



**SPŠ a VOŠ
Chomutov**



**Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Chomutov,
Školní 50, 430 01 Chomutov, příspěvková organizace**

AUTOMATIZACE

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, Chomutov, Školní 50, příspěvková organizace
Školní 1060/50, 430 01 Chomutov
Telefon 474 628992 ředitel/fax 474 627497, 724346488 e-mail: prumyslovka@spsc.v.cz, lacina@spsc.v.cz
IČO: 47796006 č.ú. 2110740287/0100 KB Chomutov

Obsah:

1. ÚVOD	4
1.1 Historický vývoj automatizace	4
1.2 Základní pojmy	6
1.3 Důvody automatizace	7
1.4 Přínosy automatizace	8
1.5 Trendy automatizace	8
2. LOGICKÉ ŘÍZENÍ	10
2.1 Logická algebra (Booleova algebra)	10
2.2 Kombinační obvody	11
2.2.1 Popis kombinačních logických funkcí	11
2.2.2 Základní logické funkce	12
2.2.3 Zjednodušování logických funkcí – minimalizace	14
2.2.4 Realizace logických funkcí	15
2.3 Sekvenční obvody	24
2.3.1 Popis sekvenčních obvodů	24
2.3.2 Klopné obvody	26
2.3.3 Registry	28
2.3.4 Čítače	28
3. PNEUMATIKA – NÁVRH PNEUMATICKÉHO ROZVODU	30
3.1 Výpočet spotřeby vzduchu	30
3.2 Výpočet síly vyvozené na pístu	31
3.3 Určení objemu vzdušníku	31
3.4 Dimenzování potrubí	33
3.5 Návrh kompresoru	35
3.6 Zařízení pro úpravu vzduchu	36
3.7 Provedení a umístění potrubí rozvodné sítě	38
3.8 Parametry rozváděčů	38
3.9 Literatura	39
3.10 Lineární řízení pneumatických obvodů	40
3.11 Nelineární řízení pneumatických obvodů	41
3.12 Lineární řízení elektropneumatických obvodů	43
3.13 Nelineární řízení elektropneumatických obvodů	44
3.14 Spojení dvou ovládacích obvodů do jednoho	45
4. PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY	47
4.1 Technické vybavení programovatelných automatů	47
4.2 Programové vybavení programovatelných automatů	51
4.2.1 Vykonávání programu PLC	52
4.2.2 Tvorba uživatelských programů	52
4.2.3 Programovací jazyky PLC	53
4.3 Diagnostika řízení	56
4.3.1 Vnější diagnostické možnosti řízení	56
4.3.2 Vnitřní diagnostické možnosti	57
4.3.3 Diagnostika PLC	58
4.4 Návrh obvodu s PLC	59
4.4.1 Úvodní projekt	61
4.4.2 Prováděcí projekt	61
5. PROSTŘEDKY AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ	63
5.1 Vlastnosti a rozdělení	63
5.1.1 Statické vlastnosti prostředků – statická charakteristika	63
5.1.2 Dynamické vlastnosti prostředků	65
5.1.3 Rozdělení prostředků	65

5.2 Prvky pro získání informace – senzory	67
5.2.1 Senzory teploty.....	72
5.2.2 Snímače mechanických veličin	77
5.2.3 Snímače průtoku.....	89
5.2.4 Snímače hladiny	91
5.2.5 Snímače fyzikálních a chemických vlastností kapalin a plynů	93
5.2.6 Snímače optických veličin.	94
5.2.7 Snímače magnetických veličin.....	94
5.3 Prostředky pro přenos a úpravu signálu.	95
5.3.1 Prostředky pro přenos signálu.	95
5.3.2 Signálové a mezisystémové převodníky	97
5.3.3 Analogově-číslicové převodníky	97
5.3.4 Číslicově-analogové převodníky	98
5.4 Prvky pro zpracování informace	98
5.4.1. Zesilovače	98
5.4.2. Členy pro logické operace.....	99
5.5 Akční členy	100
5.5.1 Pohony.....	100
5.5.2 Regulační orgány	107

**Vzdělání není cíl, ale cesta,
která ti každý den otevírá nové dveře.**

UI

Tato publikace je určena výhradně pro potřeby SPŠ a VOŠ Chomutov

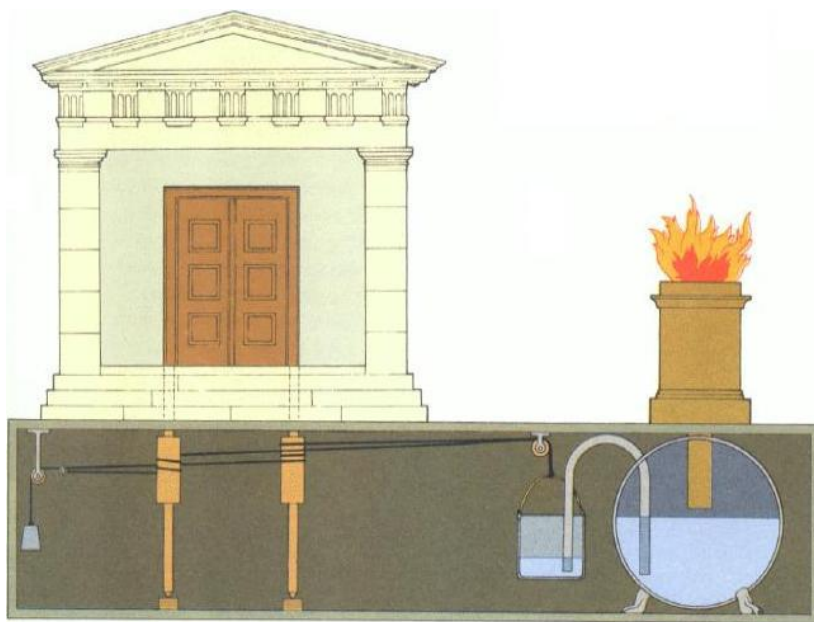
1. ÚVOD

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 částečné nebo úplné odstranění člověka z procesů, které chceme automatizovat. Základní náplní automatizace je **řízení** okolního technického světa, které se děje dvěma způsoby: **ovládáním a regulací**. Ovládání je charakteristické tím že není zpětná vazba o stavu ovládaného zařízení. Regulace je v principu činnost, kdy se udržuje nějaká fyzikální veličina na určité hodnotě (ta může být konstantní, nebo se může v čase žádoucím způsobem měnit).

Automatizace je jedním z nejdynamičtějších technických oborů. Je to mezioborová disciplína, která využívá nejmodernější součástky a přebírá nejnovější výsledky (informace, postupy a výsledky výzkumu i standardní výrobky) z různých oborů, především z elektroniky a výpočetní techniky, 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.

1.1 Historický vývoj automatizace



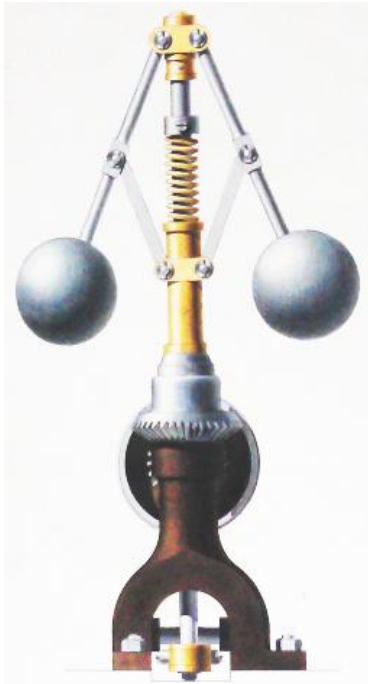
Počátky automatizace nalézáme již v starověku. Těžkou práci při zavlažování polí a zahrad v Mezopotámii ulehčovala a tím mechanizovala vodní kola zvedající vodu z řeky do zavlažovacích akvaduktů. Zavlažovací kola byla poháněna proudící vodou na uměle vybudovaných jezích.

V antickém Řecku vznikaly první umělé zázraky: vrata chrámu se sama otvírala (viz obr. vlevo), kovoví ptáci zpívali a kovové sochy postříkávaly věřící posvátnou vodou. Všechny tyto „zázraky“ využívaly jednoduché fyzikální zákony

gravitace, tlaku tekutin, roztažnosti páry a teplého vzduchu v zařízení, které zkonstruoval alexandrijský učenec Herón. Zařízení pracovala na základě teplovzdušného motoru, jehož princip popsal Herón ve svém spisu „Pneumatika“.

Ve starověku spolu se vznikem prvních jednoduchých strojů a zařízení vznikaly 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 jejichž autory byli především hodináři. Vznikali hlavně různé mechanické hračky, orloje a zvonkohry. Tyto automaty již obsahovaly jednoduché programovací zařízení v podobě válce s kolíčky, kotouče s otvory, zářezy apod.

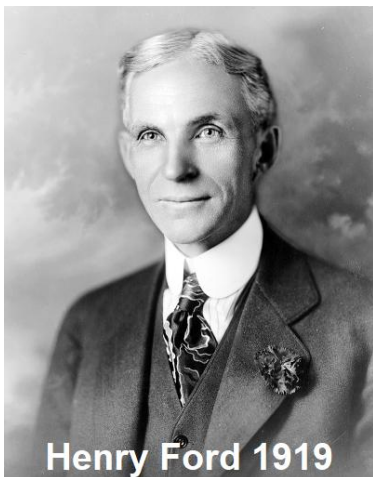
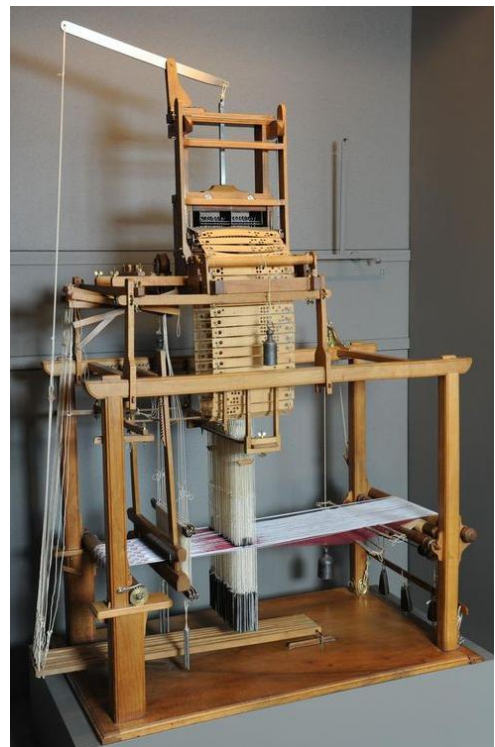


S nástupem kapitalismu rostla poptávka po zařízeních, která by především zvyšovala produktivitu práce: Wattův regulátor otáček parního stroje (viz obrázek vlevo), který byl patentován r. 1775, a který je z hlediska automatizace jeden z nejdůležitějších patentů té doby a historicky první samočinný odstředivý regulátor (angl. governor, český odborný pojem: roztěžník) otáček parního stroje, dále také Jacquardův tkalcovský stav (viz obrázek níže), u kterého bylo již kolem roku 1803 možné „naprogramovat“ vzor látky pomocí pásu karet s otvory, které procházely „čtecím zařízením“. Byl to předchůdce 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.

V první polovině 20. století se tak symbolem automatizace stávaly centralizované veliny (např. u vod-

ních a parních elektráren), automatizované výrobní linky (Henry Ford 1903 výroba automobilů – vrcholná mechanizace výroby), 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 více 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.



Za 2. 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 sestavení prvních samočinných počítačů. Projekt prvního realizovaného počítače vznikl již roku 1933 v Německu (Konrad Zuse a jeho mechanicko-reléový počítač Z1). Myšlenkovými otci prvních počítačů byli osobnosti jako Charles Babbage, John von Neumann, Alan Turing a další. První funkční počítač známý pod názvem MARK I (postaven roku 1937) byl reléový. Jeho hlavní činností byl výpočet dělostřeleckých tabulek. Později byl postaven elektronkový počítač ENIAC (1946), který

byl použit i pro výpočty vodíkové bomby.

Do počátku éry samočinných počítačů stavěl člověk stroje, které znásobovaly jeho sílu, rychlost, vidění a automatizovaly jeho fyzickou práci (mechanizace). Nyní však dovedl postavit stroj, který do určité míry dovedl rychle napodobit duševní práci člověka, a mohl jej využít k realizaci složitých řídicích systémů (úplná automatizace). Počítače 2. a 3. generace, které již využívaly tranzistory a integrované obvody, byly používány pro vědeckotechnické výpočty, hro-

madné 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 20. století 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. Najdeme je jak v tzv. bílé technice (žehličky, pračky, digestoře, mikrovlnné trouby, myčky nádobí, kuchyňské roboty), tak i v tzv. černé technice (hudební centra, tunery, CD a DVD přehrávače, TV přijímače atd.).

1.2 Základní pojmy

Pro pochopení následujících kapitol je nutné vysvětlit následující pojmy:

stroj – mechanické zařízení vyrobené člověkem, jímž se nahrazuje, usnadňuje, zrychluje a zpřesňuje lidská práce,

mechanizace – proces kdy se využívá strojů k odstranění namáhavé a opakující se fyzické práce,

komplexní mechanizace – úplná mechanizace určitého procesu,

automat – zařízení, které vykonává samo předem stanovené úkony,

automatizace – proces, kdy technická zařízení využíváme k nahrazení nejen fyzické, ale zejména k nahrazení duševní řídicí činnosti lidí,

částečná automatizace – automatizace dílčí, kdy jsou automatizovány jen vybrané procesy a funkce, přičemž ostatní části procesu zůstávají neautomatizovány,

komplexní automatizace – plně mechanizovaný proces, který je zcela automaticky řízen a člověk přebírá funkce strategického řízení,

integrováný obvod (čip, chip) - polovodičová součástka s vysokým stupněm integrace aktivních a pasivních prvků na malé ploše křemíkové destičky, vložená do ochranného pouzdra,

mikroprocesor – integrováný obvod, slučující v sobě řadič, aritmeticko-logickou jednotku, paměťové registry a některé další vybrané funkční bloky číslicového mikropočítače,

algoritmus – tento pojem je podle slovníku *American Heriatage Dictionary* definován jako „postup při řešení problémů, obzvláště zavedený a opakovatelný výpočetní postup s konečným počtem kroků pro řešení nějakého problému“. Slovo „algoritmus“ je odvozeno od jména perského matematika Abou Abd Allah Muhammada Ibn Músá al-Chwarizmiho (doslova „Otec Abdulláha, Mohameda, syn Mojžíšův, pocházející z města Chórézm“), jenž roku 825 v Bagdádu napsal důležitou matematickou práci *Kitab al-jabr wa'l-mugabalah* (přeložena do latiny ve 12. stol. pod názvem „Liber algebrae et almucabola“, jméno autora bylo překládáno jako „Algorismi“). Tento učenec prakticky vytvořil systém dodnes používaných arabských číslic a základy algebry. (Pozn.: seznámil evropské učence s pojmem matematické 0 a poziční soustavou. Kromě jiného určil i délku rovníku na 40 700 km a pro neznámou veličinu používal znak X.)

algebra - toto slovo je odvozeno ze spojení *al-jabr* části názvu výše uvedeného matematického textu. Sám Al-Chwarizmi vypracoval metody řešení lineárních a kvadratických rovnic. Algebra je věda, která učí, jak vypočítat neznámé veličiny pomocí veličin známých. Jako algebra se chápe ucelený matematický systém s definicemi proměnných, operátorů a operací. Nejznámější je lineární algebra a také logická algebra (Booleova). Existuje množství dalších – pro fuzzy logiku existuje více algeber např. Lukasziewiczova, algebra T a S norem atd.,

řídící činnost – činnost člověka spojená především s myšlením: výpočtářské práce, logické usuzování, analyzování, rozhodování, zapamatování a vyhledávání, tvorba a realizace složitých postupů – tyto činnosti se vyskytují při spouštění a řízení strojů, hledání a nastavování optimálních pracovních a provozních podmínek, odstavení strojů, řešení havarijních situací, technická diagnostika strojů, signalizace funkčních a provozních stavů, dálkové ovládání strojů, plánování výroby atd.,

řízení – posloupnost předem stanovených zásahů prováděných řídicí soustavou do řízené soustavy za účelem dosažení žádaného cíle,

automatické řízení – samočinné působení určitými pokyny podle vloženého programu na řízenou soustavu za účelem dosažení určitého cíle,

logické řízení – řízení, při němž se v řídicí smyčce vyskytují jen číslicové signály (nula-jedna). Algoritmus řízení lze z větší části popsat logickými funkcemi,

počítač – zařízení provádějící samočinně matematické operace podle vloženého programu,

kybernetika – věda zabývající se obecnými zákonitostmi řízení,

robot – technický systém, který je schopný imitovat nebo nahrazovat mobilní, lokomoční a intelektuální funkce člověka. Jeho základním rysem je cílová činnost bez přímé účasti operátora při řízení. Průmyslovým robotem se obvykle rozumí programovatelné vícefunkční technické zařízení, navržené pro manipulační nebo technologické operace pomocí variabilních programovatelných pohybů, k uskutečnění měnících se úloh.

umělá inteligence (UI) – souhrnný název pro strojové napodobení inteligentního jednání lidí, (angl. zkratka AI = artificial intelligence), především složek inteligence jako je vnímání informací o prostředí, zapamatování informací, třídění informací, jejich analýza (analýza obrazu – rozpoznání objektů, jejich parametry a souřadnice v obraze) a rozhodování,

návrh automatizace – popsání způsob řešení určitého automatizovaného procesu včetně provedení výběru vhodných automatizačních prostředků,

projekt automatizace – proces postupných návrhových, plánovacích a realizačních kroků, které ze stávajícího stavu vedou k požadovanému rozsahu automatizace,

automatizační prostředek – technické zařízení nebo programový prostředek, který je možno využít při automatizaci. Automatizační prostředky rozdělujeme podle různých hledisek. Nejdůležitější členění je podle druhu zpracované energie (elektrické, pneumatické, hydraulické, optické, mechanické) a podle vykonávané funkce (čidla, převodníky, akční členy, regulátory, řídicí počítače, průmyslové komunikační sítě atd.).

1.3 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,
- nahrazení člověka z důvodu vyloučení jeho chyb (autopilot, zabezpečovací zařízení ČD),
- odstranění fyzické námahy a zdravotně škodlivých vlivů,
- náhrada člověka z hlediska rychlosti, přesnosti a množství jeho reakcí,
- sledování velkého počtu veličin a parametrů a řízení množství procesů (elektrárny, chemičky, doly, navigace, počítání osob, nápojové automaty),
- lepší jakost výroby (rovnoměrné stříkání barev na povrch karoserie, přesné svary atd.),
- není možná přítomnost člověka (kosmické sondy, podmořský výzkum, regulace tepu),

b) automatizace z ekonomického hlediska:

- snížení výrobních nákladů (mzdy, materiál, energie),
- snížení režijních nákladů (menší plochy pro technologii, sklady, kanceláře),
- zvýšení produktivity práce a objemu výroby,
- zkrácení průběžné doby vývoje a výroby,
- pružná reakce na přání zákazníka,

- nadstandardní jakost,

c) jiné důvody automatizace:

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

1.4 Přínosy automatizace

Zavedení automatizace přináší:

zkrácení doby výroby a možnost rychle reagovat na požadavky zákazníka, podstatné zvýšení jakosti:

- odstranění lidských zásahů do výrobního procesu zvyšuje jeho průměrnou kvalitu, spolehlivost a přesnost,

udržení vysoké produkce (práce 24/7/365),

snížení výrobních nákladů díky:

- lepší organizaci výrobních procesů,
- úsporám materiálu,
- úsporám skladovacích a výrobních ploch,
- snížení nákladů na nekvalitní výrobu,
- úsporám energií všeho druhu v důsledku jejich přesného měření a regulace,
- odstranění drahé lidské práce,
- snížení dodatečných mzdových nákladů (přesčasů a práce o svátcích),
- využití levných sazeb elektrické energie (levné tarify – noční proud),

zvýšení stability výrobního procesu díky:

- 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 celé výroby – vizualizace.

1.5 Trendy automatizace

Automatizace je oborem, který se velmi rychle vyvíjí, a proto je obtížné stanovit trendy jejího vývoje. Pracuje se s představou kvalifikovaného odhadu nejbližšího vývoje. Tyto předpokládané trendy je nutné 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.

Stále více se automatizace prosazuje v nevýrobních procesech:

malá energetika:

- malé vodní elektrárny, větrné elektrárny, využití solární energie

technika budov:

- elektroinstalace, světelná, tepelná a chladicí technika, vzduchotechnika, klimatizace,
- řízení netradičních a obnovitelných energetických zdrojů,
- vodní hospodářství a čistírny odpadních vod,
- regulátory vytápění bytů a rodinných domků,

logistika: skladové hospodářství, manipulační a dopravní systémy,

komfort: výtahy, automatické dveře,

bezpečnost:

- přístupové a sledovací systémy,
- zabezpečovací technika, technická diagnostika,
- systémy dálkového ovládání,
- automatické měřicí a monitorovací systémy,
- detekce a identifikace osob a vozidel,

domácnost a spotřební výrobky:

- měření spotřeby, elektrospotřebiče,
- automatické pračky a myčky,
- audiovizuální přístroje a hračky,

automobily: asistenti řízení a sledování pohonu, provozu a řidiče,

prodejní automaty: teplé a studené nápoje, trvanlivé potraviny atd.

Na rozvoji automatizace mají velký podíl následující trendy:

vliv mikroelektroniky:

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

komunikace:

- 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 dalších letech se očekává nárůst počtu různých zařízení a systémů připojených na internet. Automatizační prostředky se přisouvají co nejlíže k řízené soustavě a řízenému procesu a s centrálním řídicím systémem, mezi sebou navzájem a s ostatními částmi automatizovaného systému komunikují prostřednictvím počítačové nebo jiné sítě,

využití automatizace pro člověka:

- monitorování zdraví člověka (měření tlaku, teploty, tepu atd.) s následným hlášením zjištěných mimořádných odchylek,
- použití domácích robotů – úklid, 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:

- fuzzy řízení,
- neuronové sítě,
- biomechanické systémy,

úspory energií a ekologie:

- úspory energií zkvalitněním regulace, alternativní zdroje energie,
- akumulace energie, využití levnějších tarifů.

2. LOGICKÉ ŘÍZENÍ

2.1 Logická algebra (Booleova algebra)

Logickou algebru vytvořil irský matematik George Boole (1815-1864), který ji roku 1847 publikoval ve spisu „Matematická analýza logiky“ (originál: The Mathematical Analysis of Logic: Being an Essay towards a Calculus of Deductive Reasoning, Cambridge: Macmillan, 1847). Booleovu algebru lze velmi snadno použít k řešení mnoha úloh v technické praxi. Booleova algebra je postavena na slovním výroku.

Výrok je tvrzení, o kterém je možné rozhodnout, zda platí nebo neplatí (je možné určit jeho platnost). Platnost výroku udává logická proměnná.

Logická proměnná se označuje písmenem a její hodnota vyjadřuje platnost výroku a nabývá pouze dvou hodnot:

pravda (true, high, H, log. 1, +5 V), nebo **nepravda** (false, low, L, log. 0, 0 V)

V technické praxi to například znamená:

- obvod je zapnut nebo vypnut,
- napětí nabývá hodnot 0 V nebo 24 V (0 V nebo 230 V),
- tlak má hodnotu 0 barrů nebo 5 barrů (0 kPa nebo 100 kPa),

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

Logické spojky dovolují vytvářet z jednoduchých výroků výroky složené:

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

Zákony Booleovy algebry:

Zákon	Algebraický vztah	Realizace
komutativní	$a + b = b + a$ $a \cdot b = b \cdot a$	
asociativní	$a + (b + c) = (a + b) + c$ $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$	
distributivní	$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$ $a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c)$	
vyloučeního třetího	$a + \bar{a} = 1$ $a \cdot \bar{a} = 0$	
agresivity 1	$a + 1 = 1$	
agresivity 0	$a \cdot 0 = 0$	
neutrality 0	$a + 0 = a$	
neutrality 1	$a \cdot 1 = a$	

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

absorpce negace $a + \bar{a} \cdot b = a + b$

inverze $\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$
 (DeMorganův) $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$

dvojitá negace $\text{not}(\text{not}(a))=a$

2.2 Kombinační obvody

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

2.2.1 Popis kombinačních logických funkcí

a) slovně

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

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

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

b) vzorcem (logickým výrazem)

Pro vyjádření logické funkce vzorcem se používají pro zápis logických spojek dohodnuté symboly: $+ \cdot \leftrightarrow \Rightarrow$ atd. $Y = A \cdot B \quad Z = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$

c) pravdivostní tabulkou (tabulkou stavů)

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

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

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

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

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

Při vyplňování tabulky se postupuje tak, aby číslo řádku (začínáme 0-tým řádkem) odpovídalo dvojkovému číslu složeného z hodnot vstupních proměnných v každém řádku. Postupuje se takto:

- začne se vyplňovat pravý krajní sloupec od shora čísly 01010101...01,
- do vedlejšího sloupce opět od shora píšeme 0011001100...110011,
- do dalšího vedlejšího píšeme 0000111100001111...00001111.

