací cena fotovoltaických panelů,
- při instalaci je třeba počítat s dalšími úpravami objektu.

Elektrárny s koncentrovanou sluneční energií

Tyto elektrárny využívají tepelnou energii slunečního záření. Základním prvkem jsou odrazné panely, které koncentrují tepelný tok slunečního záření do ohniska (obvykle ve věži uprostřed pole odrazných panelů), kde se tepelná energie předává do primárního nosného média (roztavená sůl, tekutý cín). Primární médium předává energii sekundárnímu okruhu s vodní párou a další přeměna tepla na elektrický proud je shodná s tepelnými elektrárnami.

Výhody:

- dlouhá životnost a nízké náklady na údržbu a provoz,
- finanční úspora za energii a možnost získání dotace na pořízení,
- využívají obnovitelný zdroj energie.

Nevýhody:

- nespolehlivost slunečního záření,
- vyšší pořizovací cena technologie,
- značný zástavbový prostor.



Obr.91. Solární koncentrační elektrárna

Regulační okruhy v uhelné elektrárně:

Regulace zauhlování
Regulace uhelných mlýnů
Regulace polohy lopatek hořáků práškového paliva
Regulace množství spalovacího vzduchu
Regulace hladiny vody v parním kotly
Regulace teploty vodní páry
Regulace tlaku vodní páry
Regulace zpětného vzduchu pro spalování
Regulace výkonu parní turbíny
Regulace olejového okruhu ložisek turbíny
Regulace buzení generátoru
Regulace množství chladicí vody
Regulace odtahu spalin
Regulace odpopílkování
Regulace odsíření
Regulace dopravy strusky a popílku
Regulace dodávky vápence
Regulace vápencového mlýnu
Regulace provzdušňování mletého vápence

5.2 Přenos el. energie

Pro přenos el. energie na větší vzdálenosti se používá střídavé napětí, protože při transformaci na vysoké napětí teče vedením menší proud a vznikají menší úbytky napětí, tj. jsou při přenosu menší výkonové ztráty.

Přenosovou soustavu v ČR provozuje státní společnost ČEPS a. s., původně vyčleněná ze státní společnosti ČEZ a. s. Síť tvoří vedení zvláště resp. velmi vysokého napětí 400 kV resp. 220 kV, vybraná vedení 110 kV a 50 transformačních stanic. Mezinárodně je síť 16 vedeními propojena se sítěmi dalších členů ENTSO-E (Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny). V roce 2006 se přenášený výkon pohyboval od 4,9 GW do 11,4 GW (rekordní hodnota v zimní špičce).

Řízení přenosové soustavy je poměrně složité. Spočívá na aktuálních údajích dálkově naměřených v uzlech sítě (napětí, proudy, výkony) a stavu spínacích prvků v síti (odbočky transformátorů). Dispečerské řízení se zabývá následujícími prvky:

- odhad stavu,
- chod sítě,
- zkratové poměry,
- analýza kontingenční a citlivostní,
- dispečink činných a jalových výkonů,
- konfigurace zapojení,
- řazení zdrojů.

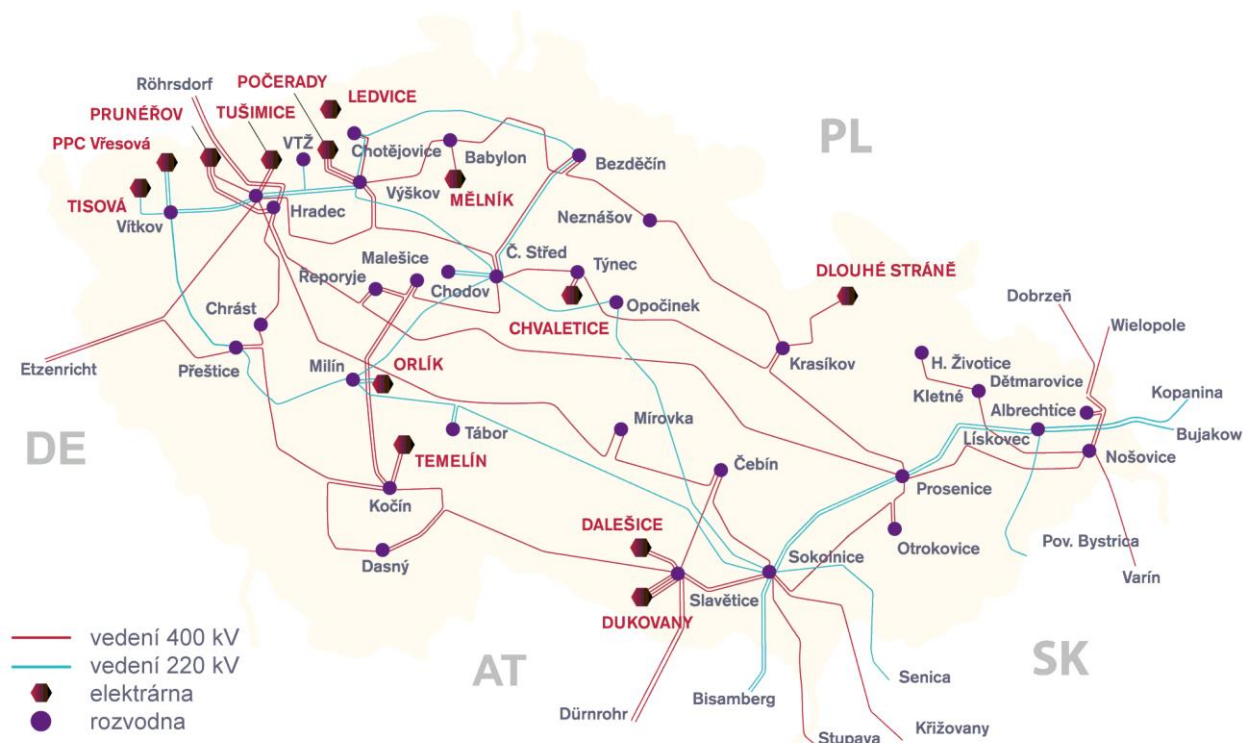
Pro stabilitu sítě má zásadní význam udržování frekvence 50 Hz. Celková spotřeba energie je předvídatelná jen částečně, a proto dochází k odchylkám od ideálně frekvence trvale. Na odhad potřebné výroby energie mají vliv zdroje solární a větrné, které zhoršují situaci. Regulace frekvence vyžaduje podpůrné služby:

- primární (do 30 s): záloha pro automatickou regulaci frekvence,
- sekundární (do 300 s): záloha pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací,
- terciární (do 750 s): záloha pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací.

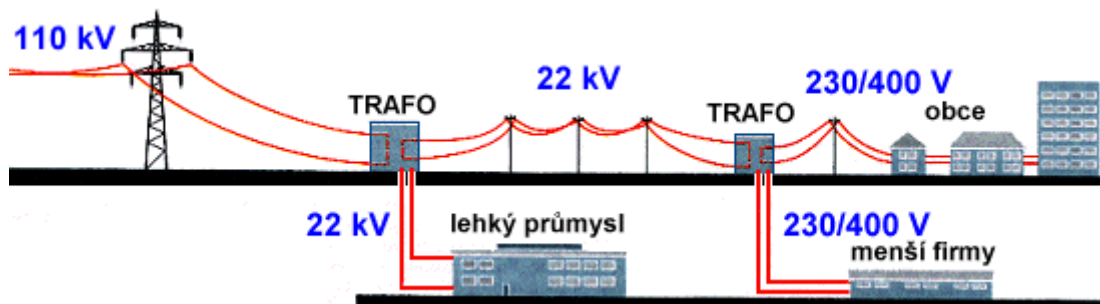
Technické ztráty přenosu lze omezit pouze regulováním účinníku, tj. omezením přenosu jalového výkonu. Regulace jalového výkonu je důležitá pro stabilitu sítě a ovlivňuje hodnotu napětí v místě odběru. Jalový výkon se omezuje přidáním kompenzačních zařízení jako jsou kondenzátory nebo synchronní kompenzátory.

Obvyklé metody kompenzace jalového výkonu (anglicky Power Factor Correction) jsou:

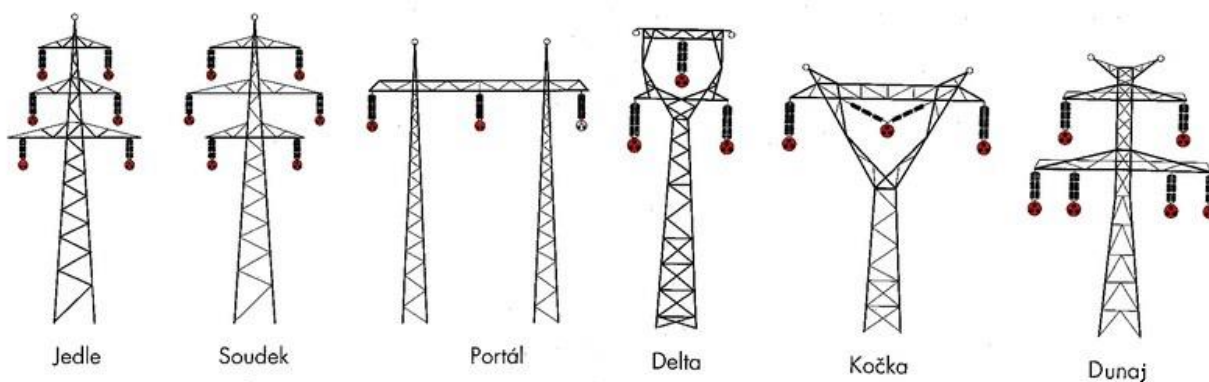
- **individuální kompenzace** (Single/Fixed PFC): kompenzační zařízení je v tomto případě připojeno přímo na svorky spotřebiče nebo v jeho blízkosti. Tím je odlehčeno celé vedení od zdroje po spotřebič. Dosažené úspory jsou nejvyšší, hospodárnost kompenzace však závisí na využití spotřebiče. Individuální kompenzace je typická pro stále provozovanou zátěž s konstantním příkonem např. kompenzace asynchronních motorů, transformátorů, zářivek a výbojek atd.
- **skupinová kompenzace** (Group PFC): kompenzační zařízení je připojeno na přípojnících rozvaděče pro skupinu spotřebičů, například kompenzace na hlavních rozvaděčích v průmyslových závodech. V tomto případě je odlehčen úsek vedení od tohoto rozvaděče ke zdroji. Vlivem nesoudobosti provozu spotřebičů vychází kompenzační výkon menší než při individuální kompenzaci každého spotřebiče a je již nutná jeho regulace.
- **centrální kompenzace** (Bulk PFC): je typická pro rozsáhlé elektrické systémy s volatelnou zátěží, obvykle je připojena v hlavní rozvodně závodu na přípojnících vstupní trafostanice. Vlivem nesoudobosti spotřebičů opět klesá potřebný kompenzační výkon, rovněž je nutná regulace. Kondenzátorové baterie jsou spínány regulátorem podle aktuálního požadavku kompenzačního výkonu.
- **kombinovaná kompenzace** (Combined PFC): představuje kombinaci předchozích variant.



Obr.92. Přenosová energetická síť ČR



Obr.93. Rozvod el. energie



Obr.94. Typy stožárů pro vn rozvody

5.3 Využití el. energie

Využití el. energie je všestranné. Principiálně dělíme na tyto oblasti:

Teplo a chlazení

Teplo vzniká přeměnou elektrické energie těmito způsoby:

- průchodem proudu vodičem (překonáváním jeho odporu),
- elektrickým obloukem,
- elektrickou jiskrou,
- indukovanými (vířivými) proudy,
- infračerveným vyzařováním,
- mikrovlnným ohřevem,
- dielektricky,
- hysterezními ztrátami,
- Peltierovým jevem u spojených kovů, kterými prochází proud (využití teplého konce při vzniku tepelného rozdílu na koncích kovů).

Pro množství tepla platí Joulov-Lencův zákon: $Q = R \cdot I^2 \cdot t$

Teplo i chlad se předává do okolí vedením a sáláním.

Druhy chladících soustav:

- kompresorová (kompresorová chladnička),
- absorpční (bezkompresorová chladnička – s el. ohřevem),
- Peltierova (využití studeného konce při vzniku tepelného rozdílu na koncích kovů),
- magnetická (využití magnetokalorické slitiny).

Světlo

Žárovka je nejčastěji používaným zdrojem světla. Využívá jevu inkandescence, tj. emise světelného záření z rozžhaveného materiálu. V žárovkách je průchodem proudu rozžhaveno vlákno s vysokou teplotou tání (platina, wolfram – u prvních žárovek to byla uhlíková vlákna) na teplotu (1000 až 4500 K) při které se emituje světlo – jedná se tedy o elektroinkandescenci. Podstatnou měrou k vývoji žárovek přispěl T. A. Edison (patent r. 1879).