To znamená, že pro 4 vstupní proměnné je v 5. řádku (začali jsme počítat od 0, takže je to 6. řádek od shora) tato kombinace čísel 0101 což odpovídá číslu 5 vyjádřenému dvojkově. Ve 14. řádku je pak kombinace 1101 tedy dvojkově vyjádřené číslo 13.

d) seznamem indexů

Je to uvedení binárně kódovaných čísel řádků, pro něž nabývá funkce hodnoty 1. Logická funkce znázorněná v následující tabulce (u K. mapy pro 2 proměnné), by se vyjádřila $\Sigma Y(A, B) = 1,2$ nebo jen stručně $Y(1, 2) = 1$. Pro funkce s převažujícím počtem jedniček je výhodné (úspornější) uvést čísla řádků obsahující 0. Pro náš příklad: $Y(0, 3) = 0$.

e) Karnaughovou mapou (K-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. Zvětšení počtu proměnných o jednu znamená zdvojnásobení velikosti mapy. Zdvojnásobení se provádí zrcadlení původní mapy a přidáním nové proměnné nad novou část. O každém políčku můžeme říci, zda patří dané proměnné nebo její negaci. Karnaughovu mapu lze velmi výhodně využít při zjednodušování logických výrazů.

- **Karnaughova mapa pro 2 proměnné**

Hodnoty funkce Y zapíšeme do políček adresovaných kombinací vstupních signálů a a b . Označování map může být provedeno 2 způsoby, hodnotu adres políček je možné znázornit buď popisem signálů, binární kombinací nebo dekadickou hodnotou (první 3 mapy).

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

		<u>a</u>	
		$\bar{a}b$	ab
b	0	00	10
b	1	01	11

		<u>a</u>	
		0	1
b	0	0	1
b	1	2	3

		<u>a</u>	
		0	1
b	0	0	1
b	1	1	0

- **Karnaughova mapa pro 3 proměnné**

		<u>ba</u>			
		00	01	11	10
c	0	0	1	3	2
c	1	4	5	7	6

		<u>a b</u>			
		0	1	3	2
c	0	0	1	3	2
c	1	4	5	7	6

- **Karnaughova mapa pro 4 proměnné**

		<u>ba</u>			
		00	01	11	10
dc	00	0	1	3	2
dc	01	4	5	7	6
dc	11	12	13	15	14
dc	10	8	9	11	10

		<u>a b</u>			
		0	1	3	2
c	0	0	1	3	2
c	1	4	5	7	6
d	0	12	13	15	14
d	1	8	9	11	10

2.2.2 Základní logické funkce

Typ logické funkce určuje výslednou hodnotu z kombinace vstupních hodnot. Funkce může být realizována různě: elektrickými kontakty, logickými integrovanými obvody, programovatelnými automaty, pneumatickými členy, hydraulickými členy, mechanickými prvky nebo pomocí software na PC. Výsledná hodnota funkce samozřejmě nezáleží na způsobu realizace.

Negace – inverze

Je nejjednodušší funkcí, logický člen negace má jeden vstup a jeden výstup. Hodnota výstupu je vždy opačná než hodnota vstupu. Integrovaný obvod typu 7404 obsahuje 6 invertorů.

zkratka: NOT, INV

označení: \bar{A} , $NOT(A)$

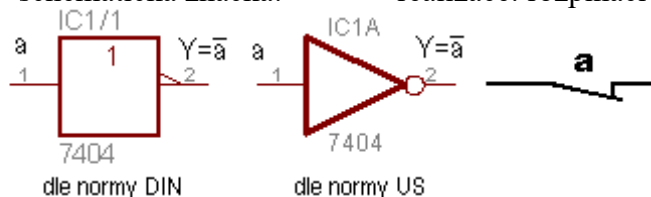
spojka: neplatí, že

pravdivostní tabulka:

a	Y
0	1
1	0

schematická značka:

realizace: rozpínací kontakt



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. Integrovaný obvod typu 7408 obsahuje 4 dvouvstupová hradla AND.

zkratka: AND

označení: $A \cdot B$, $A \wedge B$

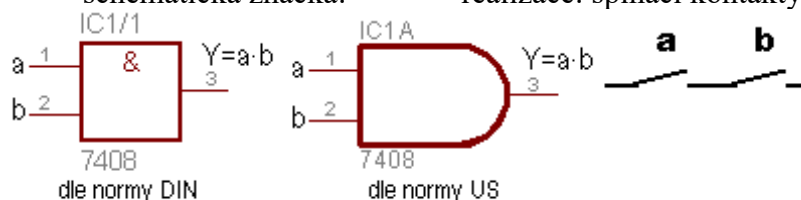
spojka: a, i, současně

pravdivostní tabulka:

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

schematická značka:

realizace: spínací kontakty v sérii



Logický součet, disjunkce

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

zkratka: OR

označení: $A + B$, $A \vee B$

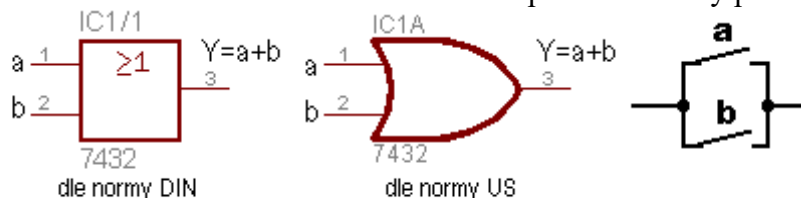
spojka: nebo (alespoň jeden)

pravdivostní tabulka:

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

schematická značka:

realizace: spínací kontakty paralelně



Integrovaný obvod typu 7432 obsahuje 4 dvouvstupová hradla OR.

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: $\overline{A \cdot B}$

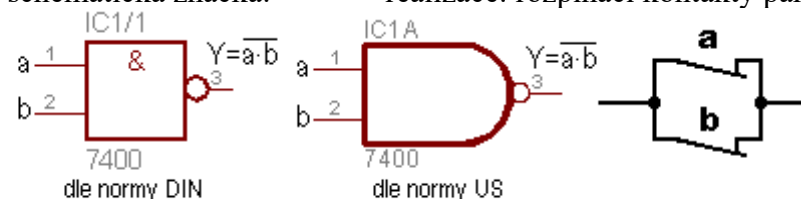
spojka: není $\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$

pravdivostní tabulka:

schematická značka:

realizace: rozpínací kontakty paralelně

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



Integrovaný obvod typu 7400 obsahuje 4 dvouvstupová hradla NAND.

Negovaný logický součet, Pierceova funkce

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

zkratka: NOR

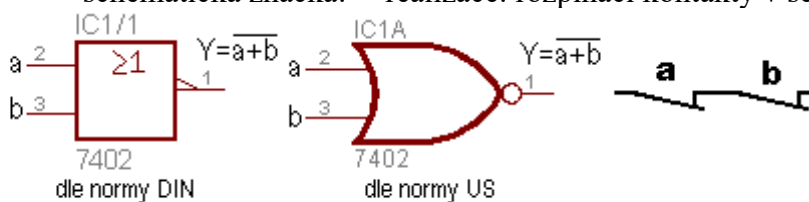
označení: $\overline{A+B}$

spojka: ani

$\overline{A+B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$

pravdivostní tabulka:

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



Integrovaný obvod typu 7402 obsahuje 4 dvouvstupová hradla NOR.

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

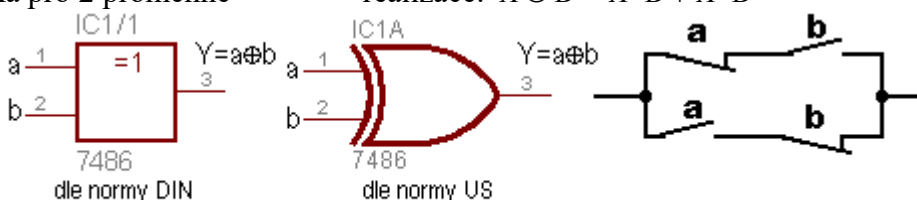
označení: $a \oplus b$

spojka: jeden nebo druhý a ne současně

realizace: $A \oplus B = \overline{A} \cdot B + A \cdot \overline{B}$

pravdivostní tabulka pro 2 proměnné

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



Integrovaný obvod typu 7486 obsahuje 4 dvouvstupová hradla XOR.

2.2.3 Zjednodušování logických funkcí – minimalizace

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

Používané metody minimalizace:

- **použití pravidel Booleovy algebry** (viz kap. 2.1.) – je vhodné pro jednoduché funkce,
- **metoda Quineyova – McCluskeyova**, algoritmy **Presto**, **Espresso** – metody pro PC jsou vhodné pro větší počet proměnných (> 4),
- **použití Karnaughových map** – často používaná, výhodná do 4 proměnných (maximálně 6 proměnných – při více proměnných se stávají nepřehlednými).

Zjednodušování logických funkcí pomocí Karnaughových map

Karnaughovy mapy se nepoužívají pouze k vyjádření logické funkce, ale slouží hlavně k minimalizaci logických funkcí. Pro správné pochopení postupu při minimalizaci funkcí pomocí Karnaughových map je důležité pochopit pojem sousední políčka. Sousední políčka sousedí spolu hranou, a to i přes okraje mapy. Políčka, která se dotýkají jen rohy nejsou sousední. Následující příklady ukazují, která políčka v Karnaughových mapách se nazývají sousední políčka.

	a		b	
	c	d		
	0	1	3	2
	4	5	7	6
	12	13	15	14
	8	9	11	10

	a		b	
	c	d		
	0	1	3	2
	4	5	7	6
	12	13	15	14
	8	9	11	10

	a		b	
	c	d		
	0	1	3	2
	4	5	7	6
	12	13	15	14
	8	9	11	10

Obr. 1. Sousední políčka v K. mapě

Postup při minimalizaci logické funkce:

- Zadaná funkce se vynese do mapy, tzn. že políčko, kde je funkce rovna jedné se označí 1.
- Všechny „1“ se zakroužkují do smyček obsahující 2^n tj. 1, 2, 4, 8, 16 atd. políček.
- Každá 1 může ležet i ve více smyčkách.
- Musí se zakroužkovat všechny „1“ pomocí co nejmenšího počtu co největších smyček.
- Jednotlivé smyčky se vyjádří jako průnik (součin) proměnných, které smyčky jednoznačně obsahují (tzn. že proměnná nenabývá mimo smyčku stejné hodnoty jako ve smyčce).
- Výsledkem minimalizace je vyjádření všech smyček pomocí sjednocení průniků odpovídajících proměnných tzn. logický součet jednotlivých součinů.

Často používané obraty při zjednodušování funkcí:

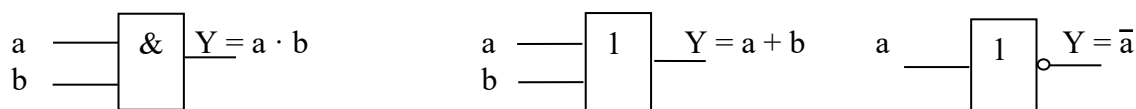
- Funkci je možno dvakrát znegovat a dále použít Morganovy zákony.
- Má-li logická funkce, kterou chceme minimalizovat, v tabulce více nul než jedniček, je snazší vypsát a minimalizovat negovanou funkci. Výsledek se musí samozřejmě zpátky znegovat.
- Jestliže některé kombinace vstupních hodnot nemohou v praxi nastat, dosadí se za ně takové hodnoty, aby výslednou funkci bylo možno co nejvíce zjednodušit. Například se do takových políček napíše „x“ a při minimalizaci se zakroužkují spolu s „1“ (0). Tím lze získat větší smyčky a tím i jednodušší vyjádření minimalizované logické funkce.

2.2.4 Realizace logických funkcí

Posledním bodem postupu při návrhu kombinačního logického obvodu je vypracování jeho schéma. Schéma je podkladem pro technickou realizaci obvodu. 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 např. elektrickými logickými členy můžeme použít kontaktní přístroje (relé, stykače).

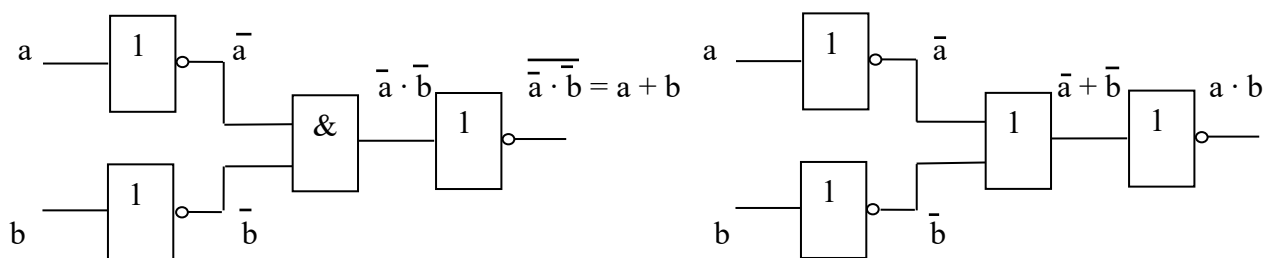
Realizace logických funkcí pomocí logických integrovaných obvodů

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 (optické, mechanické, pneumatické, elektrické atd.), které realizují tyto tři funkce. Na následujícím obrázku jsou symbolické značky těchto logických členů.



Obr. 2. Členy logického součinu, součtu a negace

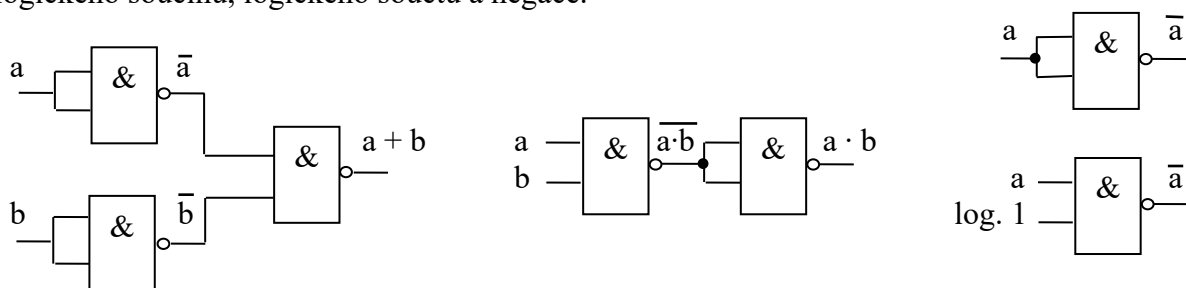
První logické systémy byly založené na těchto třech členech, ale později byly tyto dvojice nahrazeny obvody NAND a NOR, z kterých každý sám o sobě tvoří úplný logický systém.



Obr. 3. Logický součet pomocí součinu a negace, logický součin pomocí součtu a negace

Operátor NAND

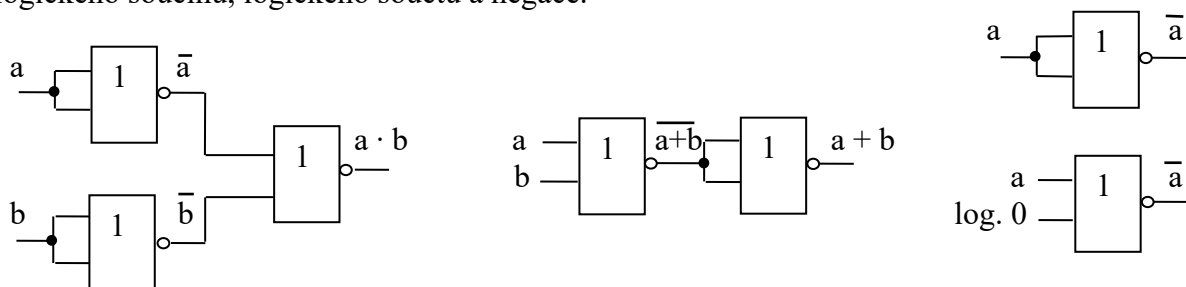
Tento operátor tvoří úplný logický systém, protože umožňuje realizovat základní operátory logického součinu, logického součtu a negace.



Obr. 4. Funkce NAND a pomocí ní realizovaný logický součet, součin a negace

Operátor NOR

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



Obr. 5. Funkce NOR a pomocí ní realizovaný logický součin, součet a negace

Snaha používat jenom jeden typ členů (NAND nebo NOR) vznikla z důvodu zmenšení počtu typů těchto členů v obvodech a tím snížení součástkové náročnosti.

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

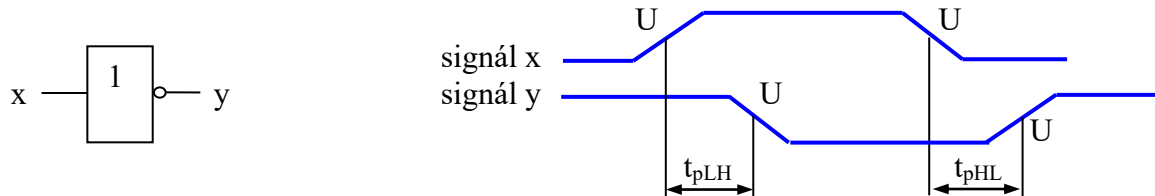
Jedním z kritérií optimálního návrhu logického obvodu je počet použitých pouzder, jejich typy a tím i cena obvodu.

Základní charakteristiky logického členu

Logické obvody fungují bez jakéhokoliv individuálního nastavování podle jistých zásad konstrukce v širokém rozmezí změn vnějších parametrů (napájecí napětí, teplota ...). Je proto potřeba znát i další důležité veličiny.

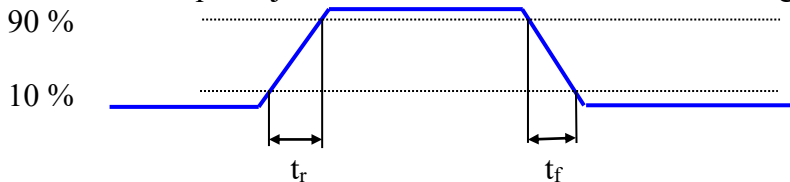
- výstupní větvení (nesprávně logický zisk) - počet vstupů, které výstup může napájet,
- vstupní větvení – počet jednotkových vstupů, který vstup obvodu představuje pro výstup, který ho napájí,

- zpoždění signálu členem
- výstupní větvení (nesprávně logický zisk) - počet vstupů, které výstup může napájet,
- vstupní větvení – počet jednotkových vstupů, který vstup obvodu představuje pro výstup, který ho napájí,
- zpoždění signálu členem
- doby zpoždění odpovídají přechodům z dolní úrovně (L) na horní úroveň (H) a zpět. Okamžiky začátku a konce měření jsou určeny okamžikem průchodu signálů X, Y napětíovou hladinou U, určenou v konstrukčním katalogu,



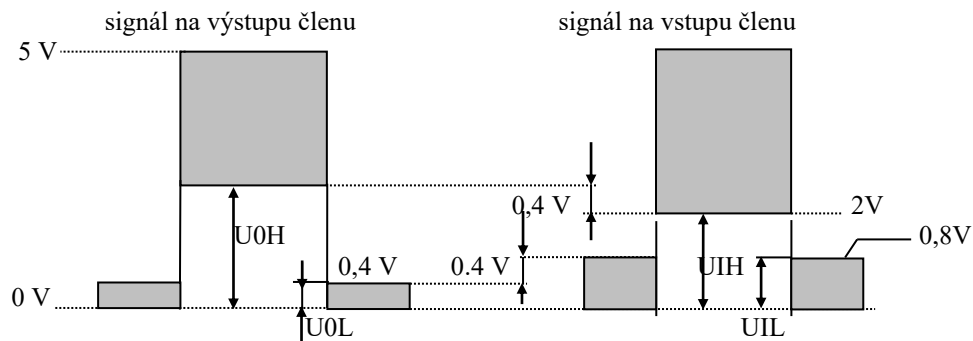
Obr. 6. Doby zpoždění logického členu

- náběh a doběh impulsu
- náběh a doběh impulsu je měřen mezi 10 % a 90 % rozkmitu signálu,



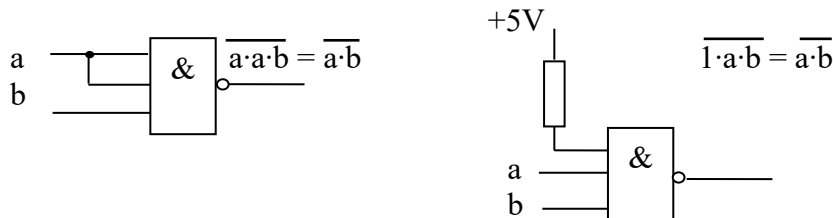
Obr. 7. Náběh a doběh impulsu

- hladiny při správné funkci: konstrukce definuje minimální a maximální hladiny pro logické signály 1 a 0 na vstupu a na výstupu,



Obr. 8. Vstupní a výstupní signály členu TTL

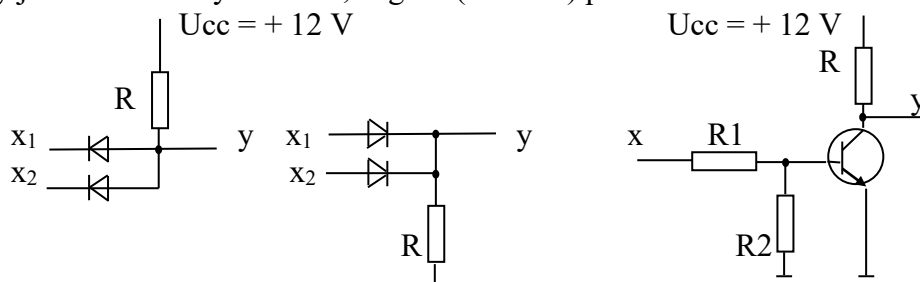
- odolnost proti rušení: charakterizuje se pomocí amplitudy vstupního signálu, který způsobí změnu stavu na výstupu obvodu,
- maximální pracovní kmitočet: souvisí se zpožděním logického členu a s velikostí náběhu a doběhu signálu. Pro vyšší kmitočty již obvody nejsou schopny signály reprodukovat,
- přípustný rozptyl napájecího napětí: některé technologie připouštějí pouze malé změny napájecích napětí (TTL 5 %), jiné naopak velmi značné (CMOS 300 %),
- odběr: obecně platí, že obvod má tím větší odběr, čím je menší zpoždění logické sítě,
- připojení nepoužitých vstupů: aby nedocházelo k rušení funkce obvodu parazitními signály přes nepoužité vstupy, neponechávají se tyto vstupy nezapojené,



Obr. 9. Zapojení nepoužitých vstupů

RTL logické obvody z diskretních součástek (Resistor Transistor Logic)

Byla vyvinuta pro první počítače a logické systémy s polovodiči. Součinnové a součtové obvody jsou realizovány diodami, negace (invertor) pomocí tranzistoru.



Obr. 10. Součinnový člen, součtový člen a invertor

Součinnový člen: - na výstupu je logická 1 (+12 V) pouze tehdy, jsou-li na obou vstupech log. 1,

- je-li na některém ze vstupů logická 0 (nulové napětí), na výstupu je log. 0,

Součtový člen: - na výstupu je logická nula pouze tehdy, jsou-li na obou vstupech logické 0,

- je-li na některém ze vstupů logická 1, je na výstupu logická 1,

Invertor: - logická 1 (tj. 12 V) na vstupu dává na bázi tranzistoru napětí větší než 0,6 V. a tranzistor je otevřen. Na jeho kolektoru je nulové napětí = logická 0.

- je-li na vstupu nulové napětí, je toto napětí i na bázi tranzistoru, tranzistor je uzavřen (nevede) a na výstupu je plné napětí 12 V = logická 1.

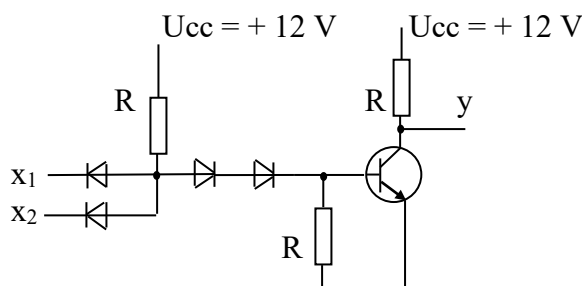
Tato technologie má nejhorší statické a dynamické vlastnosti. Výstupní napětí součtu a součinu je ovlivněno úbytkem napětí na diodách (prahové napětí PN přechodu v propustném směru) a vstupní impedancí zátěže. Vstupní a výstupní impedance členů není konstantní, je závislá na připojených obvodech.

Členy RTL byly dražší a mnohem méně spolehlivé než dnešní integrované obvody.

V současné době se již nepoužívá.

DTL logické obvody (Diode Transistor Logic)

Jsou to obvody s diodami na vstupech, a s tranzistorem na výstupu.

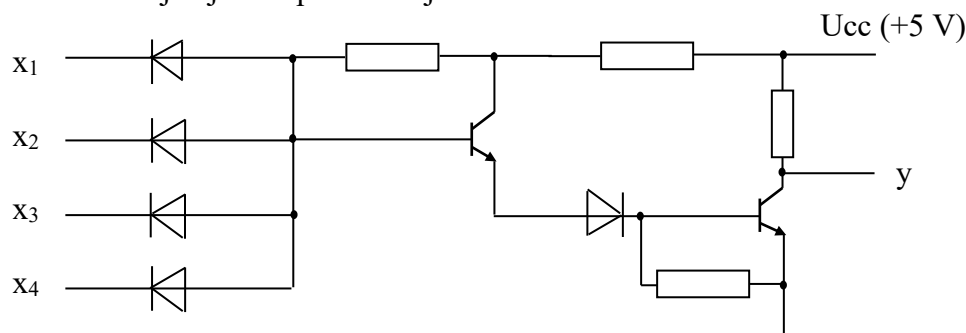


Obr. 11. Schéma členu DTL

Na vstupy x_1 , x_2 se přivádí buď 0 V (logická 0) nebo +12 V (logická 1). Tyto obvody připojují bezprostřední spojení výstupů k sobě bez použití logického členu. Tento typ zapojení se nazývá **montážní součin** (v kladné logice) nebo **montážní součet** (v záporné logice). Záměna logické konvence převádí funkci montážního součtu na funkci montážního součinu.

Vlastnosti obvodů DTL

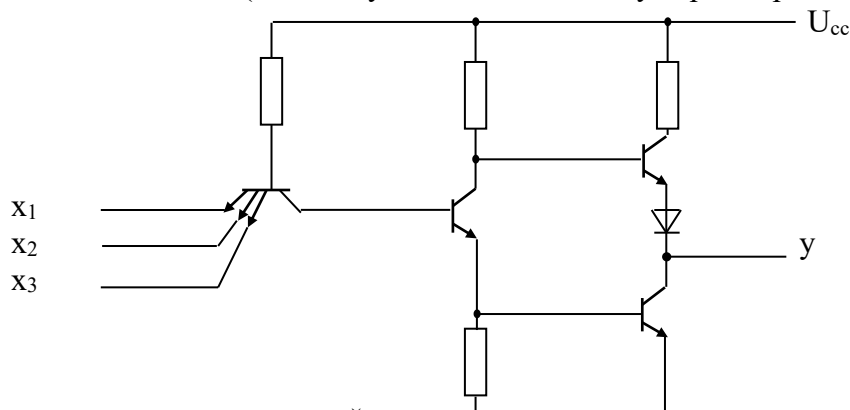
Obvod DTL nemá již nevýhodné vlastnosti způsobené posuvem napětí diodami jako u předchozích schémata, protože každý člen obsahuje tranzistor, který obnovuje správné úrovně. Výstupní impedance se stejně jako u předcházejících obvodů RTL mění.



Obr. 12. Integrovaný člen DTL

TTL logické obvody (Transistor Transistor Logic)

Je to nejrozšířenější a nejvariabilnější technologie. Vstupy jsou tvořeny tranzistorem s více emitory a mají vysokou impedanci. Výstupní obvod je v zapojení PUSH-PULL se dvěma tranzistory s aktivní zátěží a má tu výhodu, že má malou impedanci jak ve stavu 0, kdy je spodní tranzistor nasycen (otevřen), tak též ve stavu 1, kdy je spodní tranzistor uzavřen, a využívá se výstupu z emitoru horního tranzistoru (emitorový sledovač s malou výstupní impedancí).



Obr. 13. Člen NAND standardní řady 74

Modifikace obvodů TTL:

standardní řada (bez označení) - např. 7400,

„H“ rychlá řada – např. 74H00 má menší hodnoty odporů, a proto je i rychlejší,

„L“ nízkopříkonová řada – např. 74L00 má vyšší hodnoty odporů, a proto má menší příkon a také menší rychlost,

„S“ rychlá Schottkyho řada – využívá velmi rychlé Schottkyho diody, a proto jsou obvody vhodné i pro vysoké kmitočty,

„LS“ rychlá nízkopříkonová řada – zapojení se Schottkyho diodami při nízkém příkonu,

„AS“ rychlá řada – nepoužívá víceemitorové tranzistory,

„ALS“ rychlá nízkopříkonová řada – nepoužívá víceemitorové tranzistory,

„F“ řada – má jiné obvodové zapojení s menší teplotní a napětěvovou závislostí, je rychlejší než řada „S“ při 3x menším příkonu,

„HCT“ rychlá řada kompatibilní s CMOS – má vstupy jako CMOS a výstupy jako TTL,

První dvojčíslí označuje rozsah provozní okolní teploty, při které obvod zaručeně pracuje:

„74“ komerční řada – provozní teplota 0 až 70 °C,

„84“ průmyslová řada (industry) - provozní teplota –25 až +85 °C,

„54“ vojenská řada (military) - provozní teplota –55 až +125 °C,

CMOS logické obvody (Complementary Metal Oxid Semiconductors)

Používají polem řízené (unipolární) tranzistory, což přináší ve statickém provozu velké snížení spotřeby. Další výhodou je velký rozsah napájecího napětí, při kterém mohou pracovat (3 až 18 V). Spolu s nízkým odběrem je to předpoklad pro použití u přístrojů s bateriovým napájením. Dovolují dosáhnout velmi vysokého počtu prvků na čipu (stupeň integrace) a jsou proto základem složitých logických systémů (paměti, procesory, řadiče atd.).

ECL logické obvody (Emitter Coupled Logic)

Oproti řadám TTL a CMOS, které pracují ve stavech tranzistor zapnut/vypnut, tyto obvody pracují v lineárním režimu tranzistoru (více či méně otevřen), což dovoluje dosáhnout mnohem vyšších rychlostí (řádově 10^0 GHz).

Parametry obvodů TTL

Správný provoz integrovaných obvodů standardní řady TTL je výrobcem zaručován při splnění následujících podmínek:

napájecí napětí: 74xx: $4,75 \div 5,25$ V; 84xx: $4,75 \div 5,25$ V; 54xx: $4,50 \div 5,50$ V

provozní teplota okolí: 74xx: $0 \div +70$ °C; 84xx: $-25 \div +85$ °C; 54xx: $-55 \div +125$ °C

vstupní napětí: H > 2,0 V (max. 5,5 V) vstupní proud pro 2,4 V, 40 μ A

L < 0,8 V (min. -0,5 V) vstupní proud pro 0,4 V, -1,6 mA

(znaménko „-“ znamená, že proud vytéká ze vstupu)

výstupní napětí: H > 2,4 V výstupní proud aby byla ještě zaručena H < -0,4 mA

tzv. výkonové obvody < -1,2 mA („-“ znamená, že proud vytéká z výstupu),

L < 0,4 V výstupní proud, aby byla ještě L < 16 mA,

tzv. výkonové obvody < 48 mA (proud vtéká do výstupu),

výstupní větvení: (logický zisk) obvykle N = 10, u výkonových obvodů N = 30,

šumová imunita: vstup L: -0,5 až 0,8 V, H: 2,0 až 5,5 V (ALS 7 V),

výstup L: 0 až 0,4 V, H: 2,4 až 5,5 V,

k užitečnému logickému signálu se totiž cestou může přičíst ještě rušivé napětí, které pro správnou funkci obvodu nesmí přesáhnout šumovou imunitu.

Zvláštní provedení logických obvodů

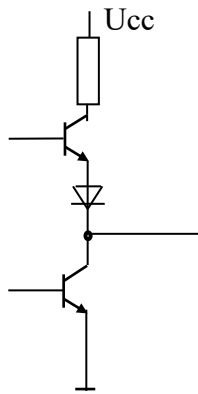
Podle zapojení výstupního obvodu můžeme rozdělit obvody následovně:

obvody s aktivní zátěží (obvody s protitaktním výstupem) – patří k nejrozšířenějším klasickým obvodům TTL. Výstup hradla je připojen mezi dvojici výstupních tranzistorů, v níž je vždy jeden tranzistor sepnut a druhý rozepnut. Jeho výhodou je malá impedance v obou stavech výstupu. Při zkratování výstupu na zem protéká výstupem zkratový proud 20 až 100 mA.

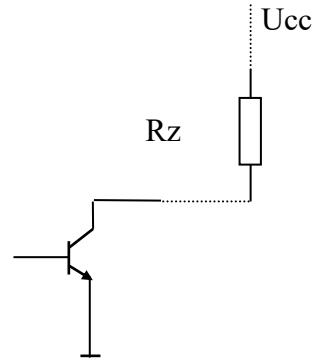
obvody s třístavovým výstupem mají tři výstupní stavy L, H, a Z (odpojený výstup – stav vysoké impedance, při kterém jsou oba výstupní tranzistory vypnuty). Do třetího stavu je obvod uveden zvláštním vstupem tzv. výběrem čipu (chip select – CS) obvykle hodnotou L. Obvody jsou používány zejména pro připojení výstupů několika obvodů na společný vodič (sběrnici). Musí být zajištěno, že aktivní bude vždy jen jeden obvod, ostatní budou mít stav vysoké impedance. Takto lze připojovat mnoho logických obvodů na společný vodič.

obvody s otevřeným kolektorem mají na výstupu jen jeden spínací tranzistor, jehož kolektor tvoří vlastní výstup logického obvodu. Používá se pro spínání vyšších proudů (ovládání LED, malých relé, možnost vytvoření tzv. montážního součtu).

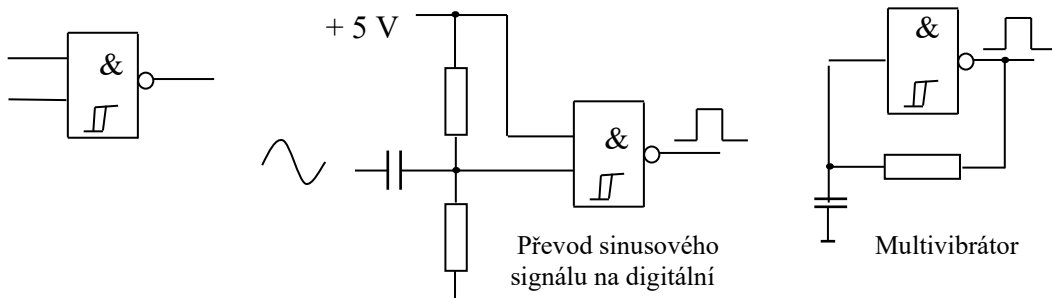
obvody se Schmittovým klopným obvodem na vstupu logického obvodu pro zpracování nekvalitních vstupních signálů. Rozhodovací úroveň je jiná pro náběžnou a jiná pro sestupnou hranu signálu (má hysterezi). Hradla spínají při náběžné hraně 1,7 V a při sestupné 0,8 V. Obvodům nevádí pomalu rostoucí vstupní napětí a hodí se například na úpravu hran signálu, na převod pomalu rostoucího či zašuměného signálu na signál pro klasické číslicové obvody, využívají se v oscilátorech atd.



Obr. 14. Klasický výstup TTL



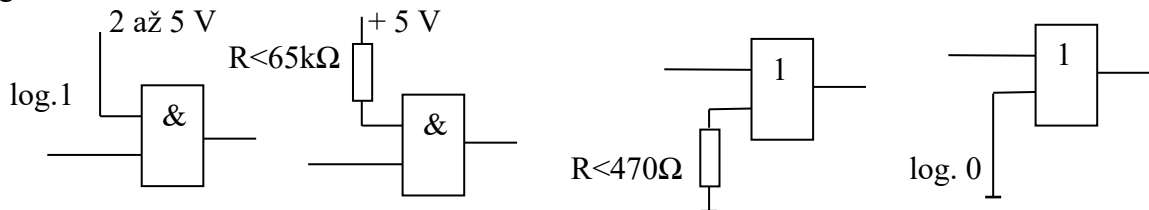
Obr. 15. Výstup s otevřeným kolektorem



Obr. 16. Využití Schmittova klopného obvodu na vstupu hradla

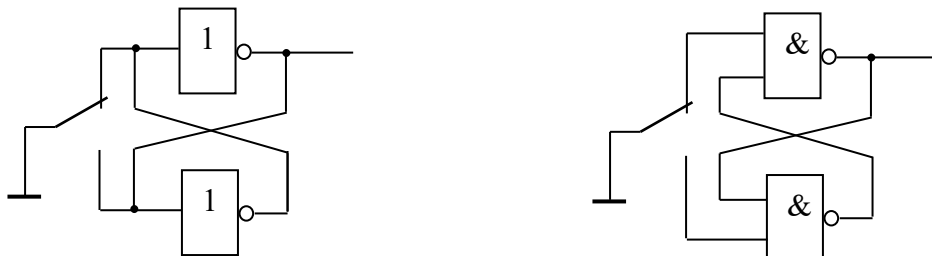
Zásady používání obvodů TTL

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



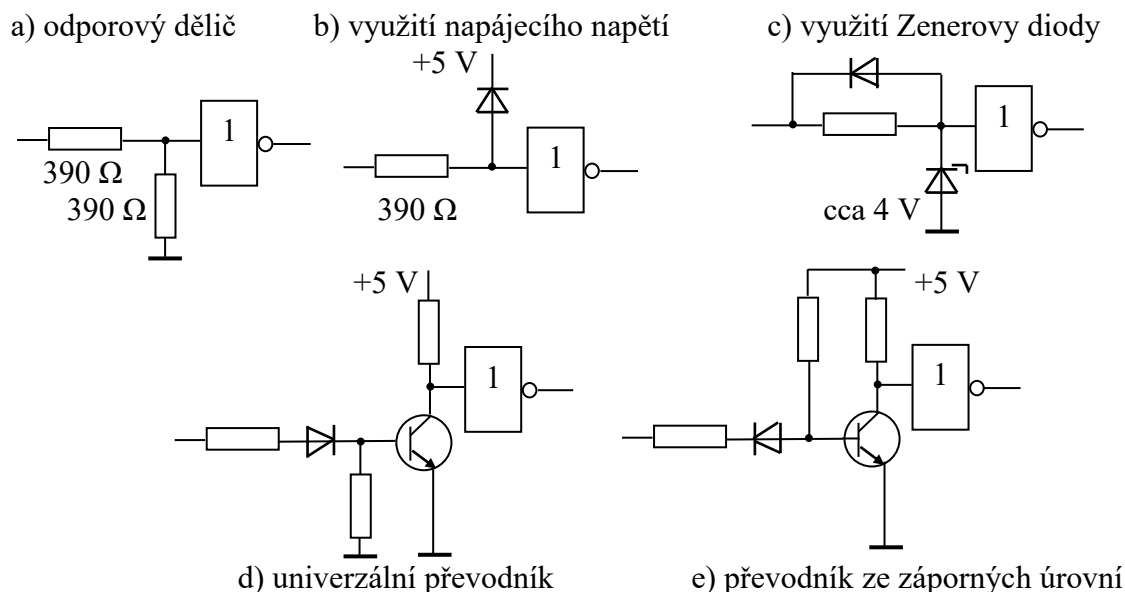
Obr. 17. Připojení nevyužitých vstupů

Připojení spínačů na vstup: je-li na vstupu logického obvodu připojen mechanický kontakt, dochází při sepnutí díky jeho zakmitávání ke vzniku rušivých impulsů. Zakmitávání je nutno odstranit korekčním obvodem.



Obr. 18. Odstranění zakmitávání mechanických kontaktů

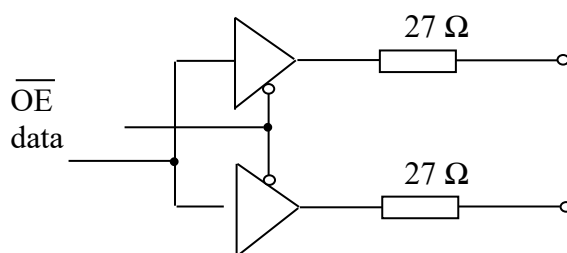
Připojení logického signálu s jinými úrovněmi než TTL:



Obr. 19. Různé způsoby připojení k jiným napěťovým úrovním

Použití logických úrovní ve sběrnici USB: v současné době se začíná pro připojování periférií k PC využívat univerzální sériová sběrnice USB. Sběrnice může přenášet data přenosovou rychlostí 12 Mb/s, v levném provedení 1,5 Mb/s. Je použito čtyřvodičové připojení: dva vodiče (D+, D-) slouží k přenosu dat, jeden je napájecí (+5 V) a další slouží jako zemní vodič. V obou variantách je však použito diferenční zapojení vysílačů, lišící se napěťovými úrovněmi od klasického způsobu přenosu logických signálů.

Logická nula na výstupu je v intervalu $0 \div 0,3$ V, logická jednička na výstupu hradla je min. 2,8 V. Vlastní logický signál je před přenosem změněn pomocí diferenčního zapojení (rozdíl napětí). Logická hodnota se nezjišťuje jako rozdíl napětí proti zemi, ale jako rozdíl napětí mezi oběma datovými vodiči D+, D-. Toto zaručuje vysokou odolnost proti rušivým napětím.

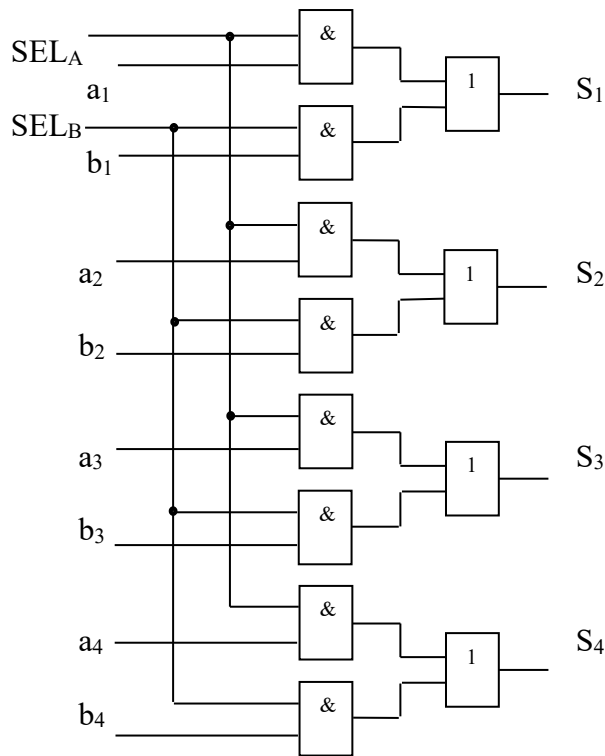


Obr. 20. Budící obvod pro rozhraní USB

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 různé výběrové funkce SEL_A , SEL_B atd., které vybírají v daném okamžiku proměnnou, která se má přivést do společného bodu. Výběr proměnné se realizuje pomocí součinů $A \cdot SEL_A$, $A \cdot SEL_B$ atd. a sečtením těchto součinů pomocí součtových členů. Pro tento účel byly realizovány integrované obvody, např. obvod 7451 realizuje tuto funkci s inverzemi na výstupech.



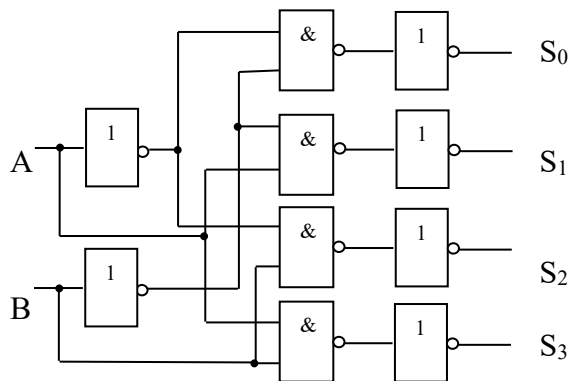
a_n	b_n	SEL_A	SEL_B	S_n
a_n	b_n	0	0	0
a_n	b_n	0	1	b_n
a_n	b_n	1	0	a_n
a_n	b_n	1	1	$a_n + b_n$

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

Obr. 21. Přepínání dvou informací – funkční tabulka a obvodové schéma

Dvojkový dekodér (binární dekodér)

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



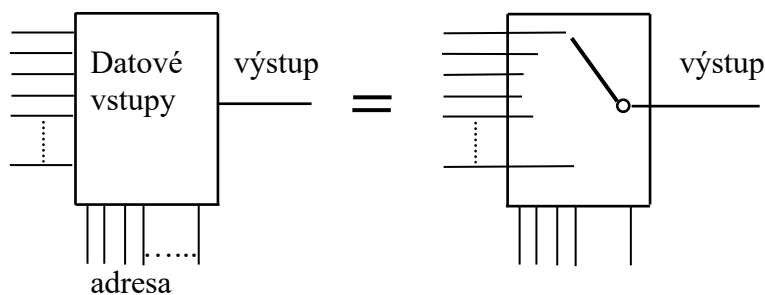
adresové vstupy		výstupy			
B	A	S_3	S_2	S_1	S_0
0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	0	0	0

Obr. 22. Pravdivostní tabulka a principiální schéma dekodéru

Multiplexery

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

Multiplexer vytváří kombinační funkci datových a adresových vstupů. Tu lze využít k realizaci libovolné kombinační funkce pro tolik datových vstupů kolik je adresových vstupů.



Obr. 23. Blokové schéma a symbolická značka multiplexeru

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.

2.3 Sekvenční obvody

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

Asynchronní sekvenční obvody

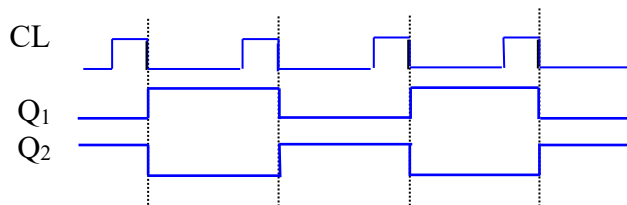
Jsou to obvody, ve kterých působí změna vstupů „okamžitě“ na výstup, zpoždění je dáno jen průchodem logickými členy. Asynchronní obvod může proto reagovat na podnět velmi rychle. V rozsáhlém logickém obvodu však dochází k různým hodnotám zpoždění, což může vést ke vzniku tzv. hazardních stavů – rušivých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

Synchronní sekvenční obvody

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

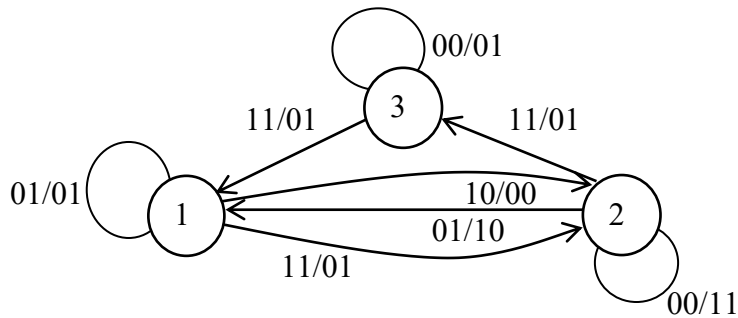
2.3.1 Popis sekvenčních obvodů

- slovně: logická funkce je popsána slovním vyjádřením, např. stav na výstupu Q se změní v opačný, vždy při sestupné hraně impulsu na vstupu D
- 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: $Y = a \cdot (b + Y)$
- časovým diagramem: časový diagram znázorňuje stavy signálů v závislosti na čase, pro přehlednost se kreslí pod sebe, často bez vyznačené časové osy,



Obr. 24. Popis sekvenčního obvodu časovým diagramem

- 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.