Společnou vlastností teplotních zdrojů je:

- velmi nízká účinnost přeměny tepelné energie na světlo,
- velký podíl energie vyzářené v podobě tepla (hlavní část – víc hřeje, než svítí),
- spojitě rozložení světla ve spektru podle fyzikální křivky teplotního zářiče,
- subjektivně příjemné vnímání světla lidským okem,
- závislost barvy světla na teplotě zářiče,
- závislost účinnosti zdroje na teplotě zářiče.

Výbojka rtuťová svítí v ultrafialovém spektru (UV záření). Jejich UV paprsky se mění pomocí luminoforu na viditelné spektrum. Nízkotlaké sodíkové výbojky svítí monochromaticky žlutým světlem, při kterém nelze rozlišit barvy. U vysokotlakých sodíkových výbojek jsou barvy zkreslené, ale rozlišitelné.

Oblouková lampa vyzařuje světlo pomocí oblouku hořícím mezi dvěma většinou uhlíkovými elektrodami. Oblouk je tvořen kanálem vysokou teplotou ionizovaného el. vodivého plynu (vzduchu, argonu, dusíku), kterým teče proud. Hoření oblouku udržuje vysokou teplotu a tím i ionizaci plynu. Oblouk má negativní V-A charakteristiku (čím větší proud, tím větší teplota a tím menší napětí mezi elektrodami). Světlo vyzařuje jak oblouk, tak i rozžhavené elektrody, především anoda, které má teplotu až 4000 °C. Klidný oblouk vyžaduje stejnosměrný zdroj se stabilizovanou hodnotou proudu. Uhlíky postupně (a nerovnoměrně) uhořívají a musí být udržovány ve správné poloze (oblouk musí mít správnou délku). Mezi vynálezce, kteří

vylepšovali konstrukci obloukové lampy patřili Jabločkov (Jabločkovova svíce), Debrunov, Fridrich Hefner-Alteneck, Čikolev, Gramme, Schuckert a také český vynálezce František Křižík (patent r. 1882). Křižík („český Edison“) zavedl automatickou regulaci polohy uhlíků pomocí elektromagnetů se vzájemně vyváženými momenty. Dnes se obloukovky používají jen pro speciální zdroje světla (osvitové jednotky, výkonné světlomety, zdroje UV), nepřímo u plazmatronů, nebo v metalurgii (napařování kovových povlaků, obloukové svařování, obloukové pece).

Zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka. Je plněná rtuťovými parami a argonem. Její výboj je převážně neviditelný v UV oblasti. UV záření je pohlceno luminoforem na stěnách trubice a vyzářeno jako viditelné světlo. Při napájení střídavým proudem zářivka generuje pulzující osvětlení (může vzniknout stroboskopický efekt).

Výhody zářivek:

- Mají vyšší životnost nežli klasické žárovky (ale nižší než LED zdrojů).
- Mají poměrně vysokou energetickou účinnost (20 % i více, při stejném světelném výkonu mají 4krát až 6krát nižší příkon než žárovky).
- Zahřívají se podstatně méně než žárovky díky nižšímu příkonu a vyšší účinnosti.
- Dle druhu luminoforu generují záření od UV až po viditelné v různých modifikacích (teplé, studené, či denní).

Nevýhody zářivek:

- Jsou ekologicky závadné, protože obsahují rtuť a toxický luminofor. Při rozbití se rtuť uvolní do životního prostředí. S vyřazenými zářivkami se z tohoto důvodu musí ekologicky nakládat jako s nebezpečným odpadem. Proto jsou z trhu postupně odstraňovány. Elektronické předřadníky zářivek také obsahují další špatně odbouratelné komponenty.
- Mají nižší účinnost než LED (LED náhrady zářivek mají až dvojnásobnou účinnost).
- Mají nespojitě spektrum s výraznými hroty (existují však i tzv. plnospektrální).
- Jas zářivek bez speciálního elektronického předřadníku nelze plynule regulovat.
- Zářivková svítidla jsou konstrukčně složitější (vyžadují startér a předřadník).
- Některé zářivky mají úzkospektrální vyzařování světla.
- Zářivky s pasivním předřadníkem blikají dvojnásobnou frekvencí elektrorozvodné sítě. Jejich použití je problematické v místech, kde se vyskytují rychle rotující předměty, zejména v dílnách s obráběcími stroji. Vlivem stroboskopického jevu se rotující předmět osvětlený přerušovaným světlem může jevit jako stojící. Při vyšších kmitočtech tento efekt zaniká.
- Levnější zářivky emitují složku UV záření, které může při dlouhodobé expozici nevratně poškodit zrak.

Neonky jsou plněné neonem a svítí červeně. Podobnou barvou svítí také doutnavky.

LED využívají principu, kdy vzniká proud fotonů jednotlivě vyzářených při návratu nosičů náboje z nestabilních poloh ve vyšších hladinách do stabilní polohy v nižší hladině v PN přechodu, kterým prochází el. proud. Protože energie uvolňovaná vracejícími se nosiči je kvantovaná velikostí skoku mezi hladinami, mají i energie fotonů nespojitý průběh, rozdělený do tzv. emisních spektrálních čar nebo pásů. Proto LED nemají spojitě spektrum jako žárovky.

Elektrické motory

Většina elektromotorů pracuje na principu využití Lorencovy síly, která je vyvolána působením mg. pole na vodič kterým protéká proud ($F = B \cdot I \cdot l$). Kromě tohoto principu ještě existují motory reluktanční, elektrostatické a piezoelektrické.

Elektromotory se dělí podle napájecího proudu na stejnosměrné a střídavé.

Motory stejnosměrné dělíme podle zapojení statorových cívek. Každý typ má specifické vlastnosti a uplatnění. Jejich charakteristickou součástí je komutátor a uhlíkové sběrače.

Sériové motory mají statorové vinutí s malým počtem závitů vodiče pro velký proud, zapojené do série s rotorem. Mají přirozenou trakční charakteristiku a jsou určeny pro využití v pohonech vozidel (trolejbusy, tramvaje, lokomotivy). V provozu musí být neustále zatíženy – nezatížený sériový motor by se roztočil na tak vysoké otáčky při kterých by se poškodil (vytržení rotorového vinutí a lamel komutátoru). Otáčky ve velké míře závisí na zátěži.

Derivační motory mají statorové vinutí s velkým počtem závitů pro malý proud, zapojené paralelně k rotoru. Mají konstantní otáčky závislé na napájecím napětí a jsou vhodné pro regulaci a řízení otáček. Pro jejich regulaci stačí regulovat napětí napájecího zdroje.

Kompaundní motory mají dvojí statorové vinutí jak sériové, tak paralelní. Nastavením proudů statorových vinutí lze u nich volit charakteristiku, přecházet do generátorického režimu a využívat rekuperační brzdění.

Motory střídavé indukční

3fázové asynchronní motory s kotvou na krátko mají jednoduchou, a přitom spolehlivou konstrukci při nízké výrobní ceně a bezúdržbovém provozu. Stator obsahuje 3fázové vinutí a rotorové vinutí je tvořeno odlitkem tzv. klecového vinutí (klec na krátko). Charakteristika motoru je prohnutá, má menší rozběhový moment a jmenovitý výkon při určitém skluzu (otáčky nejsou synchronní). Při přetížení motor vypadne ze záběru a zastaví se. Otáčky jsou závislé na frekvenci zdroje. Jsou regulovatelné jen díky frekvenčním měničům.

3fázové asynchronní motory s vinutou kotvou umožňují ovládat velikost rotorového proudu a tím měnit hnací moment (sklání se charakteristika motoru s klecí na krátko). To se využívá při rozběhu se zátěží. Rotor má vinutí vyvedeno na kroužky s uhlíkovými sběrači.

1fázové indukční motory mají stator s 1fázovým vinutím a rotor s kotvou na krátko. Principiálně nemají počáteční točivý moment, který by zajistil jejich rozběh. Rozběh je zajištěn pomocným rozběhovým vinutím, jehož proud je fázově posunutý a tím se vytváří pulzní točivý moment. Pro dosažení fázového posunutí se používají nejčastěji kondenzátory.

1fázové komutátorové (univerzální) motory jsou konstrukčně shodné se stejnosměrnými sériovými motory. Rozdíl mezi nimi je, že jejich magnetický obvod je složen z trafoplechů. Tyto motory mají nejlepší poměr váhy a rozměru ku výkonu. Proto se nejvíce používají u domácích spotřebičů, ručního el. nářadí apod. Jsou snadno regulovatelné řízením napětí zdroje.

Motory krokové

Jsou řízené elektronickými pulsními zdroji (ovladači). Otáčky krokového motoru odpovídají frekvenci pulzů, a proto jsou tyto motory synchronní. Krokové motory mají několik fázových cívek (2 a více – nejčastěji 4), které mohou pracovat unipolárně nebo bipolárně. Rozlišují se 4 principiální skupiny:

- pasivní reluktanční,
- aktivní s radiálními permanentními magnety,
- hybridní s axiálními permanentními magnety,
- lineární motory (místo otáčení se posouvají).

Elektromagnety

Elektromagnety mají 2 základní využití:

- vytvoření mg. pole pro fyzikální a technické účely,
- vytvoření fyzikální síly vlivem magnetických sil.

K vytvoření mg. pole se kromě nejčastěji používaných válcových cívek s feromagnetickým jádrem, vyskytují toroidní cívky s uzavřenými mg siločarami. K vytvoření síly se kombinují vhodně tvarované feromagnetické pólové nástavce a jádra s válcovými cívkami. U tažných

elektromagnetů je největším problémem vzduchová mezera, která omezuje tažnou sílu. Proto se vhodně volí uspořádání a tvar pohyblivých a pevných částí magnetických jader.

5.4 Základy robotiky

Nahrazování fyzického zapojování člověka do výrobního procesu automatickými systémy je základním rysem soudobého technického pokroku. V etapě intenzivní realizace komplexní automatizace výroby mají významné postavení i prostředky pro automatizovanou operační manipulaci – průmyslové manipulátory a roboty.

Cílem zavádění robotizovaných technologických pracovišť (RTP) a robotizovaných technologických komplexů (RTK) je zvyšování produktivity práce při snižování úplných vlastních nákladů, úspora pracovních sil, zvyšování kvality a spolehlivosti výrobků, rychlejší inovace výrobků a zvýšení kultury lidské práce.

Od roku 1967, kdy byl nasazen do výroby první zcela autonomní průmyslový robot, se na celém světě vyrobilo více než jeden milión kusů těchto zařízení. Řada těchto strojů však byla později nahrazena roboty modernější generace. Počet robotů vzrůstá v posledním období o 26 % ročně. Nejvyspělejší zemí v průmyslové automatizaci je Japonsko, kde pracuje 60 % celkového počtu průmyslových robotů. Tato země dosahuje i nejpříznivější poměr mezi počtem robotů a pracovníků.

Například v roce 1995 pracovalo v Japonsku na každých 10 000 zaměstnanců 210 robotů. Například ve Švédsku pracovalo na stejný počet zaměstnanců 54 robotů, v Německu 52, v Jižní Koreji 51 a v Itálii 41 robotů. Nejvíce jsou nasazovány roboty v automobilovém průmyslu, kde na každých deset tisíc dělníků pracuje: v Japonsku 800 robotů, v Itálii 400, v USA 300, ve Švédsku 250, v Německu 230, ve Francii a Velké Británii 200. Nejvíce jsou roboty využívány při těchto operacích: montáž, bodové svařování, obloukové svařování, obrábění, lisování, tváření, obrábění, povrchové ochrany.

Nejvíce se automatizace a robotizace vyvíjí v oblasti montáže. Současnou úroveň montáží lze charakterizovat tak, že stále převládá hardwarové řešení problémů (mechanická orientace dílců, víceúčelové chapače) před softwarovým řešením, tzv. „inteligentní montáže“ (systém oko-ruka). Kombinace práce robotů s videosystémy se začíná prosazovat, zatím však netvoří základ v této oblasti. Hlavní tendence se ubírají spíše směrem k vyšším rychlostem a větším přesnostem.