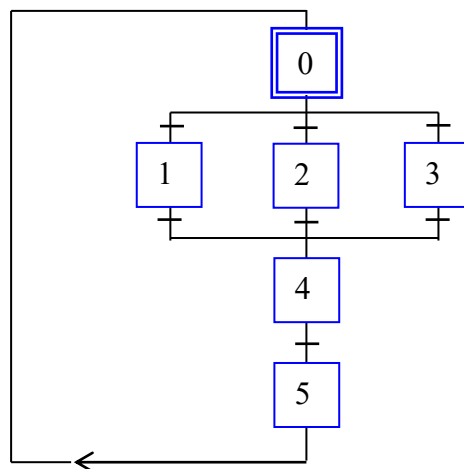
Obr. 25. Příklad grafu

- 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. 26. Příklad tabulky přechodů

- popis jazykem typu GRAFCET: jazyk grafcet je grafický jazyk pro sekvenční programování, který vychází z tzv. Petriho sítě, je názorný a vede uživatele k systematičnosti.



Obr. 27. Příklad popisu obvodu jazykem Grafcet

2.3.2 Klopné obvody

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

monostabilní klopné obvody – mají pouze jeden ustálený stav, tzn. že po aktivaci je výstup po určité době v opačném než ustáleném stavu. Lze je použít např. pro časovače, ošetření zákmitu kontaktů atd.

bistabilní klopné obvody – mají dva možné ustálené stavy, tzn. že v libovolném z nich může zůstat libovolnou dobu. Lze je použít např. jako paměť, tvoří i základ složitých sekvenčních obvodů – čítačů atd. Nejčastěji se setkáváme s typy RS, RST, D, JK buď v podobě integrovaného obvodu nebo v podobě funkčních bloků v programovacích schématech programovatelných automatů.

astabilní klopné obvody – nemají ustálený stav, jejich výstup se stále přepíná mezi logickou nulou a jedničkou. Lze je použít jako generátory obdélníkového signálu, např. jako zdroj hodinového kmitočtu.

Symbole používané u klopných obvodů:

- S, R (Set, Reset) asynchronní vstupy,
 - D, J, K informační vstupy,
 - C hodinový vstup,
- hodinový vstup působí buď po celou dobu trvání impulsu nebo jen při vzestupné hraně signálu, tj. při změně z 0 na 1,

Bistabilní klopné obvody

Úkolem bistabilního klopného obvodu je zaznamenat přítomnost přechodné informace a uchovat tento stav, i když informace již ze vstupu zmizí. Tzn. tento obvod pracuje jako paměť.

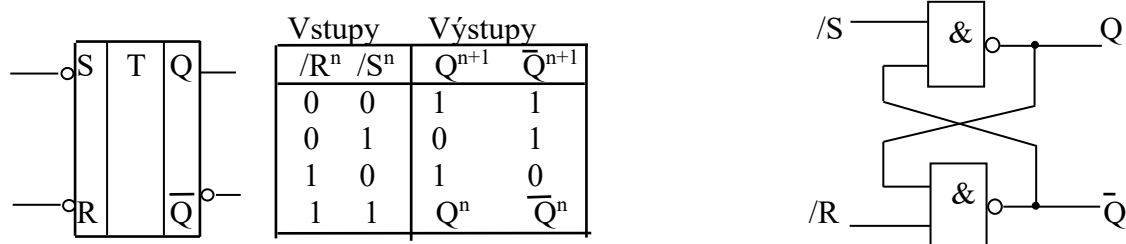
Klopný obvod RS

Klopný obvod RS má v asynchronním provedení dva vstupy: R a S a obvykle dva výstupy: Q a NOT(Q).

Vstup R (reset, nulování) - uvede výstup Q do stavu logické 0 (L).

Vstup S (set, nastavení) - uvede výstup Q do stavu logické 1 (H).

Výstup NOT(Q) nabývá opačných hodnot než výstup Q.



Obr. 28. Schematická značka, tabulka přechodů a zapojení klopného obvodu RS

Klopný obvod RST

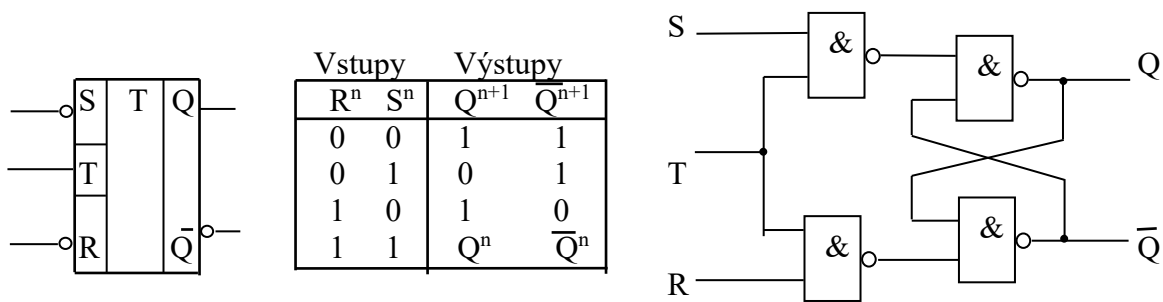
Synchronní obvod RST má tři vstupy: R, S a T a obvykle dva výstupy: Q a NOT(Q).

Vstup R (reset, nulování) - uvede výstup Q do stavu logické 0 (L).

Vstup S (set, nastavení) - uvede výstup Q do stavu logické 1 (H).

Vstup T (synchronizační, hodinový, C, CL, CLK) - slouží k ovládní obvodu v definovaných okamžicích.

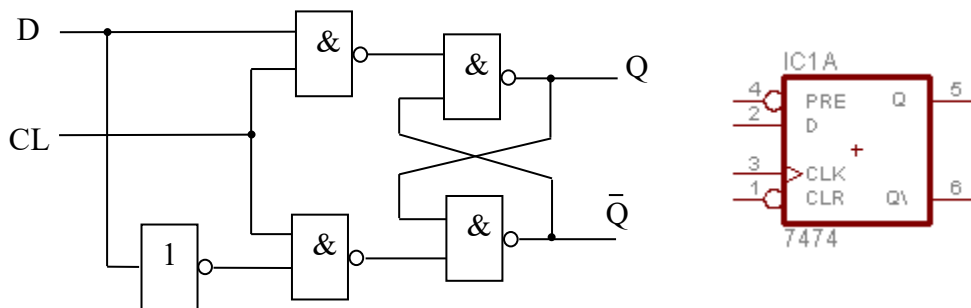
Výstup NOT(Q) nabývá opačných hodnot než výstup Q.



Obr. 29. Klopný obvod RST z hradel NAND a jeho tabulka přechodů

Klopný obvod D

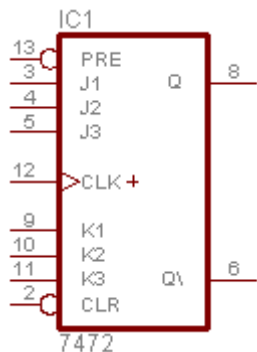
Klopný obvod D vznikne ze synchronního obvodu RST zařazením invertoru mezi vstupy R a S, čímž se vyloučí stav shodných hodnot na vstupech R a S ($R=0 \wedge S=0$, $R=1 \wedge S=1$). Obvod má dva vstupy: D, T a obvykle dva výstupy: Q, NOT(Q). Lze jej jednoduše použít jako jednobitovou paměť. Vstup D (data) - slouží k přivedení hodnoty, která se má uchovat. Vstup C (clock, hodiny) uvede výstup Q do stavu odpovídajícímu vstupu D. Obvod se statickým řízením zápisu – výstup Q kopíruje během impulsu na C stav na vstupu D. Obvod s dynamickým řízením zápisu – reaguje pouze na změnu úrovně na vstupu C, tzn. na vzestupnou nebo na sestupnou hranu impulsu.



Obr. 30. Klopný obvod D z hradel NAND

Klopný obvod JK

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



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

Obr. 31. Schematická značka a přechodová tabulka klopného obvodu JK

2.3.3 Registry

Registry vzniknou vhodným použitím klopných obvodů. Rozdělujeme je na:

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

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

2.3.4 Čítače

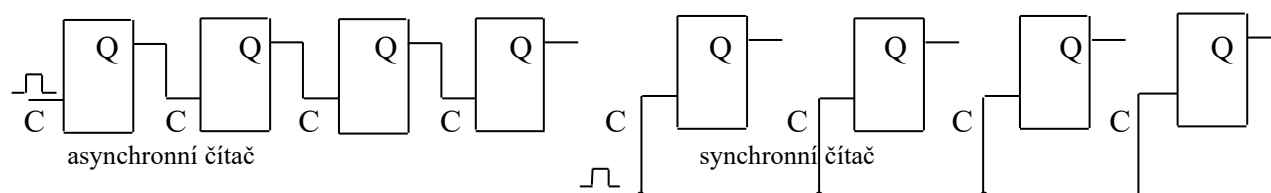
Čítače jsou velmi používané součásti; realizované hardwarově (integrované obvody) nebo softwarově (programovatelné automaty), sloužící k počítání vstupních impulsů. Mohou počítat nahoru (0, 1, 2, 3 ...) nebo dolů (0, 9, 8, 7 ...).

desítkový čítač počítá v desítkové soustavě - např. obvod 7490 počítá stavy 0÷9,

binární čítač počítá v rozsahu 0 – (2^N-1), kde N je počet bitů výstupu, (např. 7493 počítá 0÷15), po překročení rozsahu počítá čítač opět od počáteční hodnoty (nejčastěji od 0).

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

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



Obr. 32. Blokové schéma asynchronního a synchronního čítače

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

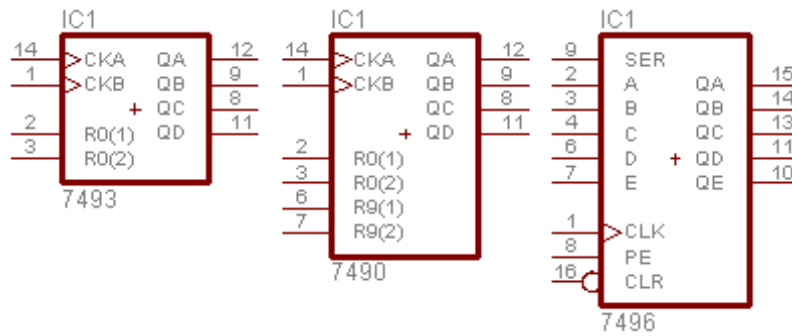
Vstupy čítačů – čítače mohou mít množství vstupů, ať již je realizován jako součástka nebo virtuální prvek programovatelného automatu.

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

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

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

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



Obr. 33. Čítač 7493 (binární), 7490 (dekadický) a posuvný registr 7496

Zkrácení početního cyklu čítačů

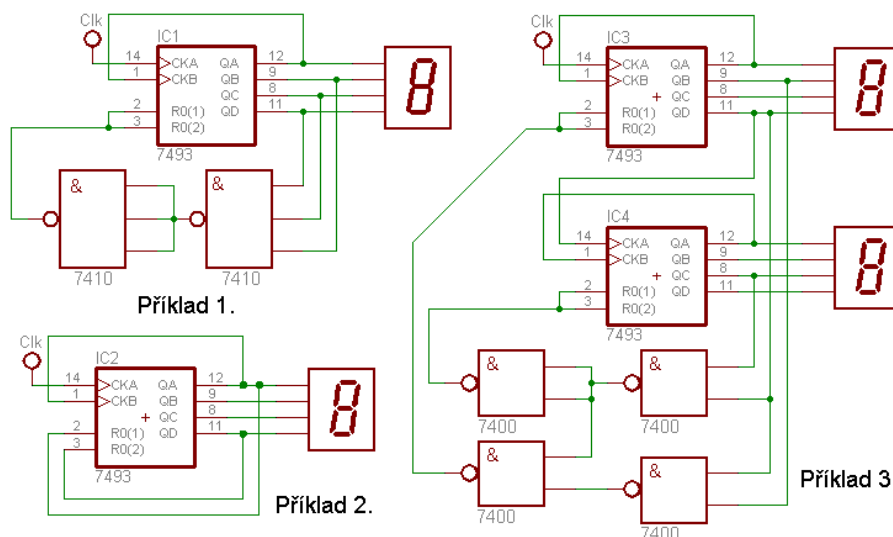
S binárním čítačem typu 7493 lze vytvořit čítač se zkráceným cyklem libovolně od 1 do 15. Samotný čítač 7493 čítá v přirozeném cyklu od 0 do 15. Pro zkrácení cyklu se využívají jeho resetovací vstupy. Pokud se na oba resetovací vstupy přivede log 1, čítač se vynuluje a začíná čítat opět od 0. Vstupy $R_{0(1)}$ a $R_{0(2)}$ jsou vybaveny vnitřním hradlem AND (Reset = $R_{0(1)} \cdot R_{0(2)}$). Pro zkrácení cyklu platí výraz: Reset = číslo $n + 1$. Číslo $n + 1$ se vyjádří jako součin binárních signálů které mají pro číslo $n + 1$ logickou hodnotu 1. Resetovací obvod je v podstatě kodér sestavený buď pomocí vnějšího obvodu nebo vnitřního hradla AND. Pro reset s vnitřním hradlem se využije faktu, že v čísle $n + 1$ se mohou poprvé v číselné řadě vyskytnout jedna nebo dvě (ne více) logické jedničky. Pokud je v čísle $n + 1$ jedniček více, musí se signál Reset generovat vnějším obvodem.

Příklad 1.: navrhnete čítač od 0 do 6. Řešení: Číslo $n + 1 = 7$. Binární kombinace pro $7 = 0111$. Resetovací obvod musí mít funkci Reset = $Q_C \cdot Q_B \cdot Q_A$. Je tedy potřebný obvod 7410 (3vstupové hradlo NAND) a invertor (buď 7404 nebo další 3 vstupové hradlo v roli invertoru).

Příklad 2.: navrhnete čítač od 0 do 8. Řešení: Číslo $n + 1 = 9$. Binární kombinace pro $9 = 1001$. Resetovací obvod musí mít funkci Reset = $Q_D \cdot Q_A$. Pro tuto funkci postačí propojit vstup $R_{0(1)}$ s výstupem Q_D a vstup $R_{0(2)}$ propojit s výstupem Q_A .

Příklad 3.: navrhnete čítač od 00 do 47. Řešení: Jedná se o 2 čítače zapojené do kaskády pro čítání přes 2 řády (vstup desítkového čítače se připojí na poslední výstup jednotkového čítače). Jednotkový řád čítá od 0 do 9 a pro něj musí být číslo $n + 1 = 10$. Binární kombinace pro $10_D = 1010_B$. Desítkový řád i s jednotkovým čítá od 00 do 47 a proto je číslo $n + 1 = 48$. Binární kombinace pro $48_D = 0100\ 1000_B$. Reset desítkového čítače musí také resetovat i jednotkový, takže platí: Reset desítek = 48, takže $R_D =$ desítky $Q_C \cdot$ jednotky Q_D

Reset jednotek = 48 + 10, takže $R_J =$ desítky $Q_C \cdot$ jednotky $Q_D +$ jednotky $Q_D \cdot$ jednotky Q_B



Obr. 34. Řešené příklady

3. PNEUMATIKA – NÁVRH PNEUMATICKÉHO ROZVODU

3.1 Výpočet spotřeby vzduchu

Zákonitosti, které se vztahují ke stlačenému vzduchu jsou obecně popsány fyzikálními zákony. Pro plyny platí tzv. stavová rovnice plynů:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = konst, \text{ kde } p \dots \text{ tlak [kPa], } V \dots \text{ objem [m}^3\text{], } T \dots \text{ abs. teplota [K].}$$

Hodnota *konst* je dána Avogadrovým zákonem: $konst = n \cdot R$,
kde $n \dots$ látkové množství, $R \dots$ molární plynová konstanta,
stavová rovnice ideálního plynu má tvar: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

Při konstantní teplotě platí Boyleův-Marriotův zákon:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Při konstantním tlaku platí Gay-Lussacův zákon:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Při konstantním objemu platí Charlesův zákon:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Pro určení provozních nákladů za spotřebovanou energii je důležité stanovit:

- kompresní poměr: $kp = \frac{p_{e1}}{p_{e2}} = \frac{101,3 + p}{101,3}$ [-; kPa],

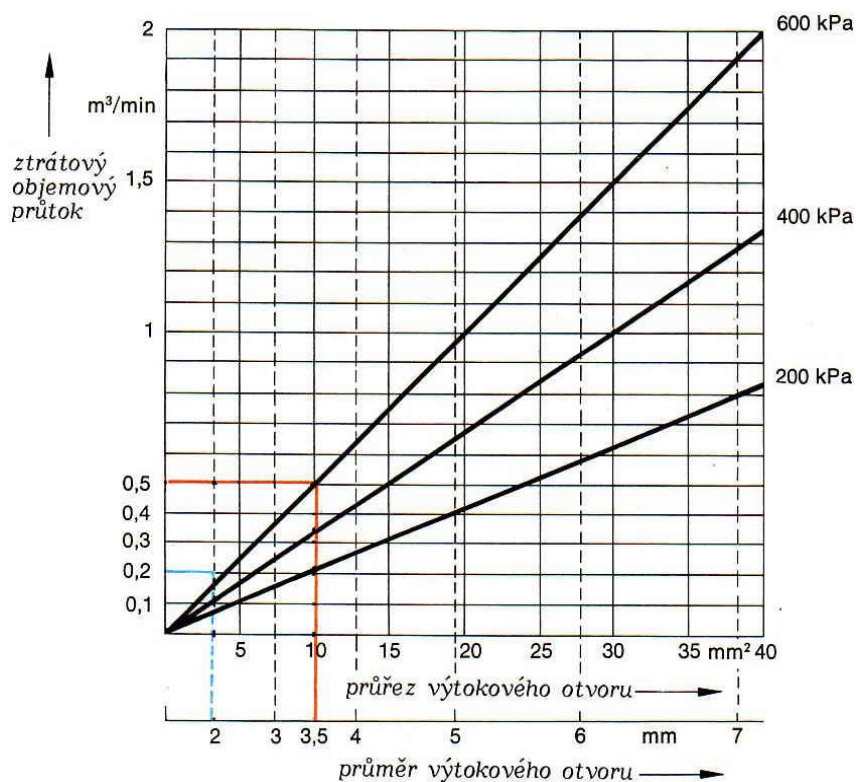
vztažený na nadmořskou výšku (zde je konkrétní atmosférický tlak = 101,3 kPa)

$p \dots$ pracovní tlak je požadovaný a nutný pro správnou funkci jednotlivých pneumatických zařízení (často se volí velikost 600 kPa),

- spotřebu pro jednočinný pneumotor: $V = s \cdot n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot kp$ [litr/min; dm, -],
- spotřebu pro dvojitý pneumotor: $V = (2 \cdot D^2 - d^2) \cdot s \cdot \frac{\pi}{4} \cdot n \cdot kp$ [litr/min; dm, -],

$V \dots$ průtok vzduchu (spotřebované množství) [litry/min], $s \dots$ celkový zdvih [dm],

$n \dots$ počet zdvihů za minutu, $D \dots$ průměr pístu [dm], $d \dots$ průměr pístnice [dm].



Nomogram č. 1. Ztráty netěsností

- určení ztrátového množství V_z výtokem otvorem netěsnosti pomocí nomogramu č. 1.
- celkový průtok vzduchu (součet všech spotřeb) $V_c = \sum_i V_i$ [l/min; l/min],
- cenu energie $C = tc \cdot V_c$ [Kč; Kč/l/min, l/min], tc ... cena za 1 l stlačeného vzduchu.

3.2 Výpočet síly vyvozené na pístu

Teoretická síla na pístu: $F_t = A \cdot p$ [N; m², Pa], kde $A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$ [m²; m],

A ... činná plocha pístu [m²],

D ... průměr pístu [m],

d ... průměr pístnice [m].

Efektivní velikost vyvozené síly je vždy menší:

- pro jednočinný pneumotor: $F_e = A \cdot p - F_{tř} - F_{pr}$ [N; m², Pa, N, N],
 $F_{tř}$... síla tření = 3 až 20 % F_e [N] u malých pístů je větší než u velkých,
 F_{pr} ... síla pružiny pro zpětný pohyb (údaj definovaný výrobcem) [N],
- pro dvojčinný pneumotor – pohyb vpřed: $F_e = A \cdot p - F_{tř}$ [N; m², Pa, N],
 pro dvojčinný pneumotor – pohyb vzad: $F_e = A' \cdot p - F_{tř}$ [N; m², Pa, N],
 A' ... činná plocha pístu na straně pístnice $A' = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$ [m²; m].

Pro pístový motor s úderným účinkem je energie úderu: $E = \frac{m \cdot v^2}{2}$ [J; kg, m/s],

E ... energie [kg·m²/s² = Nm = Joule],

m ... hmotnost [kg],

v ... rychlost [m/s] – bývá 7 až 10 m/s (u normálních pístů 1 až 2 m/s).

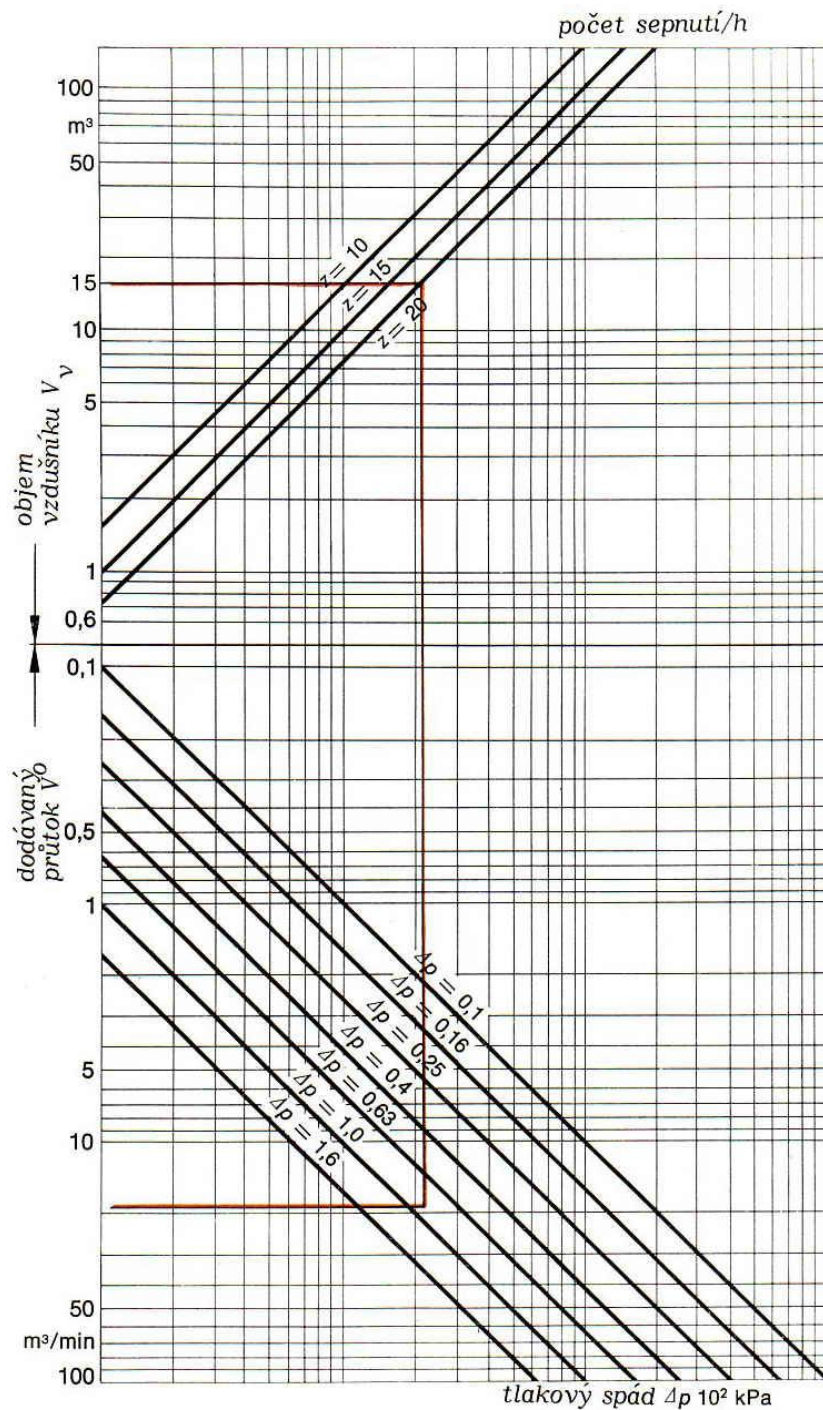
Zdvih pístu z hlediska vzpěrové pevnosti je závislý na průměru pístnice a na síle pístu. Při působení velké síly a při velkém zdvihu může dojít k deformaci příliš tenké pístnice. Výpočty vzpěru nebudeme v této publikaci uvádět. Obecně jakékoliv boční namáhání pístnice (včetně jejího průhybu vzpěrem) zvyšuje opotřebení těsnění jak pístu, tak průchodu horním čelem pohonu.

3.3 Určení objemu vzdušníku

Vzdušník (tlaková nádoba) je vestavěný do výtlačného potrubí. Slouží ke snížení kolísání tlaku, které je vyvoláno proměnnou spotřebou stlačeného vzduchu. Současně je vzduch částečně ochlazován odvodem tepla velkou plochou pláště vzdušníku. Velikost vzdušníku závisí na:

- množství vzduchu od kompresoru,
- spotřebě vzduchu,
- rozvodné síti (tvoří přídavný objem!),
- zvoleném způsobu regulace kompresoru,
- přípustném tlakovém spádu v síti.

Objem vzdušníku se určí pomocí nomogramu č. 2.



Nomogram č. 2. Určení objemu vzdušníku

Postup při použití nomogramu č. 2.:

- ze svislé osy (spodní polovina) se pro hodnotu požadovaného průtoku vynese vodorovná čára, která protne šikmou linií povoleného tlakového spádu,
- z průsečíku se vynese svislá čára do horní části nomogramu, kde protne šikmou linií počtu sepnutí kompresoru za hodinu,
- z tohoto průsečíku se vynese vodorovná čára vlevo, která na svislé ose (horní polovina) určí velikost objemu vzdušníku.

3.4 Dimenzování potrubí

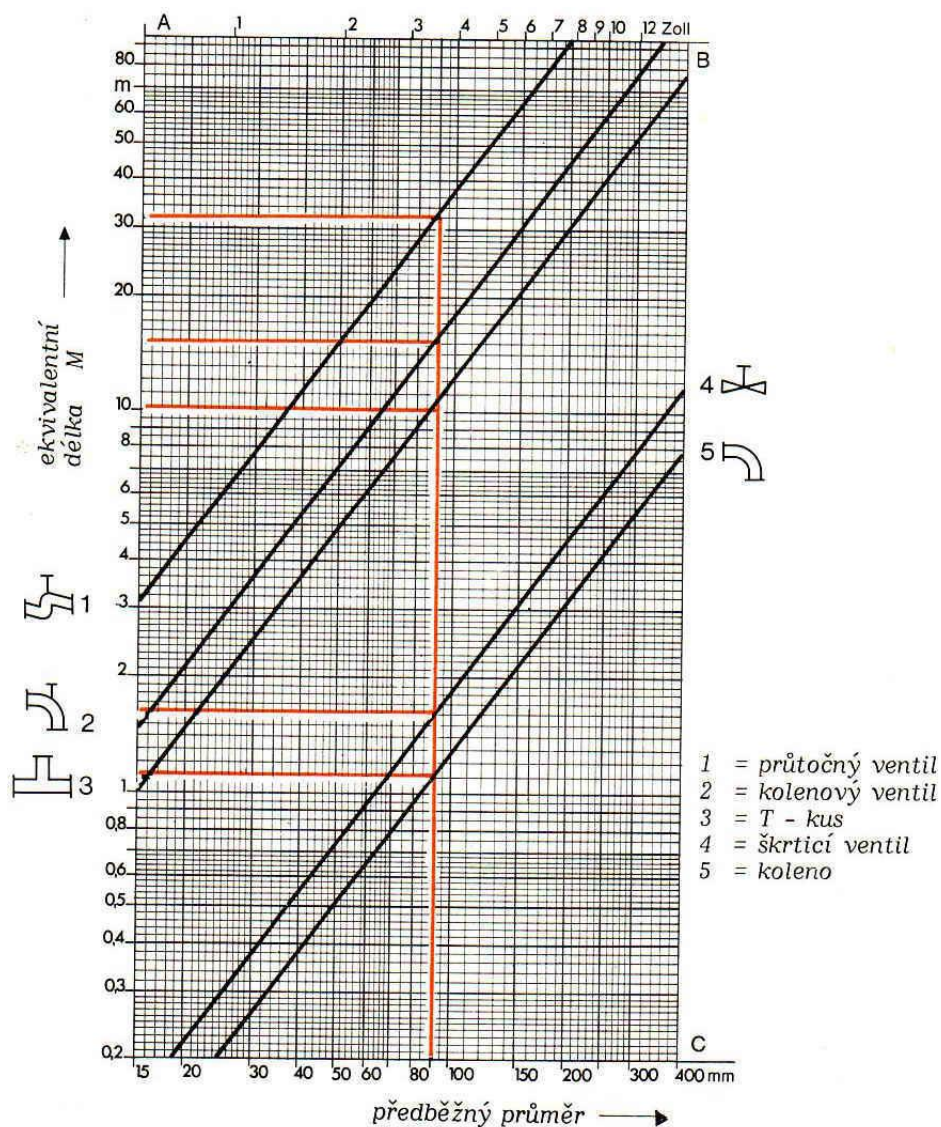
Vnitřní průměr potrubí má být určen z:

- průtoku vzduchu,
- délky potrubí,
- přípustné tlakové ztráty,
- provozního tlaku,
- počtu míst se škrcením.

Pro výpočet průměru je nutné nejprve určit ekvivalentní délku potrubí:

V prvním kroku se zhruba odhadne průměr potrubí a pro jednotlivé fitinky (průtočný, kolenový a škrťací ventil, T-kus, koleno 90°) se odečtou z nomogramu č. 3. ekvivalentní délky, které se přičtou k celkové délce potrubí. Pro takto určenou ekvivalentní délku potrubí se určí vnitřní průměr potrubí pomocí nomogramu č. 4.

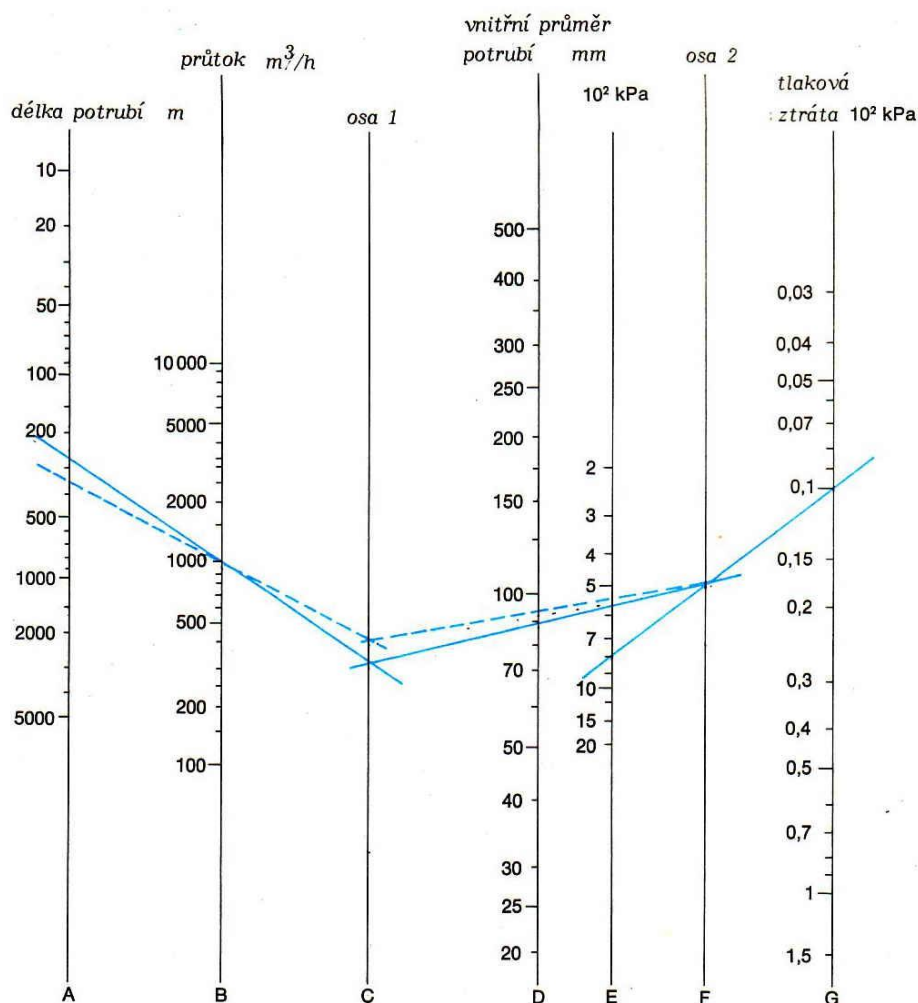
V druhém kroku se znovu určí pro jednotlivé fitinky jejich ekvivalentní délky a spočítá se výsledná celková délka potrubí. Pro tuto délku se zkontroluje určený průměr potrubí. Pokud se liší více jak o 20 % od prvního odhadu, upřesní se a celý postup se opakuje.



Nomogram č. 3. Ekvivalentní délky fitinek

Postup při použití nomogramu č. 3.:

- z vodorovné osy nomogramu (spodní je cejchována v mm, horní v palcích „Zoll“ – z němčiny, v praxi je použití palců častější) se vynese svislá čára,
- v průsečících s šikmými liniemi jednotlivých fitinek, se na svislé ose ve stejné úrovni průsečíků odečte příslušná ekvivalentní délka potrubí pro 1 kus daného typu fitinky.



Nomogram č. 4. Určení vnitřního průměru potrubí

Postup při použití nomogramu č. 4.:

- na ose A se určí bod délky potrubí. Na ose B bod hodnoty průtoku vzduchu. Body na ose A a B se spojí čarou, která se protáhne tak, aby protнула osu C,
- na ose E se určí bod pracovního tlaku. Na ose G bod povolené tlakové ztráty. Body na ose E a G se spojí. Tím vznikne průsečík s osou F,
- průsečík na ose C se spojí čarou s průsečíkem na ose F. V bodě, kde spojnice protne osu D je hledaný vnitřní průměr potrubí.

Příklad 0.: $Q = 16 \text{ m}^3/\text{min}$ ($960 \text{ m}^3/\text{h}$), délka 280 m, 6 T odboček, 1 průtočný ventil, 5 oblouků, ztráta $\Delta p = 10 \text{ kPa}$, provozní tlak $p = 800 \text{ kPa} \rightarrow$ určit průměr potrubí (plné čáry = prvotní odhad bez fitinek, čárkované čáry = potrubí + fitinky).

3.5 Návrh kompresoru

Kritéria pro volbu kompresoru jsou:

- dodávané množství vzduchu (průtok vzduchu při požadovaném tlaku). Rozlišuje se:
 - teoretický průtok – je dán součinem zdvihového objemu a počtu zdvihů,
 - efektivní průtok – je menší a závisí na typu kompresoru a tlaku vzduchu,
- tlak vzduchu, rozlišujeme:
 - provozní tlak – tlak vzduchu na výstupu kompresoru, resp. ve vzdušníku, případně v potrubí ke spotřebičům,
 - pracovní tlak – požadovaný a nutný pro správnou funkci jednotlivých zařízení,
- pohon kompresorů:
 - elektromotorem – používá se převážně v průmyslových provozech,
 - spalovacím motorem – u mobilních kompresorů,
- regulace kompresoru:
 - chodem na prázdno,
 - regulace odpouštěním do atmosféry,
 - regulace uzavřením sání,
 - regulace odtlačení sacích ventilů,
 - regulace výkonu pomocí:
 - regulace otáček,
 - regulace škrcením sání nebo obtoku z výtlaku do sání,
 - dvupolohová regulace (zapnutí – vypnutí motoru).

V důsledku nerovnoměrné spotřeby tlakového vzduchu je nutné výkon kompresoru přizpůsobovat této proměnné spotřebě, aby nedocházelo ke kolísání výtlačného tlaku.

Základní typy kompresorů:

Objemové s přímočarým pohybem:

- pístové:
 - jednostupňové do 400 kPa (do max 1 200 kPa),
 - dvoustupňové do 1 500 kPa (do max 3 000 kPa),
 - tří a více stupňové nad 1 500 kPa (do max 22 000 kPa).
- membránové,

Objemové rotační:

- křídlový (lamelový),
- šroubový jednohřídelový,
- šroubový dvouhřídelový,
- Rootsův dvouhřídelový,

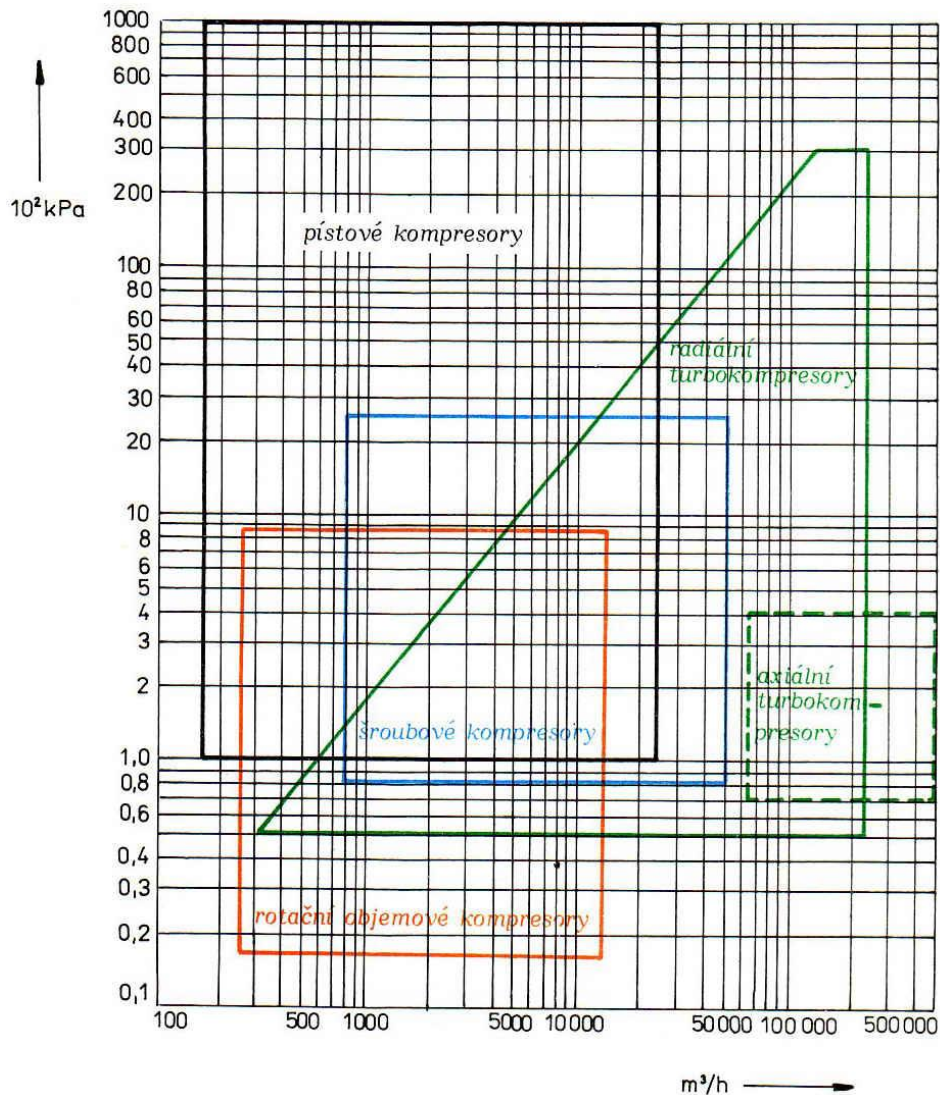
Turbokompresory:

- radiální (vzduch proudí odstředivě kolmo k ose – směr rádiusu),
- axiální (vzduch proudí ve směru osy turbíny).

Chlazení kompresoru, které odvádí ztrátové teplo vznikající třením pohyblivých dílů a stlačováním vzduchu, se provádí nejčastěji třemi způsoby:

- u malých kompresorů pomocí chladících žeber na povrchu válce,
- u větších je doplněný ventilátor, který nuceným prouděním zvyšuje odvod tepla,
- u stanic nad 30 kW vodním chlazením válců bez nebo s nuceným oběhem chladící kapaliny.

Typ kompresoru pro požadovaný rozsah tlaku a dodávané množství je možné přibližně určit pomocí nomogramu č. 5.



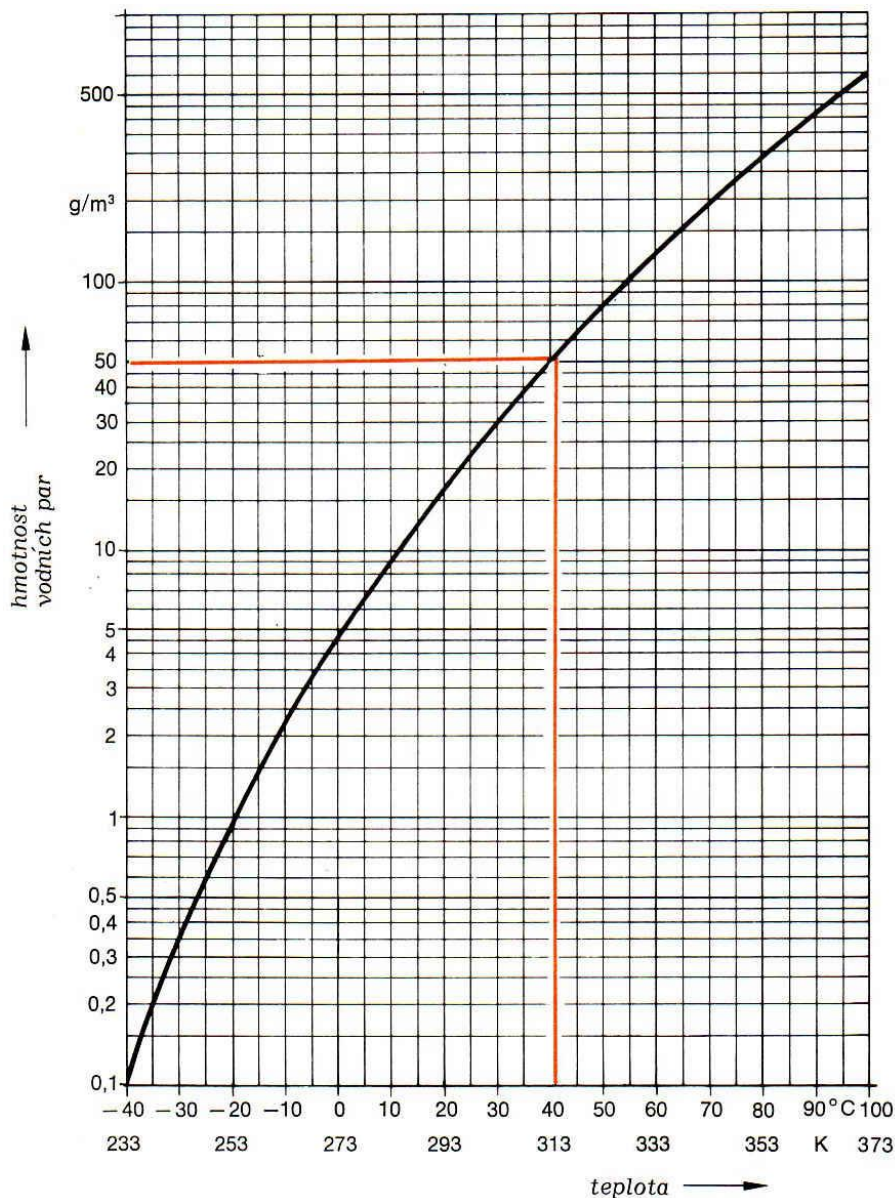
Nomogram . 5. Urenı́ typu kompresoru

3.6 Zařızıení pro úpravu vzduchu

Chlazenı́ tlakového vzduchu – pı́ stlaenı́ v kompresoru se vzduch intenzivn zahřeje a je nutné ho ochladit na běžnou teplotu. Chladič bývá souastı́ kompresoru. Pı́ ochlazenı́ se srazı́ vlhkost a tento kondenzát je nutn zachycovat, aby nezpusoboval korozi uvnı́tř pneumatického systemu. Funkci chladiče u menšıch system bvykle vykonává vzdušnı́k. Jak chladič, tak vzdušnı́k, musı́ být vybaven ventilem pro odpouštenı́ kondenzátu.

Vysoušenı́ tlakového vzduchu – je nutn pro bezporuchov provoz pneumatického zařızıenı́. Zmenšenı́m objemu vzduchu stlaenı́m pı́ stejn teplotě podle Boyle-Marriotova zákona vznikne pı́ebyten voda – kondenzát, kter se odpouštı́. Tlakov vzduch se dále suší pomocı́ tı́ zkladnı́ch metod:

- **absorpnı́:** voda je pohlacena do sušıchho prostředku, chemicky se váže na sušı prostředek, po nasycenı́ se musı́ sušı prostředek vyměnit za nov,
- **adsorpnı́:** voda se zachycuje na povrchu sušıchho prostředku, po jeho nasycenı́ lze sušı prostředek regenerovat – vysušt a je ho mozn znovu použit,
- **pomocı́ ochlazenı́:** vzduch se ochladı́ pod teplotu rosného bodu, kdy vodnı́ pry kondenzujı́, kondenzát se hromadı́ v odluovci.



Nomogram č. 6. Závislost množství sytých vodních par na teplotě

Určení množství vlhkosti:

$$vlhkost_{absolutni} = \frac{vlhkost_{relativni} \cdot množství_sytých_par}{100\%} \cdot V_c \quad [g; \%, g/m^3, m^3],$$

kde množství sytých par se určí z nomogramu č. 6.

Vzduchový čistič – odstraní ze vzduchu veškeré zbytky nečistot a zkondenzované vody. Pevné částice mohou zanášet jemné mechanismy a způsobovat brusné opotřebení zařízení, především pryžových těsnění kluzně uložených pohyblivých dílů. Vzduch je nejdříve čištěn cyklónovým efektem (v nádobce rotuje a pevné a tekuté nečistoty jsou odstředivou silou odlučovány) a poté prochází filtrační vložkou (velikost otvorů cca 40 μm). Filtr se postupně zanáší a je ho potřeba občas vyměnit. Kondenzát z nádobky odlučovače je potřebné po dosažení maximální povolené výšky výpustným šroubem vypustit. Pro nejjemnější čištění jsou k dispozici filtry s velikostí otvorů 0,1 μm (vyrobené z borokřemičitého skla).

Redukční ventil – udržuje na svém výstupu konstantní tlak i při kolísání tlaku v rozvodné síti. Primární tlak (na vstupu) musí být větší než sekundární (na výstupu). Výstupní tlak je určen polohou ventilu ovládaného membránou, na kterou působí z jedné strany výstupní tlak a z druhé síla pružiny určující velikost výstupního tlaku.

Rozprašovač oleje – do vzduchu se přimíchává mazivo ve formě jemného olejového aerosolu (lubrikace), které zmenšuje tření pohyblivých dílů a chrání vnitřní povrchy před korozi. Většinou pracují na principu Venturiho trubice (fixírka) a jejich funkce je podmíněna dostatečnou rychlostí proudění vzduchu. Proto se musí dodržet výrobcem udávaný minimální průtok.

Jednotky pro úpravu vzduchu – jsou kompaktní, mají stavebnicové uspořádání a tvoří je čistič vzduchu, redukční ventil, rozprašovač oleje a další příslušenství. Pro individuální návrh integrované jednotky pro úpravu vzduchu mají výrobci tzv. konfigurátory, pomocí kterého si uživatel sám sestaví tuto jednotku s potřebnými parametry a funkcemi. Výrobce zkompletuje výběr a dodává hotovou jednotku.

3.7 Provedení a umístění potrubí rozvodné sítě

Potrubí musí být přístupné kvůli kontrole těsnosti a údržbě, proto se neumísťuje do šachet či kanálů, ale na dostupná místa. Většinou na nosné konstrukci pod stropy.

Při kladení potrubí je třeba dodržovat sklon potrubí 1 až 2 % ve směru proudění (snášení nečistot a kondenzátu). Odbočky ke spotřebičům jsou umístěny vždy na horní straně potrubí, aby nedocházelo ke strhávání nečistot do odboček. Pro odvod kondenzátu a nečistot se umísťují speciální odbočky na spodní stranu potrubí (nejnižší místa rozvodu).

Hlavní vedení může tvořit jednoduchý rozvod s odbočkami, ale nejčastěji se provádí jako uzavřená smyčka. V uzavřené smyčce proudí vzduch ke každé odbočce z obou stran. Pro rozsáhlé rozvody se volí uzavřená smyčka s řadou příčných a podélných větví.