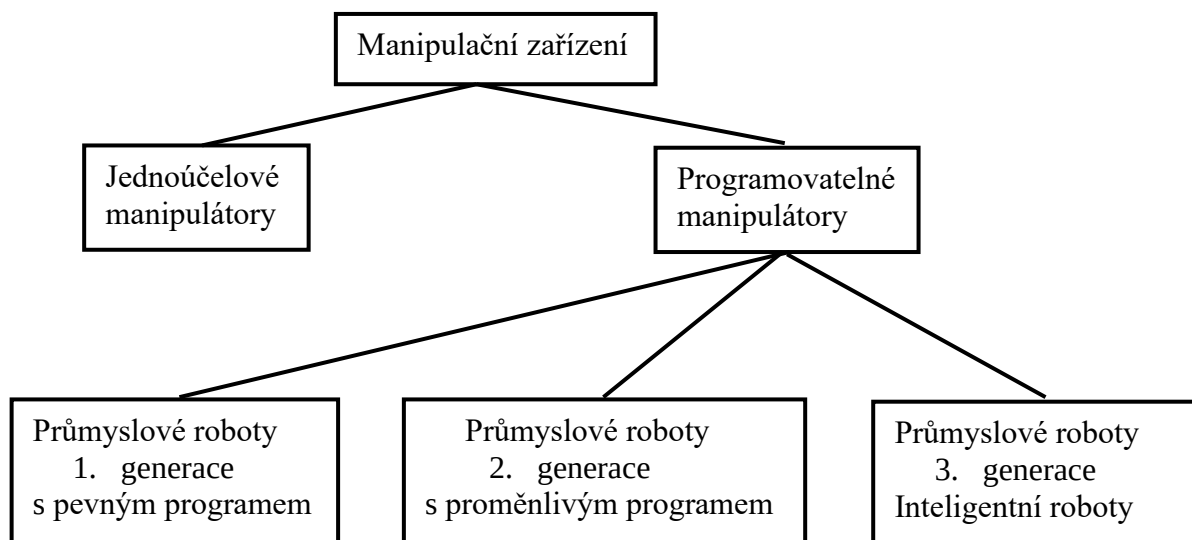
Své nezastupitelné místo mají roboty v prostředí nepřátelském člověku, kam patří práce pod vodou, v kosmickém prostoru, v radioaktivním prostředí jaderných elektráren a v podzemí. Do těchto prostředí se zahrnují též práce nebezpečné člověku, a tak se roboty uplatňují při požárech, v provozech hutnictví a chemickém průmyslu, při teroristických akcích, odstraňování výbušnin, odminování atd.

Kritéria rozdělení robotů

Definice manipulátorů, robotů a průmyslových robotů, včetně jejich členění, není dosud jednotně stanovena a v odborné literatuře nalezneme celou řadu různých výkladů.

Rozdělení podle prováděné práce: manipulační (podávání polotovarů, součástek), technologické (svařování, montážní, nanášení povlaků), speciální (pracující pod vodou, v kosmu, v radioaktivním prostředí), univerzální (kombinace předešlých),

Rozdělení podle způsobu řízení:



Manipulátory: ručně řízená zařízení na vykonávání pohybů, která slouží k ulehčení těžké fyzické práce, nebo také manipulační zařízení s nižším počtem stupňů volnosti.

Jednouúčelové manipulátory: slouží k automatizaci manipulačních prací, vesměs jednoúčelových strojů a linek ve velkosériové a hromadné výrobě. Mají omezenou funkci na několik jednoduchých pohybů (podavače, autooperátory).

Robot: je slovo českého původu, vymyslel ho malíř Josef Čapek pro umělé lidské bytosti v románu R.U.R. Karla Čapka (Rossums Universal Robots).

Průmyslové roboty: jsou univerzálně použitelné automaty pro vykonávání pohybu, které zastávají funkci člověka, především u výrobního stroje. Jsou programovatelné v několika osách a pomocí chapadel, nástrojů a senzorů mohou vykonávat velké množství různých pracovních úkonů. Složitost a objem řídicího systému určuje tzv. generaci robotů.

Roboty první generace: jsou manipulační zařízení s programovým řízením, určené pro vykonávání pevně programovatelných postupných operací. Program je sestaven k dosažení cíle činnosti pro určenou výrobní operaci, která je stálá. Při změně cíle nebo situace se uskuteční změna programu. Jednoduchost změny programu je činí dostatečně univerzálními v systému „zdvihni a umísti“.

Roboty druhé generace: jsou vybavené vnímáním pomocí široké řady senzorů nebo viděním pomocí kamery. Systém „udělej a ověř“ nebo „oko-ruka“.

Roboty třetí generace: jsou inteligentní roboty. Elementy umělé inteligence dávají robotu schopnost přizpůsobovat se změněným podmínkám, učí se a mohou tak samostatně řešit zadané úkoly. Stavebními prvky robotů s umělou inteligencí jsou vizualizace, hlasová komunikace, rozpoznávání a orientace v prostředí.

Kinematika robotů

Při stavbě robotů se nejčastěji používají **kinematické dvojice** (dva mechanické díly konstrukce robota, které jsou navzájem mechanicky vázány – pohyblivě spojeny, pomocí vodících prvků, nebo kloubů) přímočaře posuvné (translační), které se navzájem pohybují přímočaře a označují se písmenem **T** a otočné (rotační), které se navzájem pohybují otočně a označují se písmenem **R**.

Translační kinematické dvojice (T):

- suportové: po delším vedení se posouvá kratší těleso,
- smykadlové: v kratším vedení se posouvá delší těleso,
- výsuvné: teleskopické,

Rotační kinematické dvojice (R):

- otočné: úhel pohybu je roven nebo větší než 360° (jedno a víceotáčkové),
- kyvné: úhel pohybu je menší než 360° (90° , 180° , 270° apod.).

U robotů se nejvíce rozšířily následující základní typy kinematických modelů (pro dosažení bodu v prostoru je nutné použít minimálně 3 kinematické dvojice) a jím odpovídající pracovní prostory (oblast, kterou obsáhne koncový bod ramene robota).

a) TTT

- tři translační kinematické dvojice
- pracovní prostor je kvádr (pravoúhlý, kartézský)
- kinematika odvozena od 3 lineárních pohybů
- systém je velmi stabilní a je nejpřesnější
- nevýhodou je nižší prostorová pohyblivost
- používá se především při delších pracovních drahách

b) RTT

- jedna rotační a dvě translační dvojice
- pracovní prostor je válcový (cylindrický) segment
- válcový souřadný systém
- je robustní s jednoduchým řízením
- je nejčastěji používán

c) RRT

- dvě rotační a jedna translační dvojice
- pracovní prostor je kulový (sférický) segment
- výhodou je dobře umístěná zóna obsluhy a vyšší pohyblivost, vysoké rychlosti a zrychlení
- nevýhoda – menší pracovní prostor a složitější řízení, vykazují vyšší stupně volnosti a jsou méně vhodné pro prostorové pohyby
- použití – nejčastěji u plošných montáží

d) RRR

- tři rotační dvojice
- složený kulový souřadnicový systém
- pracovním prostorem je tzv. torus (oblouk)
- výhoda – dobrá manipulační schopnost, vysoká pohyblivost, dobře se vyhýbají překážkám
- nevýhoda – při náročnějším řízení dosahují nižší pracovní přesnosti

e) Delta

- min. 3 paralelogramy s lineárními pohony
- složený kulový souřadnicový systém
- pracovním prostorem je tzv. kulová úseč
- výhoda – vysoká rychlost a přesnost pohybů
- nevýhoda – složité řízení a malý pracovní prostor

Hlediska posuzování průmyslových robotů a manipulátorů

- Manipulační schopnost:** je dána druhem, stavbou a typem použitého zařízení. Závisí na mechanické konstrukci robota a pohyblivosti jeho os a ramen.
- Počet stupňů volnosti:** pro obecné zajištění polohy a orientace předmětů ve volném prostoru je dostačující pouze 6 stupňů volnosti (3 stupně pro polohování a 3 stupně pro orientaci). Např. lidská ruka má 27 stupňů volnosti.
- Manipulační hmotnost břemene:** základní parametr robotů. Většinou se do ní započítává i hmotnost úchopového mechanismu.

- d) **Přesnost manipulace:** závisí především na konstrukci robota a použitých prvcích pohonu, odměřování a řízení. Dříve přes 1 mm. Dnes až 0,01 mm. Důležitými veličinami jsou přesnost polohování a opakovaná přesnost.
Přesnost polohování – maximální odchylka mezi požadovanou a skutečnou polohou při najetí do libovolného bodu pracovního prostoru. Ovlivňuje ji rychlost pojezdu, směr najíždění a užité zatížení.
Opakovaná přesnost – zpravidla vyšší než přesnost polohování, poněvadž do cílového bodu se vždy najíždí za stejných podmínek, tzn. ze stejného směru stejnou rychlostí.
Geometrické přesnost dráhy – má význam pouze pro určité aplikace, např. průběžné svařování, odstraňování otřepů atd.
Přesnost robotů je závislá na manipulovaném břemenu. Výrobci robotů vesměs udávají, při jakých podmínkách zatížení je robot schopen jimi udávanou přesnost dodržet.
- e) **Rychlost pohybů:** max rychlost, zrychlení, zpomalení, doba pohybu,
- f) **Konstrukce robota:** TTT, RTT, RRT, RTR, RRR, Delta, Scara (TRR) a další,
- g) **Způsob řízení:** programování (najížděním do poloh, číselné programování poloh, učení poloh), manuální řízení, najíždění na referenční body, diagnostika, testování. Viz dále.

Konstrukce robotů

Roboty jsou vyráběny mnoha firmami a každá používá své know-how, osvědčená řešení a výrobní postupy tak, aby měla své místo na trhu. Každé řešení mechanismů robotů je více méně originální, ale obecně se dá konstrukce robotů rozdělit na pojezdovou část (pokud je robot mobilní), řešení vazeb pohybových dvojic, pohony a odměřovací prvky.

Pojezdové ústrojí

V řadě technologických operací je vyžadován pohyb robotu po delší dráze. V těchto případech bývá robot nebo manipulátor umístěn na pojezdovém ústrojí. Konstrukce pojezdu je přizpůsobena únosnosti a nerovnosti terénu po kterém se má robot pohybovat.

Nerovný terén s nízkou únosností (volný přírodní podklad v zemědělství, stavebnictví, lesním hospodářství, při údržbě vodních toků) vyžaduje pásové nebo krácející podvozky, které umí rozložit zatížení na velkou plochu a dokážou překonávat strmé svahy a velké nerovnosti.

Středně nerovný terén se střední únosností (zpevněné cesty, zhutněné povrchy, asfaltové silnice) umožňuje použít kola s pneumatikami. Tyto pojezdy unesou mnohem vyšší zatížení s menší energetickou spotřebou a jsou nejčastějším řešením

Hladký a vysoce únosný povrch (betonové podlahy hal, ocelové nosníky pojezdů jeřábů, železniční tratě) dovoluje použít hladká ocelová kola a bantamová kola, která unesou extrémní zatížení při malé energetické náročnosti. Do této skupiny patří i závěsné visuté dráhy, visuté jeřáby, portálové jeřáby, válečkové linky apod.

Pojezdové ústrojí může být součástí robota nebo může tvořit samostatný speciální podvozek, na který je robot připevněn.

Konstrukční řešení pohybů

a) Přímočaré pohyby

Přímočaré pohyby zajišťují posuvné jednotky, které jsou konstruovány v provedení suportovém, smykadlovém (do 1 metru) nebo teleskopickém.

U průmyslových robotů, vzhledem k potřebě bezvúlových uložení s minimálním třením, se dává přednost valivým uložení před kluznými. Valivými elementy vkládanými mezi vodící plochy jsou kuličky, válečky, jehly nebo kladky. Tvar vedení může být čtvercový, obdélníkový, trojboký, rybinový nebo kruhový. U kruhových je nutno řešit omezení proti otáčení.

b) Rotační pohyby

Rotační jednotky umožňují otáčení o více než jednu otáčku. Lze je rozdělit do dvou základních skupin:

s přímým náhonem – točna je přímo spojena s motorem,

s nepřímým náhonem (s převodem) – ozubenými koly, řemenem, ozubeným řemenem,

– točna i motor jsou odděleny a propojení je provedeno pomocí některého z typů převodů.

Při potřebě vyšších převodů je mezi motor a točnu vložena převodová skříň.

c) Kývavé pohyby

Kývavé jednotky mají omezený pohyb menší než 360°. Jsou poháněny elektromotory, pneumotory nebo hydraulickými pohony. Dělí se opět na kývavé jednotky s přímým a nepřímým náhonem. U přímých kývavých jednotek je na výstupu motoru přímo aplikovaná natáčivá část jednotky. Mezi kývavé jednotky s nepřímým pohonem patří jednotky s výkyvnými válci, posuvnými šrouby, řemenovým převodem atd.

Pohony robotů

Každá řízená osa robotu potřebuje vlastní servopohon, který musí být schopen zajistit jak velmi pomalé a přesné najíždění, tak také rychloposuv s dostatečným zrychlením a brzděním.

Podle druhu použité energie rozdělujeme pohony na mechanické, hydraulické, pneumatické, elektrické a kombinované.

Mechanické pohony – využívají se pouze u jednoduchých a jednoúčelových manipulátorů.

Jedná se především o vačkové a pákové mechanismy, jejichž pomocí lze docílit přímočaré i kývavé pohyby.

Pneumatické pohony – používají se především u manipulátorů. Jejich předností je čistota prostředí, nízké pořizovací náklady a jednoduchá údržba. Nevýhodou je elasticita stlačeného vzduchu, obtížná regulace, vyšší hlučnost a vyšší energetické náklady.

Hydraulické pohony – jejich předností je dosahování značných sil při malých rozměrech a nízké hmotnosti, plynulé řízení pracovních rychlostí a bezpečnost proti přetížení. Nevýhodou je teplotní závislost, nízká účinnost a ztráty oleje při netěsnostech.

Elektrické servopohony – nejrozšířenější druh pohonů. Jejich výhodou je jednodušší montáž, nízké náklady na údržbu a případný servis a menší vliv teploty na jejich činnost.

- **Stejnoseměrné pohony s kotoučovým rotorem:** Tyto motory mají malý moment setrvačnosti. Vinutí motoru je vytvořeno technologií plošných spojů. Proud do vinutí rotoru je přiváděn dvěma kartáčky. Stator je tvořen permanentními magnety s osmi páry pólových nástavců. Prochází-li vinutím rotoru elektrický proud, působí magnetické pole permanentních magnetů na rotor točivým momentem. Nevýhodou tohoto typu motoru je, že teplo z úzkého rotoru se špatně odvádí, takže při přetížení může dojít k přehřátí motoru. Dále dochází k opotřebování kartáčů.
- **Krokové motory:** Jejich velkou výhodou je možnost přesného polohování (odpočítávání kroků) a tím není nutné stále měřit polohu. Další výhodou je značný klidový moment (robot zůstává v poslední poloze) a nejsou potřeba brzdy pro fixaci polohy.
- **Střídavé pohony:** Jsou lehké jednoduché konstrukce a jejich výhodou je velký záběrový moment. Nevýhodou je skluz otáček, závislý na zatížení. Řízení otáček je prováděno frekvenčním měničem.

Odměrovací zařízení

Odměrovacím zařízením se zjišťuje skutečná poloha řízeného členu, která se porovnává s požadovanou hodnotou. Podle rozdílu těchto hodnot koriguje řízení robotu daný pohyb. Ke stanovení polohy jednotlivých řízených os se používají tyto způsoby odměřování:

Inkrementální odměřování

Jedná se o odměřování po jednotlivých krocích pomocí rotačního snímače. Dělení skleněného kotouče obsahuje až 10 000 rysek. Každá ryska, která projde mezi zdrojem světla a fotodiodou, poskytne jeden číselný impuls. Pomocí vřazené převodovky s převodem do pomalu se dosahuje velmi přesného odměřování. Většina robotů pracuje s inkrementálním odměřováním dráhy. Po zapnutí robotu musí být pro stanovení počátku souřadného systému najeto ve všech osách do tzv. referenčního bodu. Najetí do referenčního bodu se provádí automaticky.

Absolutní odměřování

Každá pozice generuje signál, který jednoznačně definuje aktuální polohu, tj. okamžitý úhel natočení. Aktuální poloha je přenášena ve formě kódu číselného vyjádření buď pomocí sériové komunikační linky nebo vícebitovým signálem.

Odměřování rychlosti pohybu

Pro odměřování rychlosti otáčení je v každé pohonné jednotce zabudován tachogenerátor. Ten vytváří stejnosměrné napětí, jehož hodnota odpovídá otáčkám motoru. Alternativně lze pro odměřování rychlosti využít zubových senzorů které vytváří impulsní signál jehož frekvence odpovídá rychlosti pohybu.

Pracovní hlavice – chapadla

Pracovní hlavice slouží k uchycení nástrojů a vykonání pracovní operace. Chapadla jsou koncové členy určené k uchycení a vkládání předmětů do pracovního prostoru a jejich vyjímání. Pracovní hlavice i chapadla by měly být co nejlehčí, protože jejich hmotnost snižuje užitečné zatížení. Čelisti chapadel musí zajišťovat bezpečné uchopení a uvolnění součástí. Pro součásti rozdílného tvaru proto volíme různé vhodné čelisti.

Chapadla dělíme na mechanická, pneumatická a magnetická. Dále na chapadla s pevnými a pružnými čelistmi, na pasivní a aktivní, s elektromagnety a permanentními magnety

Mechanická chapadla – nejčastěji se používají s hydraulickým a pneumatickým pohonem. Motory k ovládání čelistí tvoří s úchopovou hlavici jeden kompaktní celek. Vlastní čelisti jsou většinou ovládány prostřednictvím mechanických převodů – pákové, s ozubením, s klínem, šroubové a šnekové.

Obr.95. Pohony a převody čelistí, různé druhy chapadel

Pneumatická chapadla – jedná se o vakuové (podtlakové) hlavice, které se používají pro přenášení rovinných materiálů (tabule plechu, dřevěné desky, papír, sklo). Hlavní částí jsou přísavné misky z elastického materiálu pro přizpůsobení povrchu manipulovaného předmětu. Přísavný podtlak se dosahuje vývěvou nebo ejektorem.

Magnetická chapadla – vhodná pro menší předměty z feromagnetického materiálu. K upnutí se nejčastěji používají elektromagnety na stejnosměrný proud nebo permanentní magnety.

Pro manipulaci s různými typy součástí nebo provádění většího množství pracovních operací se používají vícenásobné hlavice nebo výměnné hlavice uložené v zásobníku.

Řízení robotů

Řídicí systém řídí podle uloženého programu činnost robotu ovládáním pohonů a ostatních mechanismů, dále zajišťuje komunikaci s řídicím systémem obsluhovaného výrobního stroje případně s řízením periferního zařízení (paletové stanice, dopravníky polotovarů atd.).

Pro řízení robotů, tzn. jak pro řízení souřadných os, tak i pro řízení dvoustavových funkcí se zásadně používají prostředky výpočetní techniky. Struktura řídicího systému odpovídá struktuře počítače. Základní jednotkou řídicího systému je tedy počítač vybavený jedním nebo několika procesory. Podle programů uložených v operační paměti počítače řídí procesor veškerou činnost robotu.

Vzájemná spolupráce jednotlivých funkčních jednotek řídicího systému závisí na zvoleném pracovní režimu.

Používané pracovní režimy a jejich funkce:

- **Ruční řízení** – pomocí přístroje pro ruční ovládání jsou například vyvolávány jednotlivé příkazy pro pohyb. Procesor řídicího systému tyto příkazy vyhodnocuje a zadává regulátorům pohonů požadované hodnoty.
- **Zadávání programu** – je vyvolán editační program, který ukládá načtené uživatelské programy a hodnoty polohy do paměti řídicího systému. Příkazy pro pohyby a ostatní funkce jsou zadávány v příkazovém jazyce. Ten umožňuje také zahrnout do programu výstupy a vstupy periferních zařízení. Zadávání poloh může být řešeno ručním najížděním do poloh, číselnou editací poloh, učením pohybu navádějící obsluhy nebo sledováním pohybu obsluhy.
- **Automatický režim** – v tomto režimu jsou vyvolány uživatelské programy robotu uložené v paměti a robot je vykonává. Tento režim nevyžaduje přítomnost obsluhy.
- **Najíždění na referenční body** – ověření přesnosti výchozího bodu pracovního prostoru,
- **Testovací provoz** – jsou postupně prováděny a kontrolovány jednotlivé úkony (věty programu), v různých režimech (vykonání jednoho povelu vpřed nebo vzad na pokyn obsluhy, vykonání celého programu na jeden povel, bez opakování nebo v nekonečné smyčce).
- **Diagnostika chyb** – je prověřován diagnostický systém robotu, jeho reakce na vyvolané chyby (chybové stavy), včetně prověření zabudovaných periférií nebo pracovní hlavičky.

Jednotlivé pracovní režimy jsou vyvolávány podle předem stanoveného pořadí. Jiný sled režimů bude například při uvádění robota do provozu, jiný na začátku směny atd.

KONEC

Dodatek 1.

„Matematické minimum“ potřebné k řešení regulačních obvodů

V automatizaci nevystačíme pouze s množinou reálných čísel a s „jednoduchou“ matematikou. Je nutné pracovat s komplexními čísly, mocninami operátoru j a používat derivace a integrály časových funkcí. Kvůli derivacím a integrálům je nutné používat Laplaceovu transformaci.

Derivace časové funkce
(grafický význam)



Integrál časové funkce
(grafický význam)

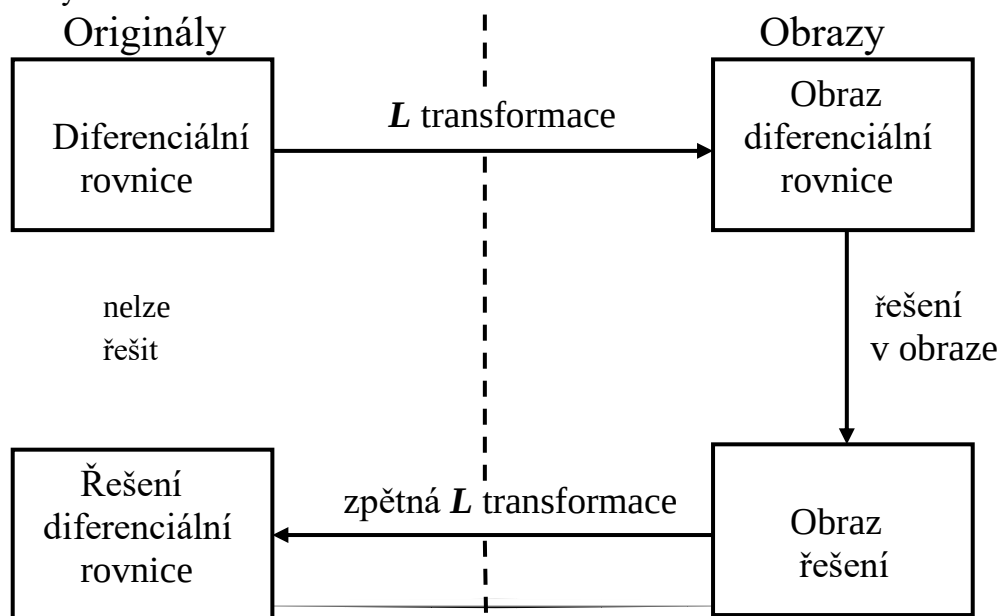


Laplaceova transformace

Obtížnost matematických operací jako je derivování a integrování vedla k hledání metod, které by ulehčily řešení těchto úloh. Nejpoužívanější metodou je Laplaceova (čti laplasova) transformace (L transformace), která usnadňuje řešení obyčejných i parciálních diferenciálních rovnic s konstantními koeficienty. L transformace je pomocný matematický aparát, který umožňuje nahradit obtížné derivování a integrování snadným násobením a dělením tzv. operátorem p . Předtím je však nutné nahradit časové funkce transformovanými funkcemi. Ty určíme pomocí tabulek (neboli slovníku) L transformace.

Abychom mohli provést L transformaci, musí časová funkce $f(t)$ splňovat tyto 2 podmínky:

- $f(t)$ musí být jednoznačná a v čase $t < 0$ musí být její velikost nulová ($f(t) = 0$ pro $t < 0$),
- $f(t)$ musí být v každém konečném intervalu kladná.



Postup řešení

Jednotlivé časové funkce $f(t)$ obsažené v diferenciální rovnici (tzn. *Originály*) nahradíme (transformujeme) pomocí slovníku (popřípadě pomocí transformačního vztahu) novými funkcemi (*Obrazy*) $F(p)$. Čas t jako nezávislá proměnná veličina originální funkce je při L transformaci nahrazen okamžitou nezávisle proměnnou veličinou, tj. operátorem p . Tím z originálu diferenciální rovnice vytvoříme obraz diferenciální rovnice, což je obyčejná algebraická rovnice bez derivací a integrálů. Přitom algebraické operace (sčítání, násobení atd.) zůstanou transformací zachovány.