Hlavní potrubí může být různých materiálů. Použitý materiál určuje technologii spojování dílů. Trubky by měly být levné a odolné korozi. Materiál trubek může být: měď, mosaz, nerez, ocel černá, ocel pozinkovaná, umělá hmota.

- měď a mosaz umožňují letování a lisování,
- ocelové trubky se mohou lisovat (pouze tenkostěnné s malým průměrem), šroubovat nebo svařovat. Sváry tvoří laciné a těsné spoje (jen je problém vyčistit vnitřní stranu sváru od okují a rzi).
- umělou hmotu lze tepelně svařovat (polyfúzní sváření) a lepit,
- ocelové pozinkované trubky se spojují šroubením (speciální závity) – šroubení bývá zdrojem netěsností (utěsnění koudelí s fermeží, silikonovou nití, provazcem, páskou atp.) a v jeho místě je snížena odolnost potrubí proti korozi.

Spojky trubek jsou vyráběny v širokém sortimentu. Nejčastější jsou šroubení s těsnícím nebo upínacím prstencem. Pro měděné trubky se používají spojky s nákrůžkem na trubce nebo s lemem na konci trubky. Pro rozebíratelné spoje existují potrubní spojky a nástavce.

Pro připojení spotřebičů se používají hadice. Pro pohyblivé přívody jsou gumové (jsou dražší a obtížněji se s nimi manipuluje) nebo spirálové z umělých hmot. Pro pevné přívody se používají hadice z umělých hmot (polyuretanové, polyetylenové nebo polyamidové), které jsou laciné, dodává se k nim široký sortiment fitinek a jednoduše se s nimi zachází.

Pro spojování hadic se také vyrábí různá šroubení, koncovky a rychlospojky. Časté je šroubení s převlečnou maticí nebo tzv. CS šroubení (známé z výrobků Festo).

3.8 Parametry rozváděčů

Velikost rozváděčů se volí podle:

- základního objemu a rychlosti přestavení pneumatického motoru,
- požadované četnosti sepnutí,
- přípustné tlakové ztráty.

Tlakový rozdíl $p = p_1 - p_2$ [kPa; kPa, kPa] je měřen při normálním průtoku Q_n .

Normální průtok Q_n je cejchovní hodnota vztažená na 600 kPa vstupního tlaku při tlakovém spádu 100 kPa a teplotě 20 °C (293 °K). Pro určení průtoku se používá nomogram č. 7.

Použití nomogramu č. 7.:

krok 1.: spojíme hodnoty na osách A a C a získáme průsečík této spojnice s osou B (bod potřebný k určení Q),

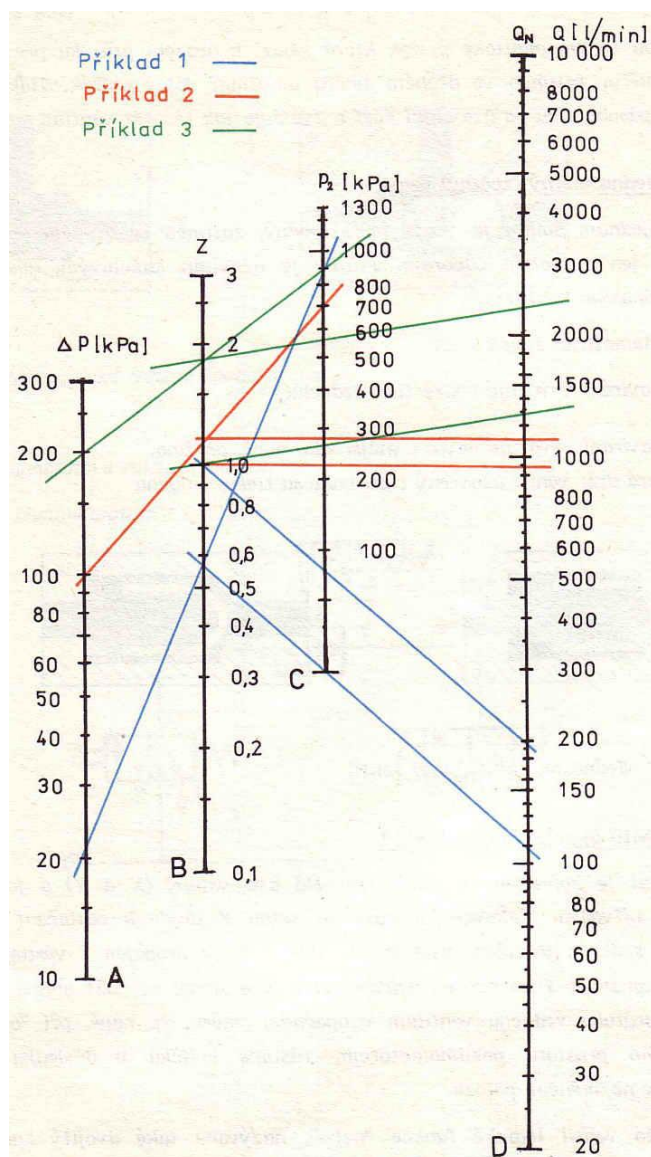
krok 2.: spojíme hodnotu $Z=1$ na ose B se zadanou hodnotou Q_n na ose D,

krok 3.: průsečíkem na ose B získaným v kroku 1. vedeme rovnoběžku se spojnicí z kroku 2. Tato rovnoběžka protne osu D v bodě, který určuje hodnotu průtoku Q.

Příklad 1.: $p_1=800$ kPa, $p_2=780$ kPa, $\Delta p=20$ kPa, $Q_n=200$ l/min → průtok Q ?

Příklad 2.: $p_1=700$ kPa, $p_2=600$ kPa, $\Delta p=100$ kPa, $Q_n=920$ l/min → průtok Q ?

Příklad 3.: $p_1=1000$ kPa, $p_2=800$ kPa, $\Delta p=200$ kPa, $Q_n=1250$ l/min → průtok Q ?



Nomogram č. 7. Určení průtoku rozvaděče

3.9 Literatura

Kapitola č. 3.1. až 3.7. byla vypracována na základě skript:

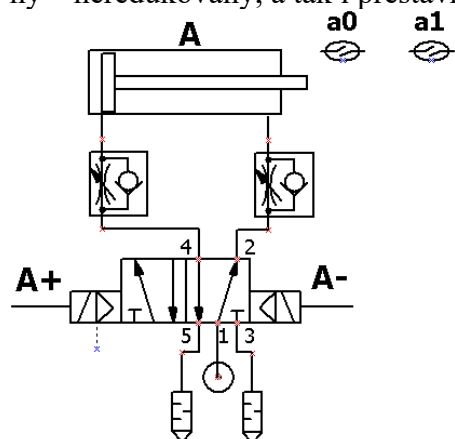
Beneš, Mykiska: Úvod do pneumatiky – Učebnice FESTO Didactic – Postgraduální studium, ČVUT, 1989

3.10 Lineární řízení pneumatických obvodů

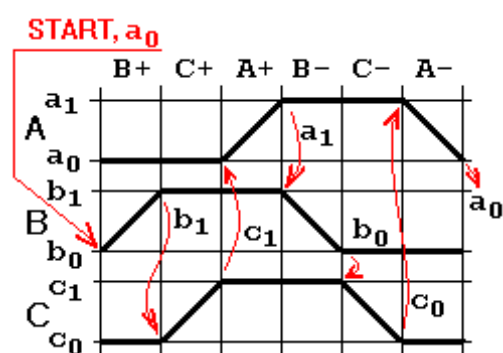
Pneumatický řídicí obvod lze rozdělit na výkonovou část a řídicí část. Každá část může mít samostatný zdroj tlakového vzduchu a jiné hodnoty tlaku. Lineární harmonogram lze snadno rozpoznat porovnáním pořadí pohonů. Pohony jsou seřazeny do skupin, které se vždy opakují (viz níže uvedený příklad).

Výkonová část

Výkonovou část tvoří pneumatický obvod s pneumatickými pohony a jejich rozvaděči. Jedná se vždy o nepřímé ovládání. Řídicí signály jsou pneumatické. Rychlost pohybů se ovládá nastavením jednosměrných škrťacích ventilů, které umožňují nastavovat nezávisle rychlost pohybu v jednom směru. Škrčení se umísťuje vždy na stranu odfuku, takže pracovní tlak pro pohyb je plný – neredukovaný, a tak i přestavná síla je plná – neredukovaná.



Obr. 35. Pohon a rozvaděč



Obr. 36. Harmonogram s označením pohybů a vazeb

Harmonogram

Harmonogram zobrazuje průběh činnosti v čase. Vodorovné linie jsou mezní polohy pohonů a svislé linie vyznačují časové okamžiky dosažení poloh a změn činnosti. Harmonogram obsahuje pojmenování pohonů, snímačů poloh, označení pohybů, vazby mezi aktivací snímače a následující akcí (pohybem), a označení startovacího bodu harmonogramu se startovací podmínkou.

Tabulka proměnných

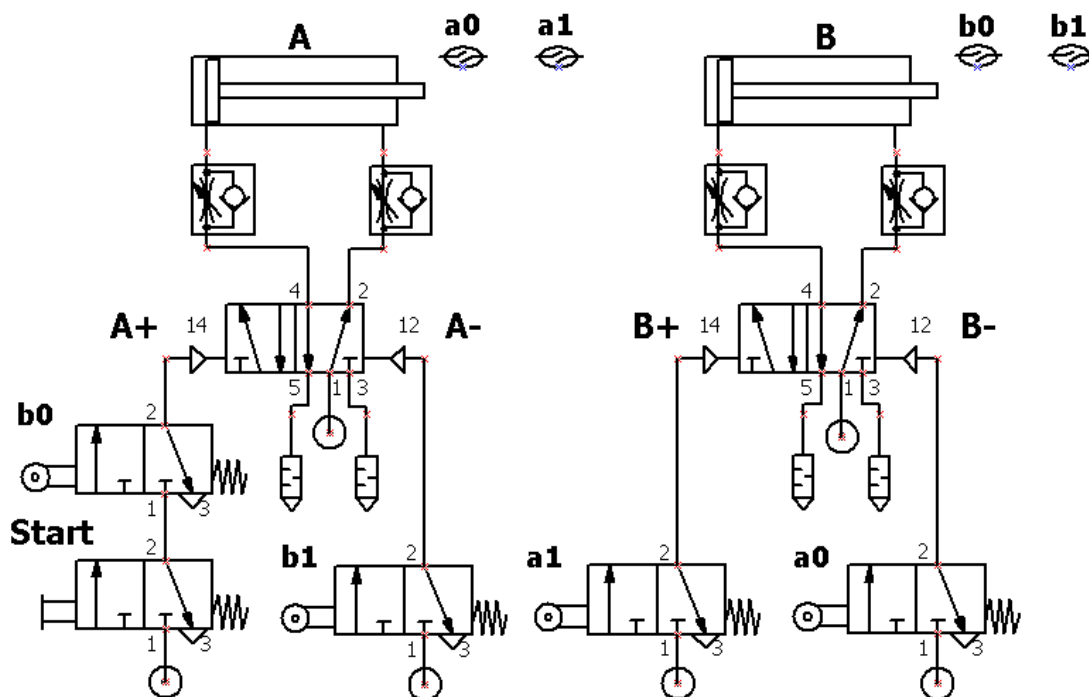
Tabulka obsahuje souhrn všech symbolů použitých ve schématech a jejich význam.

Značka	Význam
A, B, C	pneupohon A, B, C
A+, B+, C+	cívka rozvaděče – vysouvá A, B, C
A-, B-, C-	cívka rozvaděče – zasouvá A, B, C
a ₀ , b ₀ , c ₀	koncový spínač – pohon zasunut
a ₁ , b ₁ , c ₁	koncový spínač – pohon vysunut
S1	tlačítko Start
S2	tlačítko Stop
B1	pomocné relé
H1	signálka – stav zapnuto
H2	signálka – stav vypnuto

Tab. 1. význam prvků schématu

Postup při kreslení schéma ovládacího obvodu:

- Nakreslí se jednotlivé pneumatické pohony s jejich rozvaděči (nepřímé řízení).
- Pod každý řídicí signál rozvaděčů pohonů se nakreslí příslušný koncový spínač (v pneu provedení je to nejčastěji rozvaděč typu 3/2) podle harmonogramu (viz příklad níže, kde je řešen harmonogram A+, B+, A-, B-).
- Pod koncový spínač startovací podmínky (v uvedeném příkladu je to b₀) se nakreslí startovací tlačítko (rozvaděč typu 3/2 s ovládáním pomocí hmatníku a vratné pružiny) a zapojení startovacího obvodu.
- Schematické značky koncových spínačů, které jsou na konci harmonogramu v sepnuté poloze, se doplní o kulisu znázorňující aktivní polohu (v příkladu nejsou nakresleny). (Pokud se kulisy doplní – u snímačů a₀ a b₀ – musí být ve schématu zapojena jejich levá polovina značky).

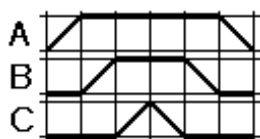


Obr. 37. Pneumatický řídicí obvod

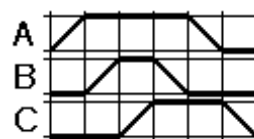
3.11 Nelineární řízení pneumatických obvodů

U nelineárního harmonogramu nejsou vykonávány pohyby pohonů ve stejném pořadí (pozn.: na směr pohybu +/- = vysunutí/zasunutí nezáleží). Na rozpoznání slouží dvě základní situace:

- harmonogram obsahuje jeden nebo více vrcholů (snímač polohy pohonu obrací chod toho samého pohonu – nezáleží na směru pohybu), viz obr. 38. ABCCBA.
- v harmonogramu nejdou pohony ve skupinách ve stejném pořadí, viz obr. 39. ABCBAC.
I u těchto harmonogramů může být několik pohybů provedeno současně.



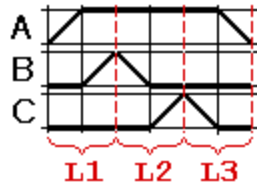
Obr. 38. První typ nelinearity



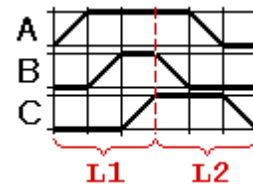
Obr. 39. Druhý typ nelinearity

Fáze nelineárního harmonogramu

Nelineární harmonogram nelze jednoduchým obvodem řešit, protože vznikají „mrtvé“ stavy (na některý pohon jsou přivedeny oba povely + i -), které zablokují další činnost. Nelineární harmonogram je nutné rozdělit na lineární části – fáze harmonogramu. Pro každou fázi je poté snadné vytvořit řídicí obvod (jednoduché řešení lineárního harmonogramu). Řídicí obvody ale musí být doplněny o tzv. **přepínač fází**.

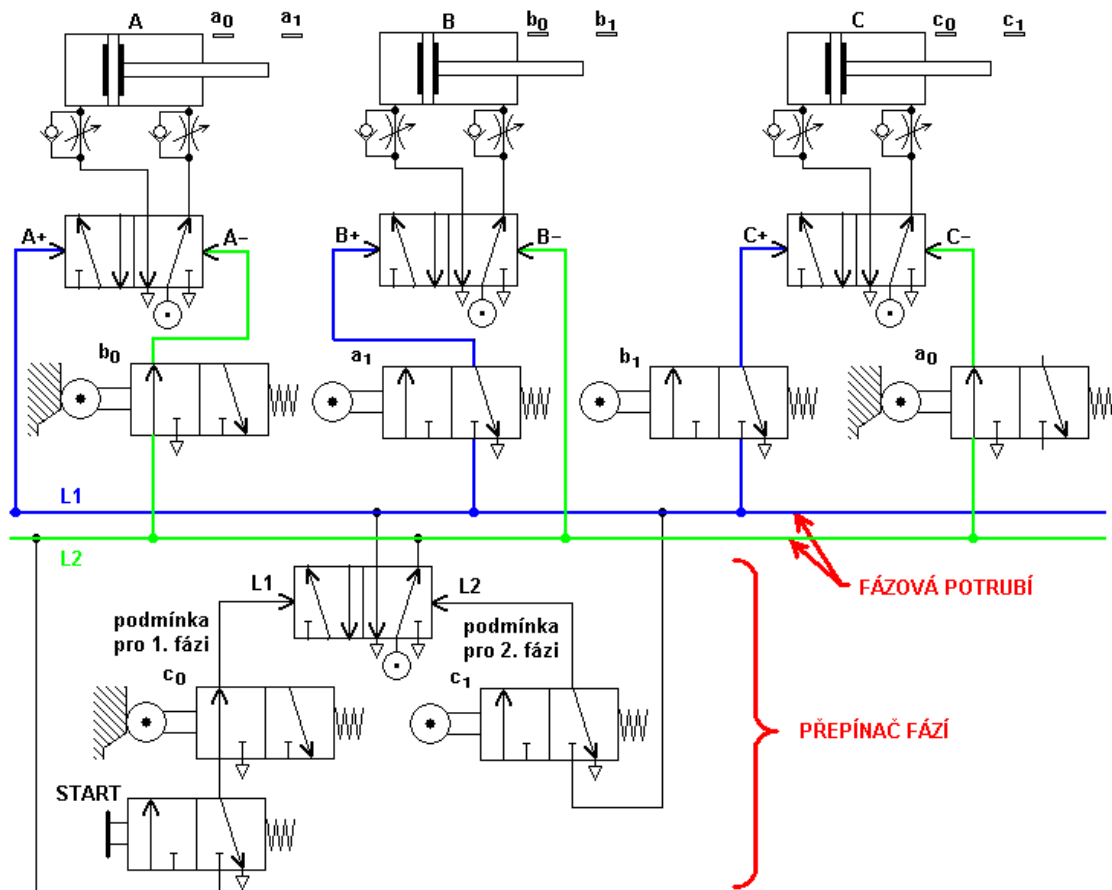


Obr. 40. Harmonogram se 3 fázemi



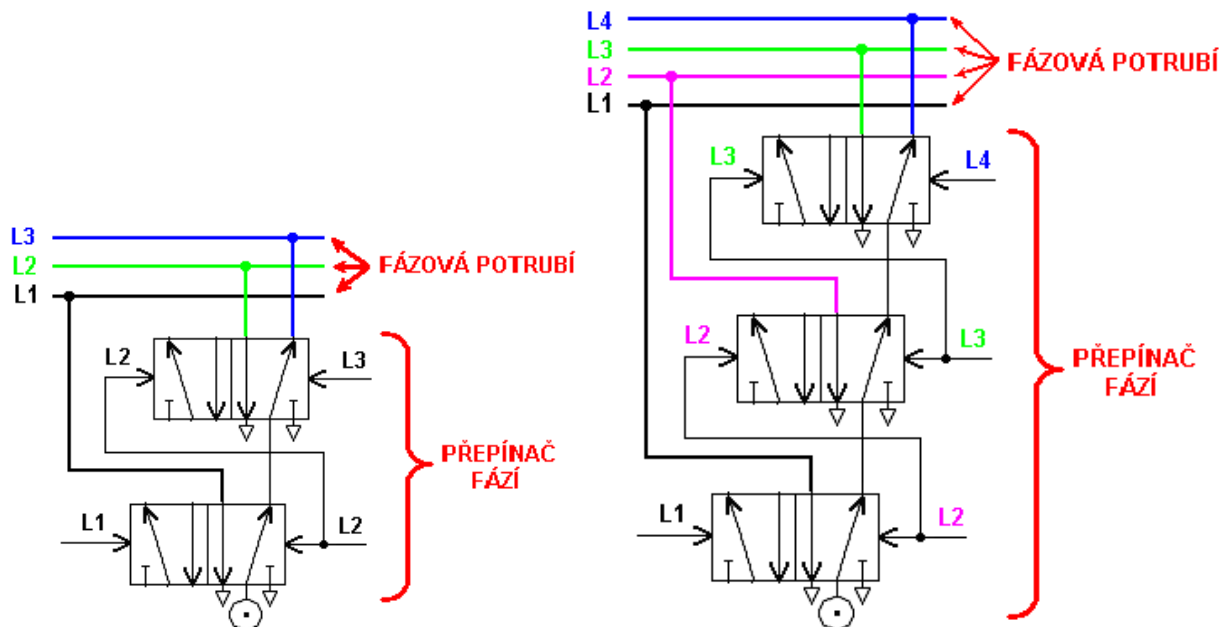
Obr. 41. Harmonogram se 2 fázemi

Přepínač fází zabezpečuje přívod energie do jednoho z řídicích obvodů fází harmonogramu. V jednom okamžiku je tedy funkční jen jedna ze všech fází. K přepnutí přívodu energie na další fázi dojde po dosažení koncového stavu aktuální fáze. S přepnutím na další fázi se zároveň musí předchozí fázi přívod energie odpojit. Tato činnost je cyklická pro celý harmonogram. V případě většího počtu fází se obvod přepínače doplní o další větvev.



Obr. 42. Řešení harmonogramu: A+, B+, C+, B-, A-, C-

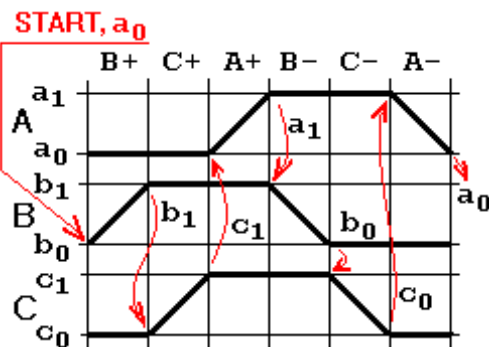
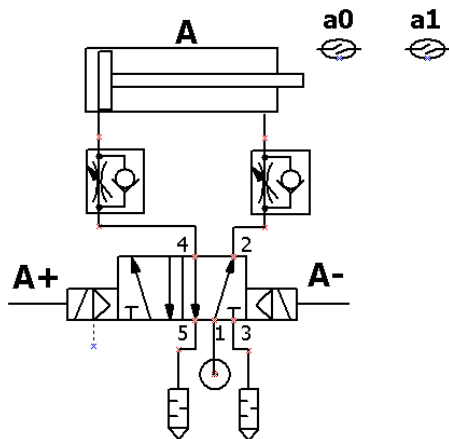
Přepínač fází může být realizován rozvaděči 3/2 nebo nejčastěji 5/2. Je-li fází více, je nutné použít více rozvaděčů 5/2 zapojených tak, aby rozvětvovali zdroj tlaku na potřebný počet fází. Řešení pro 3 a 4 fáze je na dalším obrázku. Přepnutí jednotlivých fází způsobují koncové snímače poloh pohonů stejně jako na obrázku s řešeným harmonogramem výše. Podmínky pro přepnutí fází se odvozují stejným způsobem.



Obr. 43. Přepínač fází pro 3 a pro 4 fáze

3.12 Lineární řízení elektropneumatických obvodů

Výkonovou část tvoří pneumatický obvod s pneupohony a jejich rozvaděči. Jedná se vždy o nepřímé ovládání. Pro výkonovou část, harmonogram a tabulku proměnných platí stejné zákonitosti jako u pneumatického řízení. Základní rozdíl je v tom, že **řídící signály jsou elektrické**. Rychlost pohybů se ovládá stejně jako u pneumatického řízení nastavením jednosměrných škrtkových ventilů, které umožňují nastavovat nezávisle rychlost pohybu v jednom směru.