Dále vyřešíme rovnici v obraze a získáme *obraz řešení*. Známe-li obraz řešení, snažíme se pomocí podrobnějšího slovníku transformace L nebo pomocí vztahu (předpisu) pro *zpětnou transformaci* provést transformaci obrazu řešení a získat tak řešení původní (originální) diferenciální rovnice, obsahující opět časové funkce.

Obrazy nejčastěji se vyskytujících časových funkcí

Obraz jednotkového skoku: $L \{1(t)\} = \int_0^{\infty} 1(t)e^{-pt} dt = \left[-\frac{e^{-pt}}{p} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{p}$

Obraz Diracovy funkce: Diracova funkce $\delta(t)$ je funkce, která se rovná nule mimo bod $t = 0$ a která pro $t = 0$ nabývá nekonečně velké hodnoty. Pro tuto funkci platí: $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$

Diracova funkce $\delta(t)$ se rovná první derivaci jednotkového skoku: $\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}$

Pro obraz Diracovy funkce platí: $L \{ \delta(t) \} = 1$

Obraz mocniny t^n : $L \{t^n\} = \frac{n!}{p^{n+1}}$

Věta o obrazu derivace: $L \{f^{(n)}(t)\} = p^n \cdot F(p)$ kde $f^{(n)}(t) = \frac{d^n f(t)}{dt^n}$

Věta o obrazu integrálu (při nulové dolní mezi): $L \left\{ \int_0^t f(t) dt \right\} = \frac{1}{p} F(p)$

Další obrazy lze najít v odborné literatuře v tzv. slovníku L a Z transformace

Dodatek 2.

Algebra blokových schémat

Jedním z důležitých prostředků pro popis členů regulačních obvodů je obrazový přenos $F(p)$. Z něj můžeme určit charakteristiky, rovnice a chování daného obvodu. U složitějších obvodů můžeme přenos určit měřením vstupních a výstupních veličin. Existují ovšem metody, pomocí nichž můžeme určit přenos složitějších obvodů výpočtem, známe-li dílčí přenosy jednotlivých částí obvodů. K tomu je potřeba znát určitá pravidla, pomocí nichž určíme přenos většího celku skládajícího se z různě zapojených dynamických členů známých přenosů. Tato pravidla jsou určena tzv. *algebrou blokových schémat* neboli *blokovou algebrou*. Jednotlivé dynamické členy jsou zastoupeny bloky, které jsou určeny známými přenosy. Kromě bloků se v blokových schématech používají součtové a rozdílové členy.

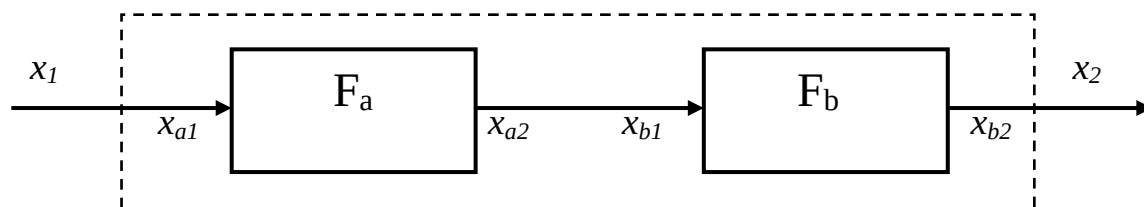
V blokové algebře platí komutativní zákon (nezáleží na pořadí bloků, popř. jejich přenosů při výpočtech) a princip superpozice (obecný vstupní signál můžeme rozložit na jeho složky a po jejich průchodu dynamickým členem složky opět sečíst, aniž by se výsledný signál lišil od signálu vyvolaného průchodem téhož nerozloženého signálu).

Pro zavedení blokové algebry se předpokládá splnění těchto podmínek:

- všechny členy jsou lineární,
- člen připojený vstupem k výstupu předcházejícího členu nesmí ovlivňovat přenos předcházejícího členu,
- signály v blokovém schématu postupují výhradně ve směru šipek.

Poznámka: při odvozování budeme příslušné přenosy a vstupní a výstupní funkce uvádět bez jejich proměnné v závorce. Výrazy se tak stanou více přehlednými. Samozřejmě při ostatních zápisech na to nesmíme zapomenout. Zde tedy budeme používat: F místo $F(p)$, x_1 místo $x_1(p)$ atd.

Sériové řazení bloků



Obr.96. Sériové řazení bloků

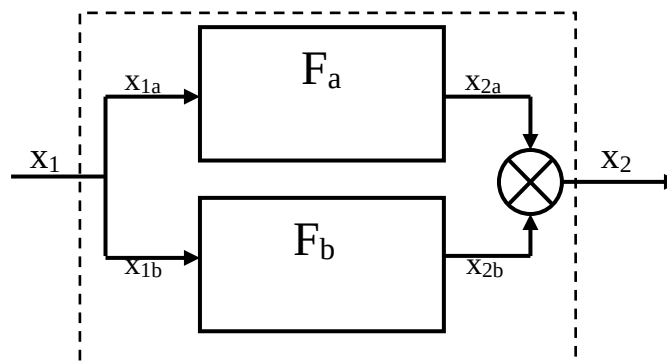
Přenosy jednotlivých bloků jsou: $F_a = \frac{x_{a2}}{x_{a1}}$ $F_b = \frac{x_{b2}}{x_{b1}}$

Z obrázku je patrné, že platí: $x_1 = x_{a1}$ $x_{a2} = x_{b1}$ $x_{b2} = x_2$

Potom: $F = \frac{x_2}{x_1} = \frac{x_{b2} x_{a2}}{x_{b1} x_{a1}} = F_a F_b$

U sériově řazených členů je výsledný přenos dán součinem dílčích přenosů. Platí to samozřejmě obecně pro jakýkoli počet sériově řazených členů.

Paralelní řazení bloků



Obr.97. Paralelní řazení bloků

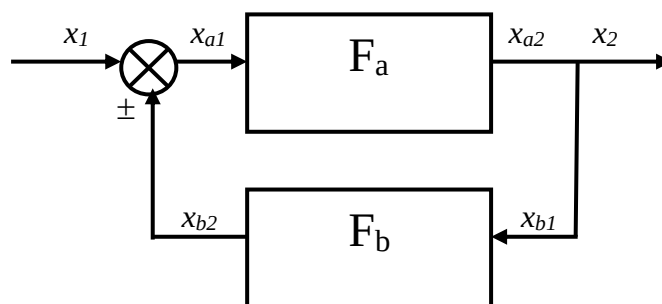
Přenosy jednotlivých bloků jsou: $F_a = \frac{x_{a2}}{x_{a1}}$ $F_b = \frac{x_{b2}}{x_{b1}}$

Z obrázku je patrné, že platí: $x_1 = x_{a1} = x_{b1}$ $x_2 = x_{a2} + x_{b2}$

Potom: $F = \frac{x_2}{x_1} = \frac{x_{a2} + x_{b2}}{x_1} = \frac{x_{a2}}{x_{a1}} + \frac{x_{b2}}{x_{b1}} = F_a + F_b$

Při paralelním řazení členů platí, že celkový přenos obvodu se rovná součtu jejich dílčích přenosů.

Zpětnovazební řazení bloků (antiparalelní)



Obr.98. Zpětnovazební řazení bloků

Přenosy jednotlivých bloků jsou: $F_a = \frac{x_{a2}}{x_{a1}}$ $F_b = \frac{x_{b2}}{x_{b1}}$

Z obrázku je patrné, že platí: $x_1 = x_{a1} \pm x_{b2}$ $x_2 = x_{a2} = x_{b1}$

Potom:
$$F = \frac{x_2}{x_1} = \frac{x_{a2}}{x_{a1} \pm x_{b2}} = \frac{\frac{x_{a2}}{x_{a1}}}{1 \pm \frac{x_{b2} x_{a2}}{x_{a1} x_{b1}}} = \frac{F_a}{1 \pm F_a F_b}$$

Blokem F_a se signál přenáší zleva doprava, tzn. přímo od vstupu k výstupu. Proto tuto část obvodu nazýváme přímá větev.

Blokem F_b se signál přenáší zprava doleva, tedy zpětně od výstupu ke vstupu obvodu. Tuto část nazýváme zpětnovazební větev. Oběma bloky se signál přenáší v kruhu (ve smyčce). Tato část obvodu se nazývá uzavřená smyčka.

Kombinované řazení bloků

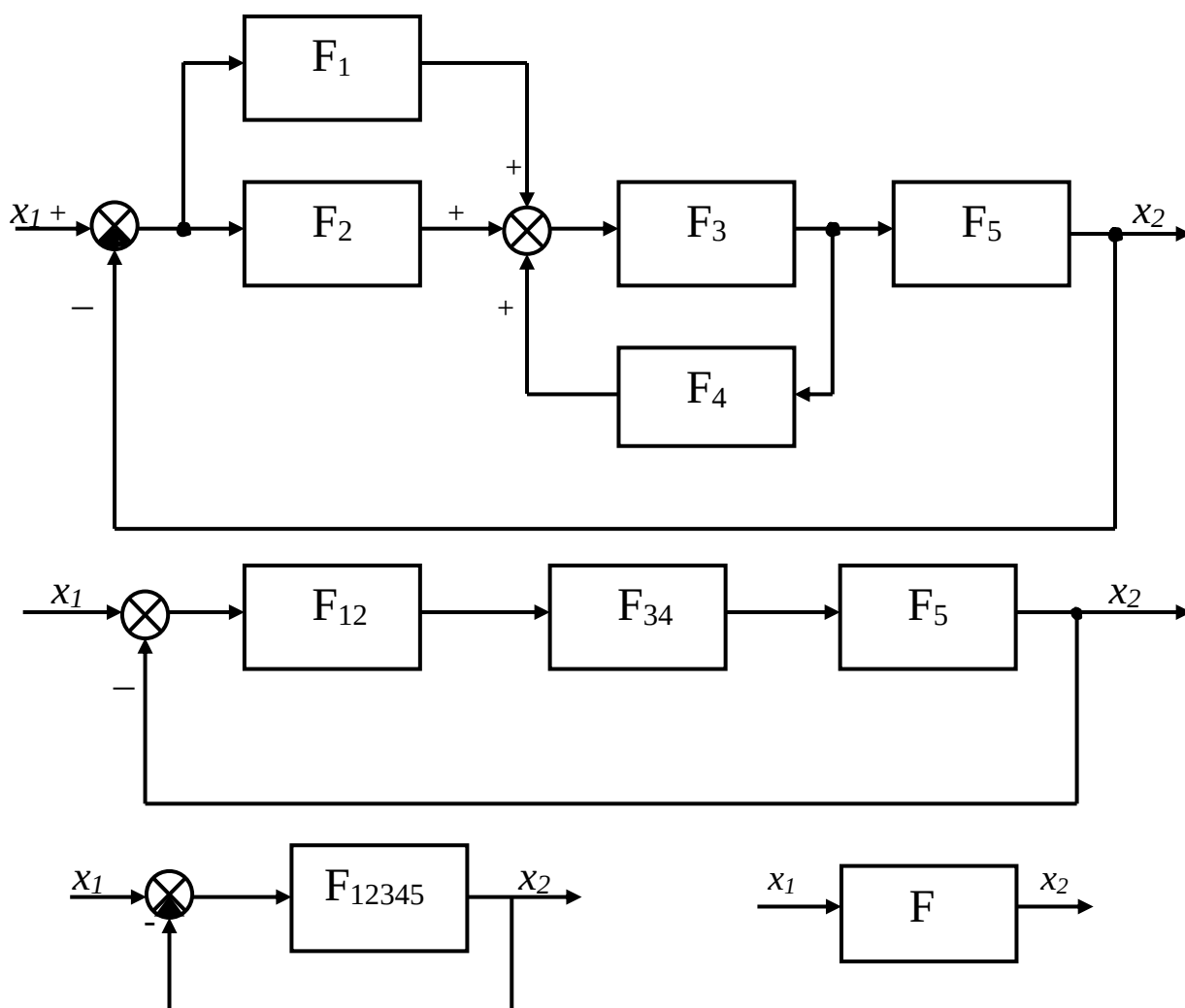
Při výpočtu celkového přenosu složitých obvodů složených z kombinací předešlých základních zapojení tyto obvody postupně zjednodušujeme, až získáme jediný blok. Zjednodušovat začínáme zevnitř obvodu a bloky které vznikly složením jiných, označujeme příslušnými „složenými“ indexy.

Následujícím příkladu si ukážeme postup při zjednodušování obvodu. Vidíme, že bloky F_1 a F_2 jsou spojeny paralelně, bloky F_3 a F_4 jsou v antiparalelním (zpětnovazebním zapojení), do série k předchozím blokům je zapojen blok F_5 a celý obvod obsahuje zápornou zpětnou vazbu.

Po úpravě nám vzniknou bloky F_{12} , F_{34} a F_5 zapojené v sérii. Po další úpravě vznikne blok F_{12345} se zápornou zpětnou vazbou, z kterého určíme výsledný přenos F .

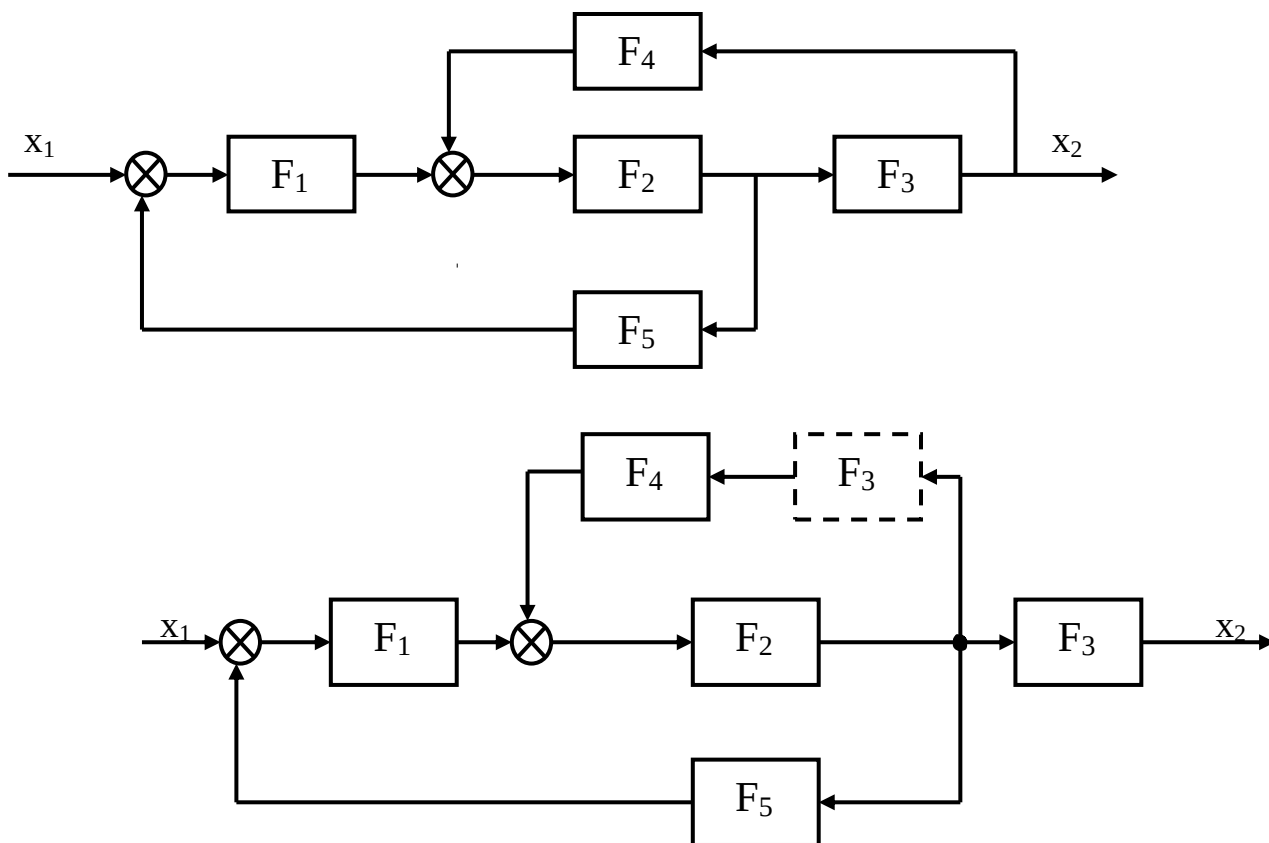
Pro následující obvod pak platí vztahy:

$$F_{12} = F_1 + F_2 \quad F_{34} = \frac{F_3}{1 - F_3 F_4} \quad F = \frac{F_{12345}}{1 + F_{12345}}$$



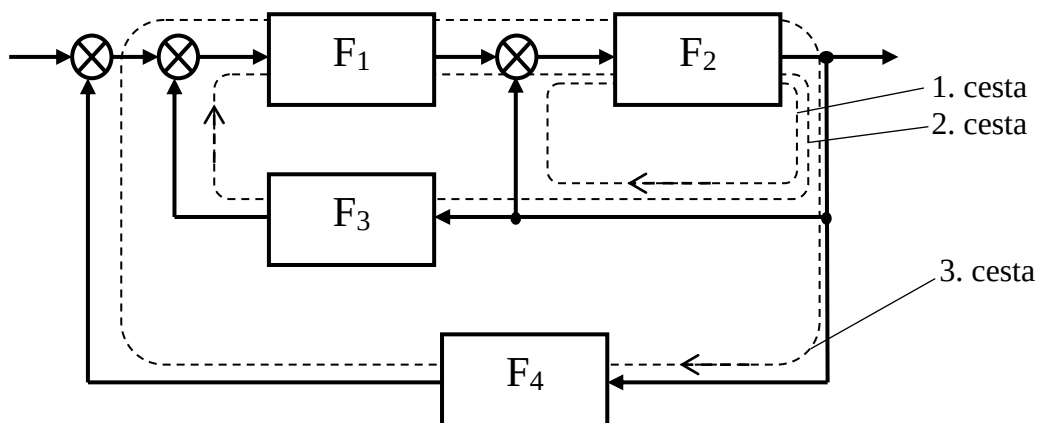
Obr.99. Příklad zjednodušování kombinovaných obvodů

Jestliže se v obvodu kříží zpětné vazby, musí se toto křížení odstranit zařazením takových myšlených (fiktivních) členů, které zajišťují, že se přenos nezmění. Na následujícím obrázku je vidět, že se křížení zpětných vazeb odstraní zařazením fiktivního bloku F_3 před blok F_4 . Potom se již může obvod zjednodušit podle předcházejících pravidel. Při úpravách s fiktivními bloky lze použít i fiktivní inverzní přenosy $1/Fx$.



Obr.100. Příklad úpravy obvodu při „křížených“ zpětných vazbách

Další způsob, jak zjednodušit složitější obvody, je na následujícím obrázku. Postupujeme podle jednoduchého pravidla: do čitatele výsledného přenosu zapíšeme přenos přímé cesty a do jmenovatele k jedničce připočteme (při kladné vazbě odečteme) přenosy všech zpětovazebních cest.



Obr.101. Rychlé určení výsledného přenosu

Výsledný přenos se může pak rovnou psát:
$$F = \frac{F_1 F_2}{1 - F_2 + F_1 F_2 F_3 - F_1 F_2 F_4}$$

Dodatek 3.

a) Hurwitzovo kritérium stability

Používá se tehdy, můžeme-li zjistit diferenciální rovnici uzavřeného regulačního obvodu.

Rovnice má obecný tvar:

$$\begin{aligned} & \dots + T_1 s_1 x''(t) + (T_1 s_0 + s_1 + k_1) x'(t) + (k_0 + s_0) x(t) + k_{-1} \int x(t) dt = \\ & = k_0 w(t) + k_{-1} \int w(t) dt + k_1 w'(t) + z(t) + T_1 z'(t) + T_2 z''(t) + \dots \end{aligned}$$

Pravou stranu rovnice tvoří veličiny, které působí na regulační obvod a jejichž změna je příčinou regulačního pochodu. Jsou to řízení a porucha. Tyto veličiny však nerozhodují o stabilitě obvodu, neboť nestabilní obvod bude kmitat i tehdy, budou-li řízení a poruchy rovny nule. Stabilita tedy závisí pouze na veličinách levé strany rovnice. Předpokládáme-li, že budící veličiny w a z jsou nulové, je pro stabilitu rozhodující rovnice:

$$\dots + T_1 s_1 x''(t) + (T_1 s_0 + s_1 + k_1) x'(t) + (k_0 + s_0) x(t) + k_{-1} \int x(t) dt = 0$$

popřípadě po zderivování:

$$\dots + T_1 s_1 x'''(t) + (T_1 s_0 + s_1 + k_1) x''(t) + (k_0 + s_0) x'(t) + k_{-1} x(t) = 0$$

Označíme-li jednotlivé konstanty $\dots a_3, a_2, a_1, a_0$ bude obecný tvar rovnice pro vyšetřování stability: $\dots + a_3 x'''(t) + a_2 x''(t) + a_1 x'(t) + a_0 x(t) = 0$

Tuto rovnici nazýváme charakteristickou, její levou stranu nazýváme charakteristický polynom.

Definice Hurwitzova kritéria: aby byl regulační obvod stabilní, musí být:

- všechny čitatele a_n až a_0 kladné a nenulové,
- všechny subdeterminanty (minory) Δ_{n-1} až Δ_1 hlavního determinantu Δ_n kladné

Hlavní determinant má tvar:

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_2 & a_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_4 & a_2 & a_0 \end{vmatrix}$$

Příklad: Regulační obvod je tvořen statickým regulovaným systémem se zpožděním druhého řádu a regulátorem PI se zpožděním prvního řádu. Potom rovnice systému, regulátoru a charakteristická rovnice regulačního obvodu budou ve tvaru:

$$\text{Systém: } s_2 x'' + s_1 x' + s_0 x = u \quad \text{Regulátor: } T_1 u' + u = -(k_0 x + k_{-1} \int x dt)$$

Rovnice regulačního obvodu (vycházíme z podmínky $u_s = -u_R$):

$$T_1 s_2 x^{IV} + (T_1 s_1 + s_2) x''' + (T_1 s_0 + s_1) x'' + (s_0 + k_0) x' + k_{-1} x = 0$$

$$\text{odtud: } a_4 x^{IV} + a_3 x''' + a_2 x'' + a_1 x' + a_0 x = 0$$

Potom má hlavní determinant tvar:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_3 & a_1 & 0 & 0 \\ a_4 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_4 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{první subdeterminant,} \\ \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_3 & a_1 & 0 \\ a_4 & a_2 & 0 \\ 0 & a_3 & a_1 \end{vmatrix} > 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{druhý subdeterminant,} \\ \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_3 & a_1 \\ a_4 & a_2 \end{vmatrix} > 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{třetí subdeterminant,} \\ \Delta_1 = |a_3| > 0 \end{array}$$

Podmínky stability jsou: - koeficienty: $a_4, a_3, a_2, a_1, a_0 > 0$,

- všechny subdeterminanty > 0 .

b) Michajlovo kritérium stability

Vychází z rovnice regulačního obvodu ve tvaru: $a_n \cdot x^{(n)} + \dots + a_3 \cdot x''' + a_2 \cdot x'' + a_1 \cdot x' + a_0 \cdot x = 0$

Do rovnice se za regulovanou veličinu dosadí harmonické kmity $x = x_0 e^{j\omega t}$, které by v obvodu vznikly na mezi stability. Postupným dosazením dostaneme rovnici:

$$[a_n(j\omega)^n + \dots + a_3(j\omega)^3 + a_2(j\omega)^2 + a_1(j\omega) + a_0] x_0 e^{j\omega t} = 0$$

Výraz v hranatých závorkách představuje tzv. Michajlův hodograf (Michajlovu křivku). Rozdělením tohoto výrazu na reálnou a imaginární část a volbou vhodných ω lze Michajlův hodograf zakreslit v komplexní rovině a formulovat kritérium stability takto: **obvod bude stabilní, nebude-li hodograf vycházet z počátku a při změně kmitočtu od 0 do ∞ musí proti směru hodinových ručiček projít tolika kvadranty, kolikátého stupně je její rovnice.**

Obr.102. Příklady Michajlových hodografů stabilních a nestabilních obvodů

c) Nyquistovo kritérium stability

Toto kritérium vzniklo v roce 1932 pro zesilovače se zpětnou vazbou. Teprve později s rozvojem kybernetiky se toto kritérium začalo používat i v teorii regulace. Používá se nejčastěji, protože má největší praktický význam. Pomocí něj nejen ověřujeme stabilitu, ale používáme ho i při návrhu regulačního obvodu, neboť dává informaci o tom, jak daleko se obvod nachází od meze stability. Hodí se i pro obvody s dopravním zpožděním a umožňuje zjistit stabilitu na základě změřených frekvenčních charakteristik otevřené smyčky. Nazývá se proto *frekvenční kritérium*.