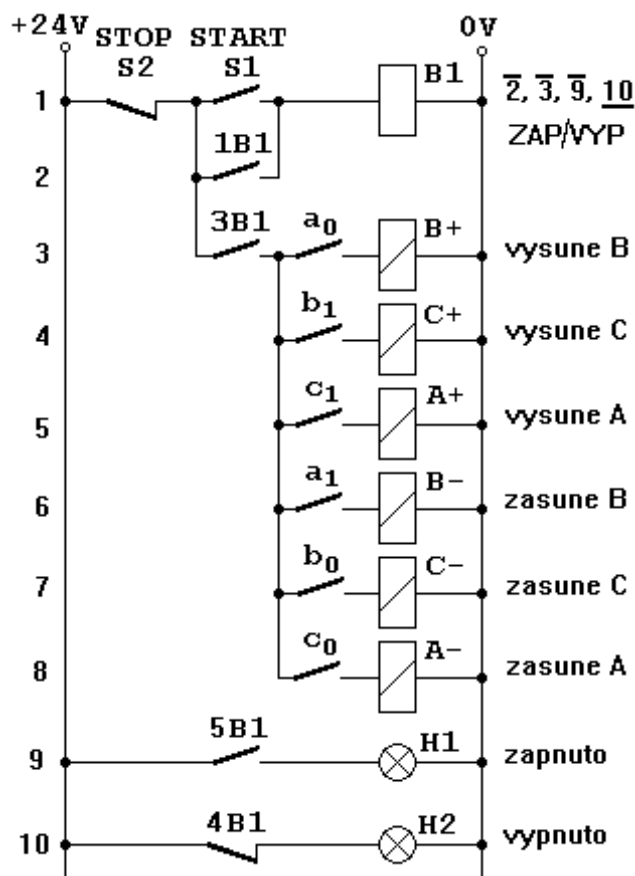


Obr. 44. Pohon a rozvaděč Obr. 45. Harmonogram s označením pohybů a vazeb

Postup při kreslení schéma ovládacího obvodu:

- Nakreslíme krajní svislé čáry (napájecí sběrnice), levá je aktivní napěťový potenciál (fáze, +24 V atd.), pravá je vždy s nulovým potenciálem (0 V).
- Mezi napájecí sběrnice kreslíme jednotlivé linie. V levé části linie jsou podmínky (kontakty) a v pravé části linie výkonové prvky (stykače, relé, žárovky atd.).
- Linie jsou na levé straně vzestupně očíslovány a zprava je stručně popsána jejich činnost. V případě, že na linii je stykač nebo relé, jsou vpravo zapsána čísla linií, ve kterých má relé své kontakty. Nad číslem linie, kde leží spínací kontakt, se kreslí vodorovná čárka. Pro rozpínací kontakt se vodorovná čárka kreslí pod číslo linie.

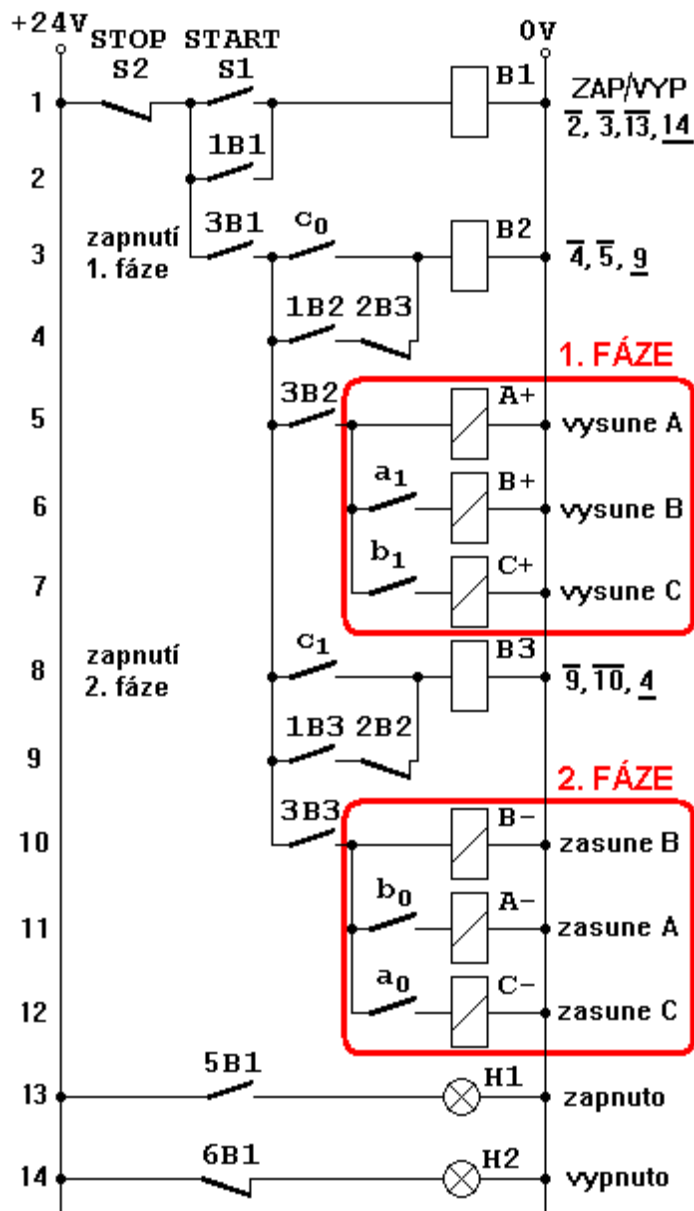
- Každý prvek ve schématu je označen a má označené své svorky. Kontakty jednoho relé se rozlišují číslem před značkou relé. Spínací kontakty lichým číslem a rozpínací kontakty sudým číslem.
- V první linii se nakreslí Start-Stop obvod s pomocným relé B1. První spínací kontakt relé (1B1) je využit pro přídržnou funkci relé B1 a druhý spínací kontakt (3B1) pro sepnutí ovládaných obvodů. Další kontakty (5B1, 4B1) podle potřeby pro signalizaci.
- Linie 3 a další řeší samotný harmonogram. V pořadí podle harmonogramu se zapojují jednotlivé snímače poloh a příslušné elektromagnety, které uvádějí pneumatický pohon v činnost.
- První linie harmonogramu (linie č. 3) obsahuje podmínku startu (a_0) a povel k prvnímu pohybu ($B+$). Na další linii se očekává snímač tohoto pohybu (zde $B+ \Rightarrow b_1$) a další pohyb podle harmonogramu (zde $C+$). Tento sled pokračuje pro všechny kroky harmonogramu.



Obr. 46. Řízení pro lineární harmonogram $B+$, $C+$, $A+$, $B-$, $C-$, $A-$

3.13 Nelineární řízení elektropneumatických obvodů

Přepínač fází má stejnou úlohu jako u pneumatického obvodu, ale je složen z relé. Přepínač pro libovolný počet fází obsahuje pro každou fázi 1 relé. Vzájemné přepínání jednotlivých relé je dosaženo start-stop obvody s prioritou start a vypnutím způsobeným následujícím relé. V případě harmonogramu se 2 fázemi lze obvod přepínače fází vytvořit jen s jedním relé, které je zapínáno (start s přídržným kontaktem) podmínkou pro 1. fázi a vypínáno (stop) podmínkou pro 2. fázi.



Obr. 47. Řízení pro nelineární harmonogram A+, B+, C+, B-, A-, C-

3.14 Spojení dvou ovládacích obvodů do jednoho

Pro spojení obvodů je nutné si vypracovat schéma každého ovládní samostatně. Je jedno, jestli se jedná o lineární nebo nelineární harmonogramy. Základní princip spočívá v zařazení přepínače režimů za snímače a před spotřebiče.

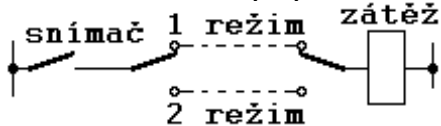
Postup při kreslení schéma ovládacího obvodu:

- Vypracují se samostatné obvody pro oba žádané harmonogramy.
- Obvod pro nelineární harmonogram se upraví tak, aby všechny snímače byly připojeny přímo na rozvod kladného napájení (tj. zcela vlevo). To se docílí přidáním kontaktu fázového relé a prohozením pořadí kontakt-snímač.
- Začne se kreslit výsledný obvod tak, že se nakreslí snímač a za něj přepínač harmonogramů. Dále se překreslují jednotlivé větve od přepínače harmonogramů k povelům pro pohyb. (Každý snímač je využit pro dva obvody.)
- Před každý elektromagnet pneurozvaděče se nakreslí přepínač harmonogramů. (Každý elektromagnet dostává energii ze dvou obvodů.)
- Celkové schéma se zkontroluje zpredu od snímačů i zezadu od elektromagnetů.

- Zkontroluje se zapojení fázových relé a jejich přídržných obvodů.
- Zredukuje se zbytečné přepínače harmonogramů a nahradí se trvalým spojem. To lze provést tam, kde je před přepínačem umístěn v některé větvi kontakt fázového relé.
- Schéma se překreslí s uspořádáním linií v takovém pořadí, které minimalizuje vzájemné křížení svislých spojů mezi liniemi.

Řešený příklad pro harmonogramy 1. $A+B+A-B-$ a 2. $A+B+B-A-$

a) schéma základního přepínače funkcí:



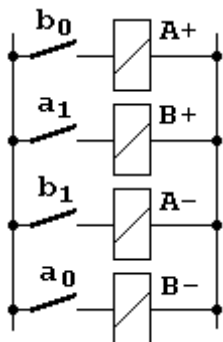
b) harmonogram 1.:



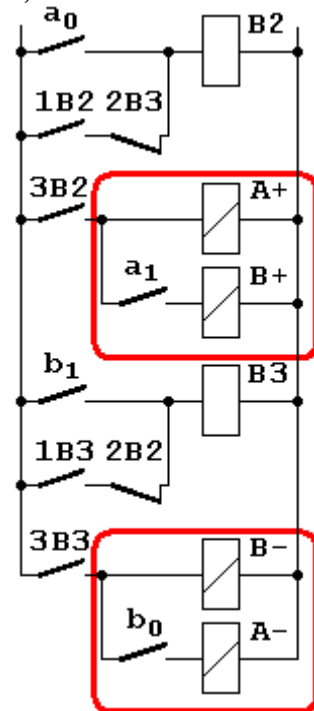
c) harmonogram 2.:



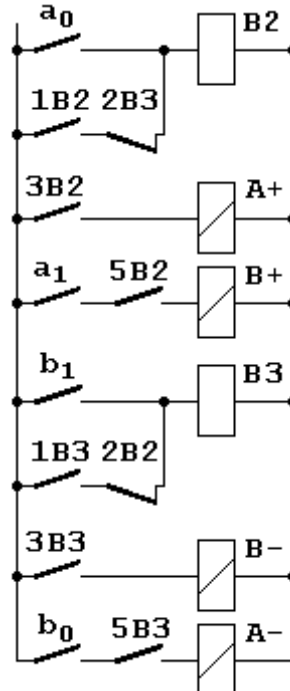
d) lineární schéma:



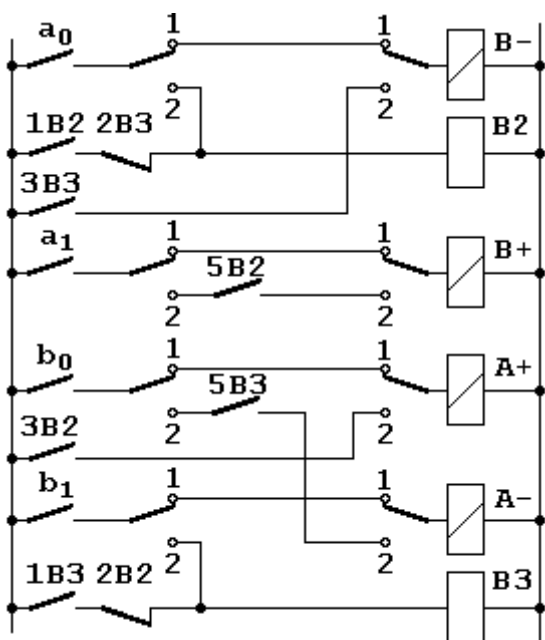
e) nelineární schéma:



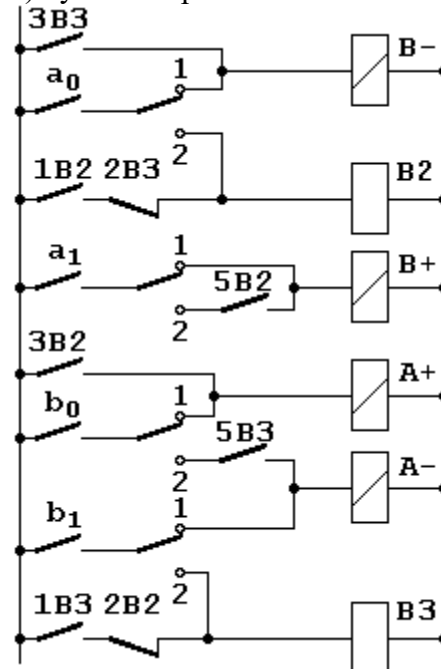
f) úprava nelin. schéma:



g) spojení obou obvodů:



h) výsledné upravené schéma:



Obr. 48. Příklad spojení dvou obvodů

4. PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY

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

Na našem trhu se vyskytuje řada typů PLC různých výrobců 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 1131-3.

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 patří jejich schopnost komunikace s nejrůznějšími systémy a zařízeními (senzory, měřicí zařízení, akční členy) s ostatními PLC a s nadřizenými systémy. Tato schopnost komunikace umožňuje stavbu řídicích systémů skládající se z nejrůznějších komponent od různých výrobců.

4.1 Technické vybavení programovatelných automatů

Každý 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 přídatných jednotek pro komunikaci s ostatními systémy. Jednotky PLC jsou navzájem propojeny systémovou sběrnici.

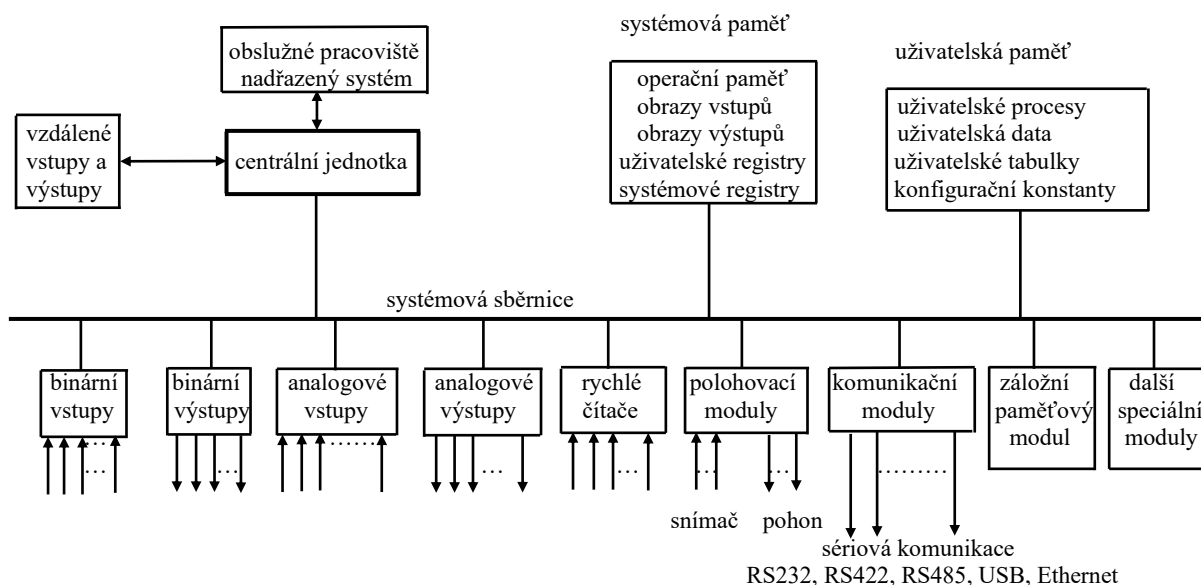
Podle provedení pouzdra (základního modulu) se PLC rozdělují na:

Kompaktní PLC jsou umístěny v jednom malém pouzdře. Rozšíření počtu vstupů a výstupů je možné prostřednictvím speciálních modulů vzhledově a rozměrově přizpůsobených k základnímu PLC. Tyto moduly se připojují speciálními systémovými konektory. Někdy jen „nacvaknutím“ na pouzdro PLC z boku. Každý výrobce řeší tento problém odlišně a mnohdy rozšíření není možné.

Vanové (kasetové) dovolují v malé míře rozšíření pomocí tzv. rozšiřovacích modulů, pro které je v pouzdru PLC připraveno několik slotů. Rozšiřující moduly jsou výrobkem stejného výrobce jako PLC. Výrobce většinou poskytuje poměrně široký sortiment modulů pro řešení většiny problémů při řízení běžných procesů.

Modulární (stavebnicové) PLC jsou tvořeny pasivní datovou sběrnici v rámu (nosnou deskou a sběrnici, angl. breadboardem) na kterou se instalují všechny potřebné jednotky. Začíná se napájecí jednotkou, centrální procesorovou jednotkou (CPU) a pokračuje se volitelnými vstup/výstupními jednotkami podle potřeby projektu. Moduly mohou být od různých výrobců. Tím se rozšiřuje sortiment a jsou k dispozici i velmi speciální moduly, které výrobce PLC nemůže vyrábět.

Většina provedení PLC jsou určena pro montáž na lištu DIN do rozvaděčů.



Obr. 49. Blokové schéma programovatelného automatu

Vlastnosti jednotlivých modulů PLC

Centrální procesorová jednotka

Centrální procesorová jednotka (CPU – Central Processor Unit) je základem celého programovatelného automatu a určuje jeho výkonnost. Bývá jednoprocessorová i víceprocesorová (matematický koprocessor, vstupní/výstupní procesor, komunikační procesor, rychlý bitový procesor). Důležitým charakteristickým parametrem je operační rychlost posuzovaná podle tzv. doby cyklu (doba zpracování 1000 logických instrukcí – 10^1 ms až 10^{-1} ms). Výrobci nabízejí pro daný typ automatu 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 přídatná 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 i více seriových komunikačních kanálů. Většina automatů disponuje hodinami reálného času a kalendářem, tzn. že lze tyto údaje použít při tvorbě programu (ovládání zařízení v určitý den a hodinu).

Binární (digitální) vstupní jednotky

Zajišťují tyto funkce:

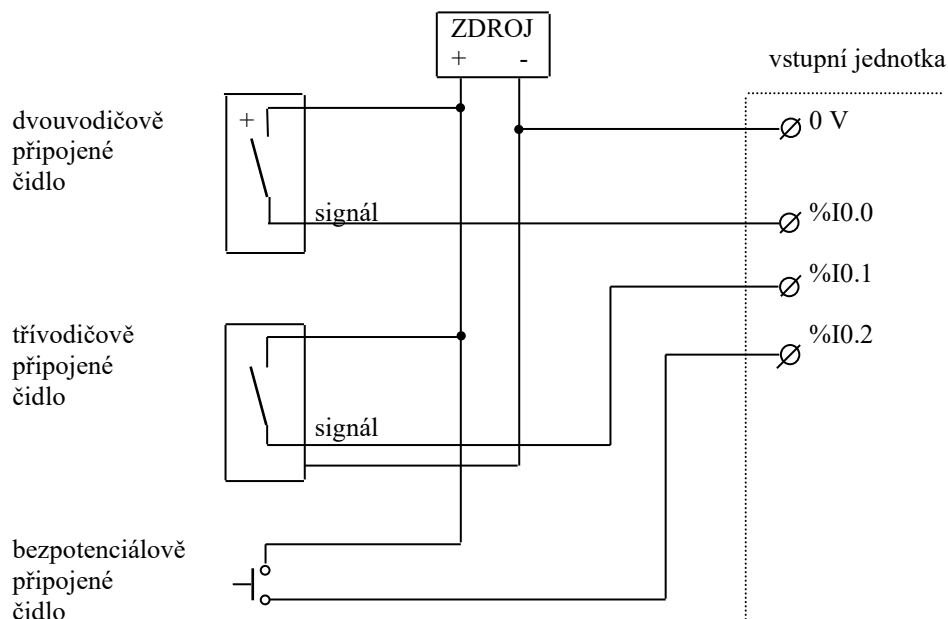
- ochranu vstupů PLC před poškozením nebo zničením přepětím nebo přepólováním,
- odfiltrování krátkodobých rušivých impulsů (např. pomocí zpoždění signálu),
- galvanické oddělení obvodů vstupního modulu od centrální jednotky (pomocí optočlenů),
- signalizaci stavu vstupů (pomocí LED).

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

Napěťové úrovně (nejpoužívanější) - stejnosměrné: 5, 12, 24, 48 V

- střídavé: 24, 48, 115, 230 V

Mají společný vodič pro zápornou i kladnou polaritu.



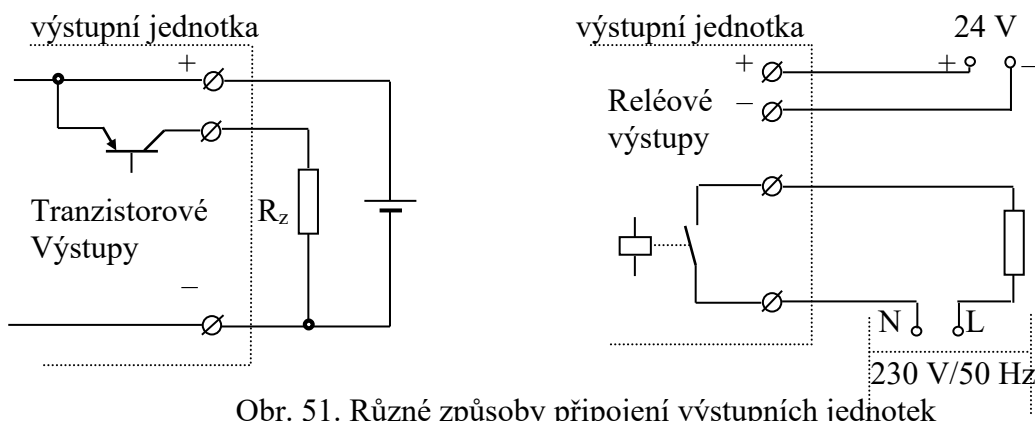
Obr. 50. Různé způsoby připojení vstupní jednotky

Binární (digitální) výstupní jednotky

Slouží k připojování různých akčních členů s dvouhodnotovým charakterem (cívky relé a stykačů, signálky, solenoidové ventily, cívky elektropneumatických a elektrohydraulických rozvaděčů, stupňovité řízení pohonů atd).

Binární výstupní jednotky plní tyto funkce:

- galvanické oddělení výstupního signálu od systému PLC (pomocí optočlenů),
- zesílení signálu na potřebnou úroveň (4 základní zapojení výstupů),
- ochrana výstupů před zkratem (pojistky),
- signalizace stavu výstupů (pomocí LED).



Obr. 51. Různé způsoby připojení výstupních jednotek

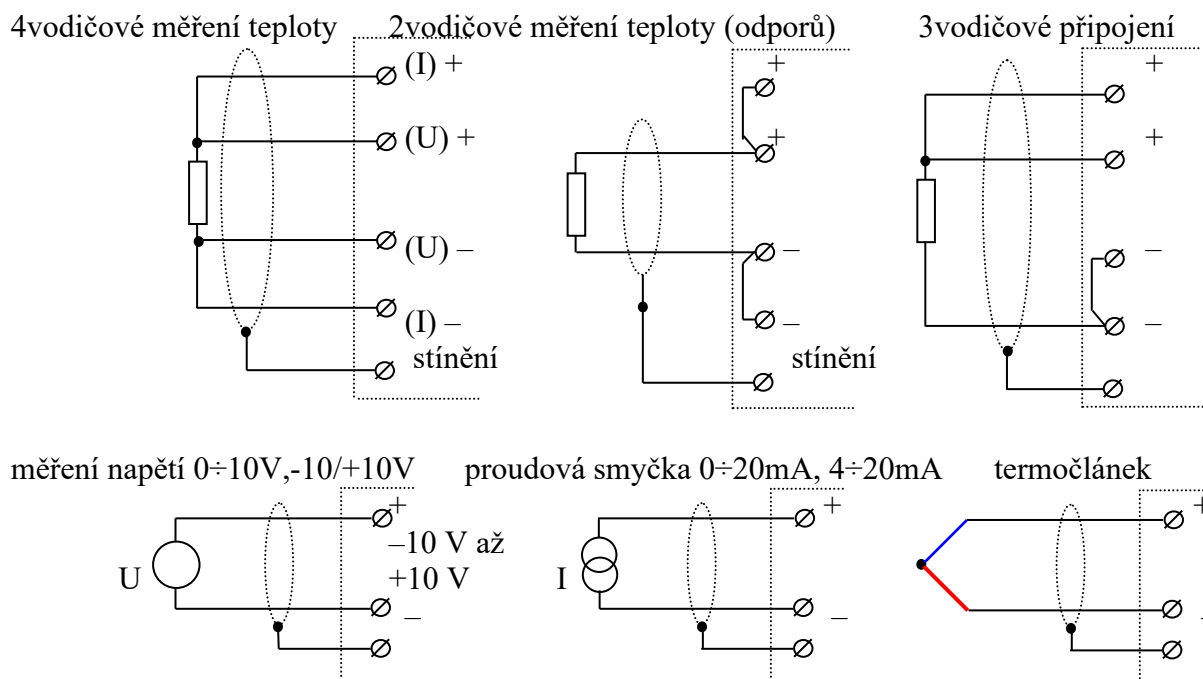
Jako výstupní spínací prvek se používají: tranzistory (PNP i NPN), triaky a relé. To určuje, jakou zátěž lze ovládat.