Stačí, známe-li kmitočtovou charakteristiku otevřeného regulačního obvodu. Potom je formulace kritéria následující: **aby byl regulační obvod z uzavřeném stavu stabilní, musí bod (+1, j0) ležet nalevo od kmitočtové charakteristiky rozpojeného regulačního obvodu, díváme-li se po charakteristice ve směru rostoucího kmitočtu.**

Obr.103. Příklady kmitočtových charakteristik stabilních a nestabilních regulačních obvodů

d) Kúpfmüllerovo kritérium stability

Používá se tehdy, můžeme-li měřením nebo výpočtem zjistit přechodovou charakteristiku rozpojeného regulačního obvodu. Je velmi jednoduché a výhodné tam, kde nežádáme velkou přesnost.

Z přechodové charakteristiky rozpojeného obvodu změříme dobu průtahu T_u , dobu přechodu T_p a zesílení obvodu z_0 . Definice tohoto kritéria zní: **aby byl uzavřený regulační obvod stabilní, musí zesílení z_0 ležet ve stabilní oblasti diagramu. Zjednodušeně lze říct, že obvod**

bude stabilní, bude-li platit: $z_0 < \frac{T_p}{T_u}$

Kvalita regulačního pochodu

Kvalita neboli jakost regulačního pochodu je současně určena dvěma vlastnostmi: přesností a rychlostí regulace.

- a) Přesnost regulace:** Přesnost regulace zjišťujeme v ustáleném stavu (po ustálení přechodových dějů). Přesnost udáváme v absolutní hodnotě nebo jako relativní hodnotu trvalé odchylky v procentech.
- b) Rychlost přechodového děje:** Rychlost přechodového děje neboli dynamické vlastnosti regulačního obvodu posuzujeme podle přechodové charakteristiky. Vstupní jednotkový skok přivedeme jako řídicí veličinu w nebo jako poruchovou veličinu z .

Regulační pochody můžeme rozdělit podle průběhů na:

1. ideální s nekonečně kvalitním regulátorem,
2. kmitavý s přeregulováním (s překmity regulované veličiny),
3. kmitavý bez přeregulování,
4. nekmitavý (aperiodický, monotónní),
5. s nulovou kvalitou (bez regulace).

Obr.105. Odezva regulačního obvodu na skok: a) řídicí veličiny, b) poruchové veličiny

Volba typu regulátoru

Typ regulátoru má značný vliv na kvalitu regulačního pochodu. Regulátory se širokými možnostmi nastavení jednotlivých konstant (charakteristických veličin) sice umožní realizaci kvalitního regulačního pochodu, jsou však relativně drahé a složité a vyžadují kvalifikovanou obsluhu a údržbu. V některých případech ani použití drahých regulátorů nevede ke zlepšení kvality regulačního pochodu. Jednoduché, a tedy i levné regulátory se snadno seřizují, ale mají tu nevýhodu, že nejsou často schopny zvládnout danou regulační úlohu. Proto je volba vhodného typu regulátoru poměrně složitá.

Pro volbu typu regulátoru jsou rozhodující především požadavky na kvalitu regulačního pochodu. Musíme například vědět, zda můžeme připustit trvalou regulační odchylku. V případě, že nemůžeme trvalou odchylku připustit, volíme typ regulátoru obsahující integrační složku. Dalším hlediskem je rychlost regulace a samozřejmě nutnou podmínkou je stabilita regulačního obvodu.

Optimální seřízení (nastavení) regulátoru

Seřízení regulátoru spočívá ve vhodném nastavení jeho konstant (charakteristických veličin) p_p , T_i , T_d tak, aby získaný regulační pochod probíhal co nejpříznivěji. V praxi se můžeme setkat s různými metodami nastavení těchto konstant. V zásadě je můžeme rozdělit do dvou skupin, podle toho, zda pro nastavení konstant využíváme získané zkušenosti nebo zda konstanty regulátoru stanovíme na základě výpočtu.

Nastavení konstant regulátoru na základě zkušenosti

Tato metoda vychází ze zkušeností získaných při seřizování regulátorů v regulačních obvodech podobných zařízení. Pro seřizování pomocí této metody můžeme ve většině běžných případů využít doporučené hodnoty, které najdeme v odborné literatuře v tabulkách.

Nastavení konstant regulátoru na základě výpočtu

a) Neznáme-li charakteristické veličiny systému

V tomto případě můžeme použít například Ziegler-Nicholsovu metodu. Z-N metoda vychází ze dvou veličin, a to z kritického pásma proporcionality (pp_{kr}) a z kritické periody kmitů (T_{kr}). Tyto veličiny zjistíme následujícím postupem:

1. konstanty sdruženého regulátoru nastavíme tak, aby regulátor pracoval jako proporcionální (vyřadíme I složku $T_i \rightarrow \infty$, vyřadíme D složku $T_d = 0$),
2. na regulátoru nastavíme libovolné (velké) pásmo proporcionality,
3. v regulačním obvodu vyvoláme regulační pochod (nejlépe nepatrnou změnou žádané hodnoty) a sledujeme jeho průběh,
4. pásmo proporcionality měníme (pomalu zmenšujeme) a regulační pochod vyvoláváme do té doby, dokud nezískáme regulační pochod na hranici stability. Pásmo proporcionality, při kterém nastal na hranici stability, je kritické pásmo proporcionality (pp_{kr}) a perioda průběhu regulačního pochodu je kritická perioda (T_{kr}),
5. konstanty pro optimální nastavení regulátoru vypočítáme pomocí následující tabulky:

Regulátor	pp (%)	T_i (min)	T_d (min)
P	$pp = 2,0 pp_{kr}$	/	/
PI	$pp = 2,2 pp_{kr}$	$T_i = 0,85 T_{kr}$	/
PD	$pp = 1,06 pp_{kr}$	/	$T_d = 0,12 T_{kr}$
PID	$pp = 1,7 pp_{kr}$	$T_i = 0,50 T_{kr}$	$T_d = 0,12 T_{kr}$

b) Známe-li charakteristické veličiny systému

Konstanty pro nastavení regulátoru se potom vypočítají pomocí vztahů uvedených v odborné literatuře. Tato metoda dává v praxi velmi dobré výsledky. Navíc můžeme zvolit, zda regulační pochod má mít průběh periodický nebo aperiodický. Metoda respektuje způsob vyvolání regulačního pochodu. Jedinou nevýhodou je, že musíme přesně znát charakteristické veličiny regulovaného systému. Většinou tyto veličiny neumíme přesně vypočítat, a proto je zjišťujeme měřením na systému v provozu.

Dodatek 4.

Komunikace v AIŘS

Přenos informací (přenos dat) je jednou ze základních a důležitých funkcí řídicích systémů. Centrální jednotka řídicího systému musí mít pro zabezpečení své funkce neustálý přísun aktuálních informací z vnějšího prostředí o řízeném ději a výsledek rozhodnutí musí být včas dopraven na správné místo do řídicího děje. Řídicí systém dostává informace o ději svými vstupními obvody, výsledky řízení sděluje řízenému ději prostřednictvím výstupních obvodů.

Rozhraní (angl. interface): je soubor technických prostředků zabezpečujících přenos dat mezi vnějším prostředím a vnitřními obvody počítače.

Komunikační protokol: je soubor předem definovaných pravidel pomocí kterých probíhá přenos dat mezi zdrojem a příjemcem. Pro zdroj i příjemce dat musí platit shodná pravidla o formátu zprávy a o fyzikálním přenosu. Zdroj i příjemce musí mít v době přenosu společný jazyk a společný prostředek dorozumívání.

Přenosový (sdělovací) kanál: je množina technických a programových prostředků. V mikropočítačové technice jsou to např. sběrnice. Přenosový kanál dělíme podle účasti na přenosu informace na část datovou a řídicí. Počet bitů datové část přenosového kanálu přenášených současně nazýváme šířkou toku dat nebo šířkou přenosového kanálu.

Přenosová rychlost (propustnost kanálu): je počet bitů přenesených za sekundu (bit/s).

Modulační rychlost: převrácená hodnota nejkratšího časového intervalu, který je přenosový systém schopen přenést, bez ohledu na to, kolik úrovní signálu je v tomto časovém intervalu rozlišeno – jednotkou je **1 Bd** (bód), udává počet znaků za sekundu, pro binární (dvojúrovňový) signál je přenosová a modulační rychlost stejná.

Přenosový výkon: udává kolik bitů zprávy nebo informace je přeneseno za jednotku času, jednotkou je 1 bit/s, na rozdíl od přenosové rychlosti se zde uvažují pouze datové bity.

Datový spoj: je soubor technických prostředků zajišťující spojení mezi dvěma místy datového provozu.

Přenosová média:

Dvoulinka (pair) – vhodná pro analogový signál a jen pro velmi krátká digitální spojení,

Kroucená nestíněná dvoulinka (Unshielded Twisted Pair – UTP):

- nejlevnější a nejsnáze dostupné přenosové médium s vyšší odolností proti šumům,
- tvoří ji dva navzájem přesně geometricky zkroucené izolované vodiče, výsledné rušivé napětí je 200 x menší než u nezskroucené dvoulinky,

Kroucená stíněná dvoulinka (Shielded Twisted Pair – STP):

- zmenšuje rušení na 1/40 000 původní hodnoty, použití do vzdálenosti 1 km, přenosová rychlost řádově Mbit/s,

Koaxiální kabel:

- má dobré vlastnosti z hlediska útlumu na vysokých frekvencích,
- přenos dat rychlostí až desítky Mbit/s při přenosu v základním pásmu na vzdálenost 1 km,
- přenos po několika frekvenčních pásmech – až desítky Mbit/s na vzdálenost několik km,

Světlovodný kabel:

- přenos pomocí modulovaného světelného paprsku po optickém vlákne,
- přenos dat rychlostí až několik Gbit/s,
- **nevýhody:** vysoká cena, obtížné spojování vláken, drahé konektory, potřeba speciálních přijímačů a vysílačů,
- **výhody:** necitlivost vůči všem druhům rušení (s výjimkou mech. porušení), úplné elektrické oddělení vysílače od přijímače, nemožnost odposlechu, vysoká přenosová kapacita, nízké ztráty,

Infračervené záření:

- rozsáhlá šířka vysílacího pásma, vysoká rychlost přenosu – až 30 Mbit/s,

- přenášená informace se kóduje časovým odstupem jednotlivých informací.

Způsob přenosu bitů signálu kanálem:

Sériový přenos – jednotlivé bity jsou přenášeny postupně – sériově,

- použití na větší vzdálenosti – nižší náklady,
- přenosový výkon je při stejné přenosové rychlosti ve srovnání s paralelním přenosem nižší,

Paralelní přenos – všechny bity jedné kódové skupiny jsou vysílány a přenášeny současně,

- je využíván pro přenos na kratší vzdálenosti (vzájemné elmg rušení bitů),

Sérioparalelní přenos – kombinace obou předešlých způsobů přenosu,

- užívá se tam, kde je kódová skupina dlouhá a není k dispozici potřebný počet přenosových kanálů (3krát 4 bity = 12 bitů).

Způsob přenosu signálu v čase

Signál může být přenášen synchronně, asynchronně a arytmičky. Na přenos informací informačními kanály má vliv nedokonalost vedení. Vzniká útlum, zpoždění a na signál se superponují různé druhy rušivých signálů. Přenášený signál bude na přijímací straně všemi těmito vlivy zkreslen. Jestliže budeme předpokládat přenos diskrétní veličiny například v binárním tvaru, bude problematické rozpoznat začátek a konec jednotlivých bitů. Úkolem přijímací jednotky je zpracovat a převést přijatý signál do číselného tvaru, který by co nejvěrněji odpovídal vyslané zprávě. Mírou stupně kvality je přípustná hodnota chybovosti. Pro správnou funkci přijímací stanice a pro minimalizaci chybovosti příjmu je nutné, aby v přijímaném signálu byl určen začátek zprávy a jednotlivé bity byly analyzovány v optimálních intervalech.

Synchronní přenos:

- zajištěn vzájemnou synchronizací vysílače a přijímače. Synchronizaci vysílače a přijímače zajišťuje jediný generátor synchronizačních impulsů na straně zdroje dat.
- bity jsou vysílány a přijímány v konstantním rytmu, což umožňuje přijímací straně odstranit oddělovací znaky pro odlišení sousedních bitů a tím efektivní využití přenosového kanálu při vyšší přenosové rychlosti (př. disketová jednotka)

Asynchronní přenos:

- sled vysílaných a přijímaných impulsů není časově vázán,
- vyhodnocení log „0“ nebo „1“ určuje délka příslušné napěťové úrovně,
- při přenosu několika bitů stejné úrovně je obtížné jejich rozpoznání,
- použití jen v nejnutnějších případech – signalizace a některá měření

Arytmický přenos:

- **start stop systém**, je to kompromis mezi asynchronním a synchronním přenosem
- nepředpokládá se trvalý přenos, zdroj dat vyše nejprve jeden bit („rozběhový“, „start bit“), teprve potom následuje posloupnost vlastní informačních bitů a na závěr vyše jeden až dva ukončovací bity („stop bity“).

Zabezpečení informace

Při přenosu dat od zdroje k přijímači mohou různé zdroje rušení a poruch způsobit, že do užitečného signálu vnikají rušivé signály, které znehodnocují přenášené informace. Proto je nutné zabezpečit přenášené informace tak, aby vznik případné chyby byl buď zcela nebo ve velké většině znemožněn.

Kvalitu přenosu signálu můžeme ovlivnit již při návrhu a realizaci přenosové cesty.

Na kvalitu přenosu má vliv:

- volba trasy přenosu, druhu energie signálu, technologie, technických prostředků a volba kódu
- zálohování, kompenzace šumu, stínění, filtrace signálu, odstup signál-šum, pravidelná kontrola a údržba, informační zpětná vazba

Kódování: jedná se o velmi často používaný způsob zabezpečení informace. Řešení zabezpečení informace tímto způsobem je velmi rozsáhlé a vyžaduje složitější matematický aparát (teorie pravděpodobnosti, teorie detekčních a korekčních kódů atd.).

Počítačové (datové) sítě

Rozdělení z hlediska územní rozlehlosti:

LAN – Local Area Network,

- většinou pokrývají oblast jedné budovy nebo areál jedné samostatné instituce,
- vysoce výkonný transfer informací,

MAN – Metropolitan Area Network,

- pokrývají obvykle jednu městskou aglomeraci a jsou koncipovány jako rychlé sítě,
- navzájem spojující větší množství sítí LAN,
- příklad Pražská Akademická Síť,
- 25 Mb/s až 625 Mb/s,

WAN – Wide Area Network,

- spojují uživatele ve více městech,
- CESNET, Internet.

Pro řízení procesů v reálném čase lze ze známé nabídky, použít pouze průmyslové sběrnice, které jsou použitelné od spodní vrstvy až po management. Vývoj, management a řízení výroby spolu souvisí, proto se pro jejich provázání používají lokální sítě. Takové řešení umožňuje komunikaci i mezi vzdálenými pracovišti.

Nejnižší vrstvu pyramidu tvoří akční členy a senzory nutné pro řízení celého technologického řetězce výroby. Propojovací pole má za úkol každý senzor a každý akční člen propojit s jeho řídicím obvodem, který je znázorněn šikmými čarami mezi vrstvou senzorů a vrstvou měření a řízení. Grafické zúžení znázorňuje snížení počtu vyhodnocovacích obvodů proti počtu senzorů a akčních členů. Vyhodnocovací obvod může být multiplexorem připojen na několik senzorů nebo akčních členů. Při použití “inteligentních” senzorů může být propojovací pole realizováno průmyslovou sběrnicí.

Měření a řízení – vyhodnocuje naměřené hodnoty pro vyšší vrstvu

- zpracovává informace z vyšší vrstvy pro akční členy

Automatizace – provádí automatizované řízení celého technologického procesu.

Management – soustřeďuje důležité údaje technologického procesu, vyhodnocuje a optimalizuje výrobní proces z hlediska kvality výroby, ekonomické náročnosti provozu, úspory materiálu atd.

- změny se předávají vrstvě automatizace jako změny v nastavení parametrů procesu

Vývoj a konstrukce – management zadává úkoly pro vývoj a zpětné výsledky aplikuje do výroby

Administrativa – součástí každé činnosti (umístěna na vrcholu, i když není hlavní činností)

Topologie sítí

Topologií se rozumí vzájemný vztah a rozložení jednotlivých uzlů sítě. Na topologii sítě lze již pozorovat mnoho znaků a rysů, jež budou charakterizovat pozdější chování sítě – reakce sítě na výpadek stanice nebo vedení sítě, propustnost sítě, náklady atd. Dle topologie rozlišujeme sítě:

Sběrnice – jednotlivé uzly (stanice) připojeny na společné vedení (páteř),

- zpráva se z uzlu šíří oběma směry, ke všem uzlům v síti, vhodná pro síť LAN,
- **výhody** – rozšíření sítě, malé náklady spojů, přímé vysílání ze zdroje k cíli,
 - výpadek stanice nemá vliv na chod sítě, snadno lze rozšířit,
- **nevýhody** – krátká vzdálenost kabelů max 500 m,
 - při poruše sběrnice – porucha celé sítě,

Kruh – prvky sítě uspořádány do kruhu, vhodná pro síť LAN,

- **výhody**: lehce rozšiřitelná struktura, malý počet spojů, rychlý přenos,

Hvězdice – základem řídící počítač (server), stanice připojeny samostatnými kabely,

- všechny zprávy projdou řídícím počítačem, vhodná pro síť LAN, MAN,
- **výhody** – lehce rozšiřitelná struktura, odolnost proti závadám,
 - vysoká datová propustnost,
- **nevýhody**: výpadek serveru způsobí poruchu sítě, vysoké náklady na rozšiřování sítě,

Strom – odpovídá sběrnicové topologii s rozdílem použití rozbočovačů, používá ARCNET,

- stanice spojeny pomocí zařízení nazvaných „hub“ – rozbočovač signálu,
- **výhody**: relativně laciné, snadno rozšiřitelné,
- **nevýhody**: mohou vznikat fronty na vedení,

Polygon – každý uzel propojen se všemi ostatními, nejodolnější proti poruchám na vedení,

- nejnákladnější, použití u WAN, a to jen u nejzatíženějších a nejdůležitějších oblastí.

Sítě jsou velmi často budovány hybridním způsobem – části s různou topologií.

Technické prostředky sítí

Pro připojení stanic na větší vzdálenosti je třeba použít přídavné aktivní prvky. Patří k nim: zesilovač, převodník, rozbočovač, most, směrovač a brána. Tato zařízení se nezabývají procházející informací. Pracují ve fyzické vrstvě.

Zesilovač, tvarovač, opakovací (repeater): nejjednodušší aktivní prvek v síti, tvaruje a zesiluje signál, slouží ke zvětšení rozsahu sítě, malá krabička s dvěma shodnými konektory, se zdrojem energie, vlastním tvarovačem, pomocnými obvody atd.

Převodníky (convertor): signál nejen zesilují, ale převádějí z jednoho typu kabelu na jiný, dva odlišné konektory, příklad: převodník mezi koaxiálním a optickým kabelem (Ethernet),

Rozbočovač (hub): rozbočování signálu – větvení sítě – síť se stromovou strukturou,

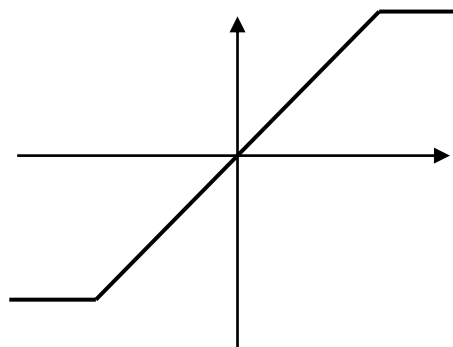
Most (bridge): slouží ke vzájemnému spojení dvou nebo více kabelových segmentů sítě a k přenosu paketů dat mezi nimi – spojení např. ARCnet s Ethernet, může rozeznávat jistou část adresy procházejících paketů a filtrovat pakety,

Směrovač (router): slouží obdobně jako most, má dokonalejší zpracování adres paketů, shromažďuje informace o všech připojených sítích, o způsobu jejich propojení a o všech pracujících směrovačích a serverech, je schopen určit každému procházejícímu paketu jeho konkrétní cestu tak, aby vedly nejkratší cestou k cíli – „směrování paketů“ (paket routing), používá pro směrování datové informace v síti směrovací tabulky, které mohou být pevně naprogramovány, nebo si je router sestavuje sám ze statistických dat. O statistická data se starají směrovací protokoly, které v síti probíhají samostatně v routerech. Shromažďují informace o síti a síťové topologii a předávají data směrovači pro vyhodnocení. Tyto funkce jsou součástí routerů a dodávají se přímo od výrobce.

Brána (gateway): pracuje na nejvyšší úrovni, připojuje síť LAN na cizí prostředí, dovoluje komunikovat mezi sítěmi s různými protokoly např. propojení navzájem nekompatibilních videosystémů, spojení telefonní sítě a sítě Internet (komprese hlasové informace, převod na paketový způsob přenosu).

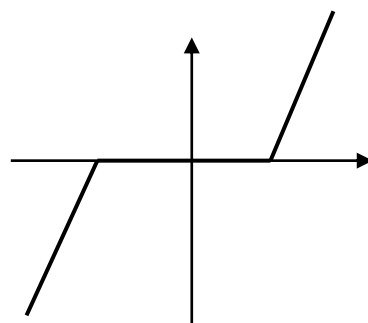
Dodatek 5.

Nelinearita typu omezení: někdy je tato nelinearita označována jako nelinearita typu *nasycení*. V rozmezí vstupních signálů $-x_{10}$ a $+x_{10}$ se člen chová jako lineární. Při překročení tohoto pásma linearity (proporcionality) se nelinearita projevuje tak, že při dalším zvyšování vstupního signálu x_1 se amplituda výstupního signálu x_2 již nezvětšuje a je omezena na hodnotu x_{20} . Omezení se vyskytuje u regulátorů, zesilovačů, záměrně se využívá u tvarovačů průběhu signálu atd.



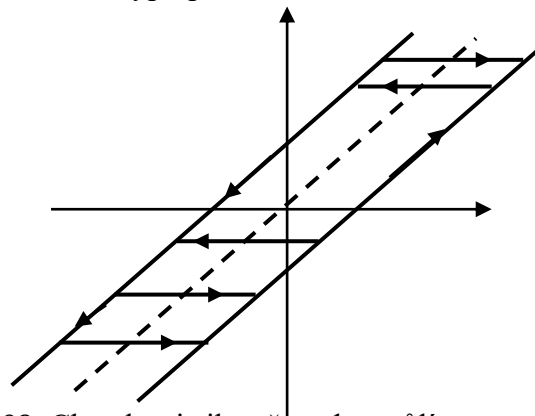
Obr.107. Nelinearita typu omezení

Nelinearita typu pásmo necitlivosti: tato nelinearita se vyskytuje všude, kde vzniká tření. Projevuje se u snímačů s pohyblivým ústrojím, u servomotorů, u zesilovačů, u regulátorů apod. Někdy může mít příznivý vliv (např. stabilita regulátorů) a proto se zavádí úmyslně.



Obr.108. Nelinearita typu pásmo necitlivosti

Nelinearita typu vůle v převodech: nelinearita se vyskytuje u ozubených převodů. Vstupním signálem je úhel natočení primárního kola, výstupním signálem je úhel natočení sekundárního kola. Ze statické charakteristiky je zřejmé, že vůle v převodech je zvláštním případem necitlivosti, která se projevuje vždy při změně smyslu vstupní veličiny. Velikost výstupní veličiny není jednoznačně určena velikostí vstupní veličiny a je třeba uvažovat i smysl otáčení ozubeného kola.



Obr.109. Charakteristika převodu s vůlí

Nelinearita typu hystereze: velikost výstupní veličiny je určena opět dvojznačně a závisí nejen na velikosti vstupní veličiny, ale i na smyslu její změny. Na rozdíl od vůle v převodech zde dochází k omezení (nasycení) velikosti výstupní veličiny.

Nejznámějšími typy této nelinearity jsou hysterezní křivka feromagnetického materiálu a hysterezní charakteristika relé.

Nelinearita typu zbytkový signál: typická pro opotřeбенé ventily s netěsností v uzavřeném stavu.

Některé technologie požadují v klidovém stavu požadovaný minimální průtok.

Nelinearita typu bipolární relé: vyznačuje se skokovou změnou stavu s hysterezí mezi bodem sepnutí a bodem rozepnutí. Má charakteristiku souměrnou kolem osy x_2 .

Nelinearita typu polarizované relé: pracuje podobně jako bipolární relé, ale má 3 stavy, které rozlišují polaritu proudu cívkou relé.

Nelinearita obecná: většina technických zařízení má obecně nelineární charakteristiku. Tvoří ji často průběhy podobné exponenciálním, logaritmickým nebo goniometrickým funkcím. Matematický popis nelineární funkce je většinou ve tvaru polynomu vyššího řádu.