Výstupní napětí: ss: 24, 48 V – tranzistorové spínací prvky NPN, PNP
 stř: 24 ÷ 250 V, 24 ÷ 48 V, 115 ÷ 400 V – triakové spínací prvky
 pro ss i stř napětí (do 250 Vac / 60 Vdc) – reléové spínací prvky

Analogové vstupní jednotky

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

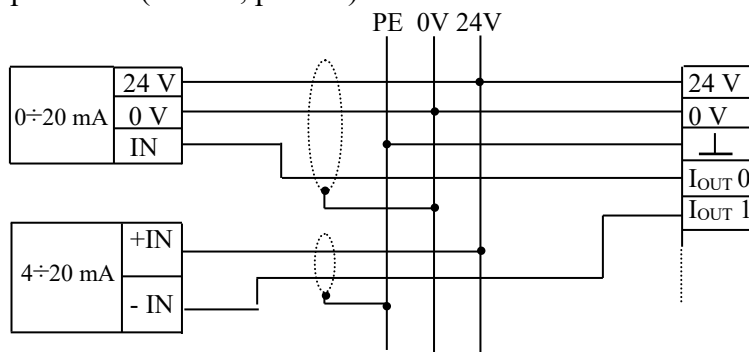
Nejdůležitější součástí je A/D převodník, který převádí analogové napěťové nebo proudové signály na číselné hodnoty. Má rozsah 8 nebo 12 bitů (rozsah určuje přesnost převodu). Analogové jednotky bývají vybaveny specializovanými vstupy é pro určité typy čidel (termočlánek, odporové teploměry ve čtyřvodičovém zapojení atd.). Nejsou již univerzální, ale zato jsou optimálně přizpůsobeny svému určení a poskytují tak kvalitnější a levnější řešení. Moduly s galvanickým oddělením dovolují zvýšit odolnost systému proti rušení.



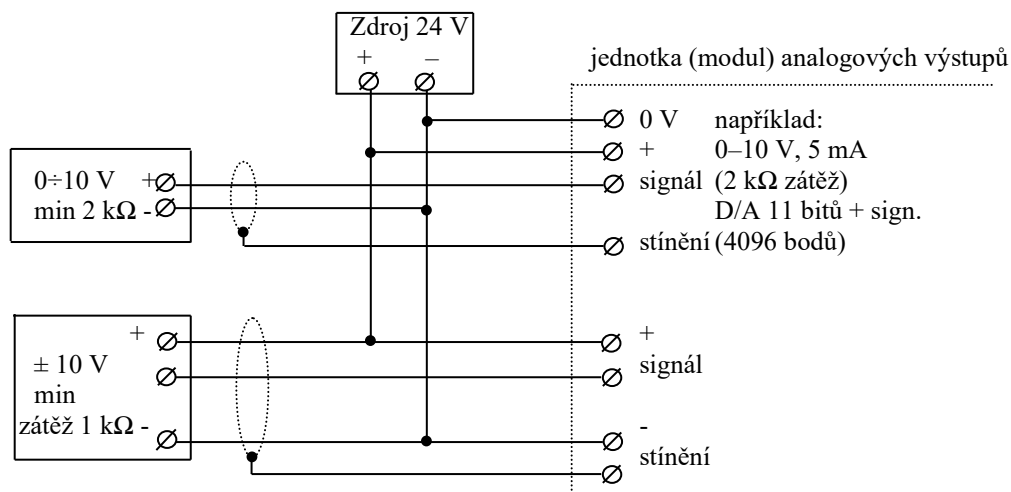
Obr. 52. Různé způsoby připojení analogové vstupní jednotky

Analogové výstupní jednotky

Slouží pro ovládání různých akčních členů či zařízení se spojitým charakterem vstupního signálu (servopohony, frekvenční měniče, ručkové měřicí přístroje atd.). Základ tvoří D/A převodník, zpravidla 8 nebo 12 bitový (na rozsahu závisí přesnost). Analogové výstupy jsou buď napěťové nebo proudové (aktivní, pasivní).



Obr. 53. Připojení akčních členů k aktivním a pasivním proudovým výstupům



Obr. 54. Připojení akčních členů k napěťovým výstupům

Komunikační jednotky

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

Většinou rozšiřují počet asynchronních sériových komunikačních kanálů.

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

Jednotlivé jednotky se liší podle počtu poskytovaných kanálů a podle použitého typu rozhraní (RS 232, RS 422, RS 485, USB, Ethernet, průmyslové síťové standardy)

Speciální jednotky

Moduly doplňující sortiment o speciální funkce jako jsou např.:

- modul s fuzzy logikou a fuzzy regulátorem,
- modul samostatného PID regulátoru,
- modul s pneumatickými výstupy – místo vodičů hadičky (pro výbušná prostředí),
- jednotka pro vstup z CCD kamery – obrazová informace z technologického procesu.

Čítačové jednotky

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

Polohovací jednotky

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, manipulatorů s materiálem a pomocných mechanismů, kde je použití standardních CNC nevhodné a drahé.

4.2 Programové vybavení programovatelných automatů

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

Protože programovatelné automaty byly původně určeny k realizaci logických úloh a k náhradě pevné logiky, obsahuje každý automat instrukce pro logické operace s bitovými operandy, instrukce paměťových funkcí a klopných obvodů, instrukce pro zápis výsledku a mezivý-

sledku 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.).

4.2.1 Vykonávání programu PLC

Program PLC je posloupnost instrukcí a příkazů jazyka. Typickým režimem jeho aktivace je cyklické vykonávání v programové smyčce. Na rozdíl od jiných programovatelných systémů se programátor PLC nemusí starat o návrat programu na začátek po jeho „doběhnutí“, to zajistí 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 první instrukci uživatelského programu. Pro program PLC je tedy typické, že nepracuje s aktuálními hodnotami vstupů a výstupů, ale s jejich paměťovými obrazy, uloženými (konzervovanými) v zápisníkové paměti (registry pro vstupy a registry pro výstupy). Tím je zajištěna synchronizace vstupních a výstupních dat během programu a je tak omezena možnost chyb způsobených nevhodným souběhem měnicích se hodnot většiny systémových proměnných (například zpráv předávaných sériovou komunikací).

4.2.2 Tvorba uživatelských programů

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

Pro tvorbu vlastního uživatelského programu jsou určena speciální rozhraní. U nejmenších PLC, nebo PLC bez možnosti komunikace s PC, se používá několika multifunkčních tlačítek (např. kurzorový kříž) a malý displej (např. dvojitý 7segmentový LED, 4řádkový LCD). U tohoto vybavení se často programuje výběrem programovacích číselných kódů.

Někteří výrobci PLC dodávají k svým PLC samostatné přenosné (kapesní) programovací přístroje „programátory“ / terminály. Na těchto terminálech je možné zjednodušeně skládat program pomocí zkratk, nebo značek, ovládat PLC, editovat paměť PLC, testovat program, ukládat programy do databanky atd. Pro zkušenou obsluhu je práce s terminály velice rychlá a pohodlná. Některé terminály ani nevyžadují vlastní napájecí zdroj.

Nejčastěji se k vývoji uživatelského programu používá specializované sw vybavení pro PC. Většina výrobců poskytuje integrované vývojářské prostředí (IDE) pro svá PLC. Pomocí IDE je možno konfigurovat celý systém, provádět zápis a editaci programu (v libovolném z nabízených jazyků), editovat tabulky proměnných, používat syntaktickou kontrolu programu, ladit program v simulačním režimu (bez PLC) atd. Některé systémy umožňují ladit program i při běhu PLC (v režimu on-line). Zároveň s programem se tvoří i dokumentace programu – výpis programu, tabulky proměnných a jejich přiřazení, nastavení čítačů a časovačů, komentáře k programu atd.

Metodika programování PLC některých výrobců je dost podobná a případný přechod na jiný systém nečiní problémy. Téměř každý výrobce PLC umožňuje tvorbu programů ve všech typech jazyků. Pro názornost se začátečníkům doporučuje jazyk kontaktních schémat. Základními obvody jsou kontaktní logika pro součin a součet podmínek, jednoduchý start-stop obvod, ovládání s blokováním, podmíněné zapnutí či vypnutí, časování prodlev, periodické funkce vytvořené pomocí časovačů, čítání událostí, PID regulátor a další speciální funkce (cyklický řadič, pulsně šířková modulace výstupu, matematické operace, porovnávání logických a číselných hodnot atd.).

4.2.3 Programovací jazyky PLC

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

Jazyk mnemokódů

(anglicky Instruction List – zkr. IL, německy AnWeisungsList – zkr. AWL) je obdobou assembleru u počítačů a je také strojově orientován (každé instrukci PLC systému odpovídá stejně pojmenovaný příkaz jazyka). Tyto jazyky poskytují obvyklý „asemblerový komfort“ - aparát symbolického označení 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 liniových (kontaktních / reléových) schémat

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

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

Jazyk logických schémat

(anglicky Function Block Diagram – zkr. FBD, německy Funktion Plan – zkr. FUP) je grafický jazyk, který základní logické operace popisuje obdélníkovými značkami logických hradel. Výška značky je přizpůsobena počtu vstupů. Své značky mají i ucelené funkční bloky (čítače, časovače, posuvné registry, paměťové členy, aritmetické a paralelní logické instrukce). Vyhovuje pro malé aplikace s převahou řídicí logiky.

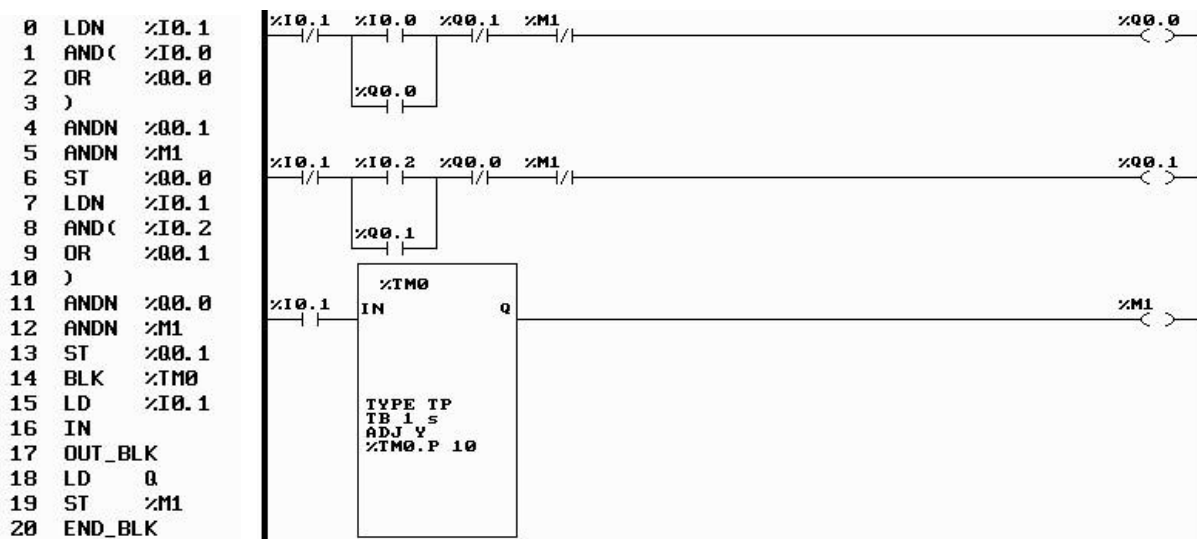
Jazyk strukturovaného textu

(anglicky Structured Text – zkr. ST, německy Struktieren Text – zkr. ST) je obdobou vyšších programovacích jazyků pro PC nebo mikrořadiče (Pascal, C). Umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů. Je vhodný pro náročné a rozsáhlé projekty.

Grafický jazyk pro sekvenční programování

(anglicky Sequential Function Chart – zkr. SFC, GRAFCET) tvoří nadstavbu nad popsávanými jazyky. K popisu struktury používá značky stavů přechodů a větvení. Chování v jednotlivých

stavech nebo definování podmínek přechodů lze obvykle popsat prostředky kteréhokoliv z předchozích jazyků, nebo dalším vnořeným sekvenčním grafem (podgrafem). Je velmi názorný a podporuje systémový přístup k programování.



! (* Hnací válec pro plnění boxu 1 a 2 *)

```

SET %M4;
RESET %M5;

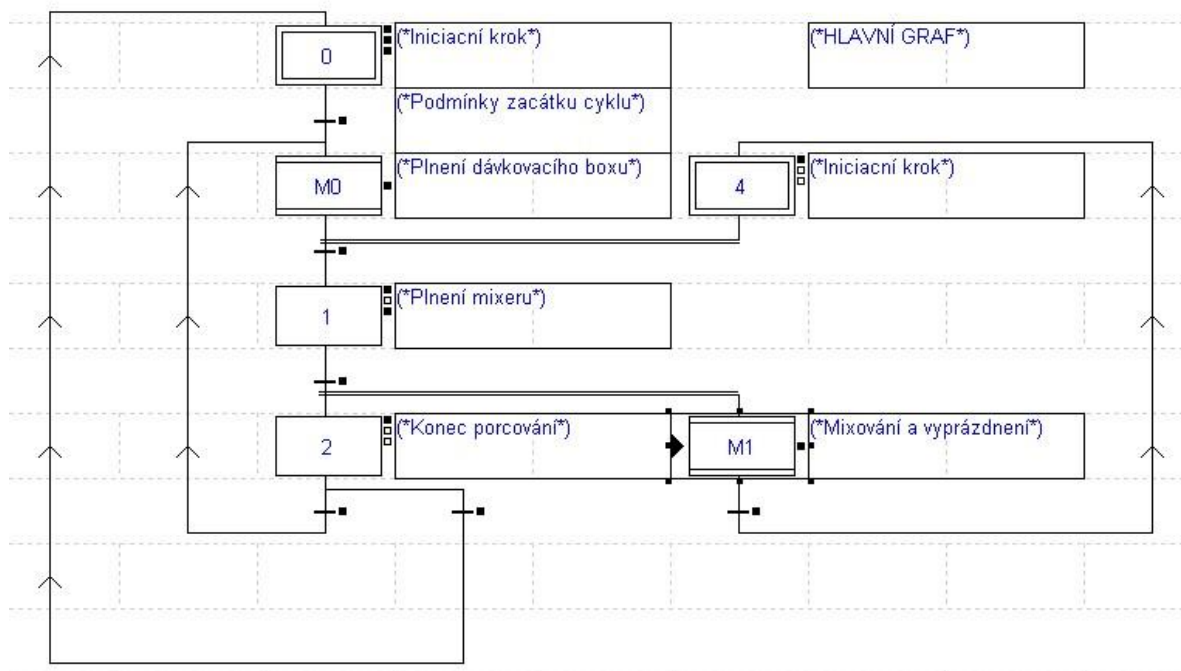
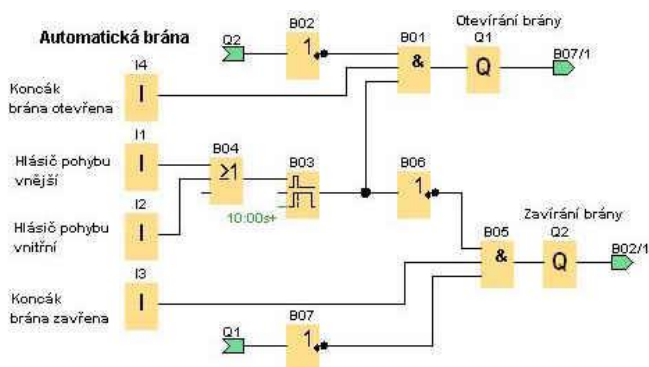
IF %M1 AND %M3 THEN SET %M6;
ELIF %M1 AND %M2 THEN %M6:=%M2 OR %M3;
ELSE RESET %M6;
END_IF;

WHILE %M1 DO %MW1:=%MW1+1;
END_WHILE;

REPEAT %MW2:=%MW2-1;
UNTIL %MW2>3 END_REPEAT;

FOR %MW5:=1 TO 50 DO %MW3:=%MW3+1;
END_FOR;

```



Obr. 55. Ukázky programovacích jazyků

Soft PLC a Slot PLC

S růstem výkonnosti a spolehlivosti PC se začaly PC nasazovat i pro úlohy řízení. Velká kapacita operační paměti, vysoký výkon, vysoká rychlost a množství softwarových nástrojů je stále velkou předností, kterou lze u PLC stěží nalézt. Postupem času byla vyvinuta řešení, která nahrazují klasické PLC programem běžícím na PC tzv. softwarové PLC zkráceně **soft PLC**. Přitom lze disponovat všemi výhodami běžného PC. Pro nasazení v průmyslovém prostředí se vyrábí PC v odolnější provedení (tzv **industrial PC – IPC**). IPC mají vyšší tepelnou odolnost, vyšší odolnost vůči otřesům, rušení, skříní určenu pro montáž do rozvaděčů atd. Jejich cena je také díky těmto úpravám 3 až 10× vyšší. Další kategorií jsou vestavné počítače (**embedded PC**). Jsou většinou dodávány jako 1 deska plošných spojů na které je umístěn plnohodnotný počítač s odolností pro nasazení v průmyslu, letectví, námořnictví a kosmonautice. Jsou to výrobky firmy Advantech, Octagon nebo standard PC104. Pro vestavné aplikace existuje i několik operačních systémů. Jsou to minidistribuce Linuxu, reálné O.S. jako je např. RTS2 a vestavné systémy Microsoftu (např. MS Win CE) a další.

Nakonec je pouze potřeba vybavit IPC, nebo zmíněné embedded PC, vhodnými moduly umožňující připojení výrobní technologie. Za tímto účelem se vyrábí celý sortiment modulů (binární a analogové vstupy a výstupy, komunikační jednotky, záložní moduly UPS atd.).

Poslední skupinou jsou tzv. **slot PLC**, které jsou koncipovány odlišně než soft PLC. Jsou to doplňující moduly (obsahující kompletní PLC), které se osazují do slotů PC nebo IPC (na sběrnici ISA, PCI ...) a rozšiřují tak jeho hardware. Slot PLC mohou být zcela nezávislé na počítači ve kterém jsou nainstalovány, a to včetně nezávislého napájení. Výhodou jejich použití je možnost kombinovat komfort práce na PC a spolehlivost PLC.

Příklady PLC a programového vybavení různých výrobců:

Výrobce	Typ PLC	Programové vybavení	Typ jazyka
Siemens	Simatic S5 Simatic S7	STEP 5 STEP 7 MicroWin	MN, LD, FBD
Festo	FPC101, FPC202, FPC404, FPC405	FST101, FST202 FST404, FST405	LD, ST (Festo Software Tools)
Teco a. s.	TECOMAT NS 9xx TC 500, TC 600	xPRO, MOSAIC TECOREG	MN, LD, FBD MERKUR
Schneider Group	TSX Nano TSX Micro TSX Premium TSX Momentum	PL7-07 PL7 junior	MN, LD, ST GRAFCET
GE	Fanuc		MN, LD

4.3 Diagnostika řízení

Obecná technická diagnostika se zabývá zjišťováním technického stavu zařízení s cílem předpovědět dobu dalšího bezporuchového provozu a včas naplánovat potřebné servisní úkony, které prodlouží životnost zařízení. Úkolem diagnostiky je také existující závadu určit a zjistit kde se nachází. Z těchto důvodů je potřebné naměřené diagnostické veličiny digitalizovat a zpracovat pomocí pokročilých analytických metod rozpoznání. Při tom se uplatňují statistické metody, numerické metody, fuzzy logika, neuronové sítě a expertní systémy.

V rámci oboru automatizace se diagnostika zabývá také diagnostikou řídicích systémů, od kterých se očekává dlouhodobý, nepřetržitý a bezporuchový provoz. Využívá se diagnostika logických obvodů, elektronických obvodů, polovodičových součástek, tepelná diagnostika apod.

Název diagnostika je odvozen z řeckého základu dia–gnosis = skrze poznání. Původně byl tento pojem používán jen v lékařství. **Technická diagnostika je vědní obor zabývající se metodami, postupy a prostředky bezdemontážního a nedestruktivního zjišťování technického stavu objektu.**

Základní pojmy jsou:

diagnóza: vyhodnocuje okamžitý technický stav objektu. Základní úkoly diagnózy jsou:

- **detekce** vady nebo poruchy,
- **lokalizace** vady nebo poruchy,

prognóza: (z řeckého prognosis) je předpověď vývoje technického stavu objektu,

geneze: (z řeckého genesis) je analýza příčin vady nebo poruchy.

4.3.1 Vnější diagnostické možnosti řízení

Vnější diagnostika je tvořena přídavným zařízením, které sleduje významné veličiny v řídicím obvodu, nebo obvodu PLC, a na základě zjištěné situace vyhodnocuje výskyt poruchy, nebo celkovou funkceschopnost řízení. Do samotného řízení diagnostika nezasahuje, a i bez ní by mohlo být v provozu. Existují 3 základní obvodové řešení vnějších diagnostických zařízení: hlídání, zálohování a redundance.

Vnější hlídací obvod

Pro zajištění trvalé funkce řídicího systému je možné doplnit řízení o doplňkový časový hlídací obvod. Hlídací obvod (v angl. literatuře: watch dog) se v pravidelném intervalu dotazuje řídicí jednotky, zda je funkční a očekává předem známou odezvu. Pokud doba odezvy překročí stanovenou mez, nebo odpověď není shodná s očekávanou odpovědí, hlídací obvod reaguje definovaným způsobem.

U jednodušších systémů hlídací obvod zastaví činnost, nebo odpojí výstupy od řídicí jednotky a připojí je na bezpečnou úroveň (bezpečnou klidovou kombinaci). U mikroprocesorového systému způsobí hlídací obvod jeho restart (reset), nebo inicializaci. Protože celá činnost hlídacího obvodu i s reakcí může trvat jen setiny vteřiny, nemusí obsluha tuto situaci postřehnout.

Technické řešení hlídacího obvodu bývá i velmi jednoduché. Tím se dosahuje jeho nízké ceny a automaticky především požadované vyšší spolehlivosti hlídacího obvodu.

Zálohování systémů

V případě, že s ohledem na technologii, jsou přípustná zastavení procesů, mnohdy postačí jednoduché zálohování hlavního řídicího systému systémem záložním. Řídicí systém musí být kontrolován diagnostickým a kontrolním zařízením, které vyhodnocuje výstupy řízení a posuzuje je podle předem známých údajů. Spolehlivost diagnostického a kontrolního zařízení musí řádově převyšovat spolehlivost řízení. O přepojení na záložní systém může, podle okamžitého stavu, rozhodovat i člověk v úloze operátora. Stav přepnutí na záložní systém se signalizuje jako havarijn

událost. Použití záložního systému je omezeno na dobu nezbytnou pro výměnu nebo opravu hlavního systému. Protože záložní systém má být v chodu jen omezenou dobu, nemusí být vždy rovnocenný z hlediska výkonu, spolehlivosti a ceny. Při výskytu chyby na záložní jednotce je nutné technologii zastavit. Diagnostika zálohovacích systémů vyhodnocuje nejen funkceschopnost, ale také může diagnostikovat závažnost chyby a její zdroj.

Redundance systémů

Tam kde je vyžadována nejvyšší míra bezpečnosti se uplatňuje systém majoritní kontroly. Toto řešení se používá při řízení jaderných reaktorů (elektrárny, lodě, ponorky) nebo kosmických lodí. Řízení se skládá nejméně ze 4 jednotek, ze kterých jsou nejméně 3 v činnosti a další jsou záložní. Diagnostický modul navzájem porovnává výstupy 3 aktivních jednotek a pokud jsou výstupy nejméně 2 jednotek shodné, jsou uznány za správné a ostatní výstupy jsou vyloučeny. Diagnostický modul automaticky odpojí vadnou jednotku a automaticky ji nahradí zálohou a signalizuje závadu. Nahrazení záložní jednotkou a výměna vadné se děje za plného provozu. Např. u raketoplánů řady Space Shuttle se používalo 5 řídicích počítačů a jejich kontrola majoritou 2 ze 3. Vzhledem k tomu, že kontrolní obvod je nepoměrně jednodušší než řídicí počítače, je možné (a zároveň nutné), ho konstruovat s mnohonásobně vyšší spolehlivostí, protože jeho spolehlivost je klíčová. Diagnostika v tomto případě nevyhodnocuje druh chyby, ale jen celkovou funkčnost řízení.

4.3.2 Vnitřní diagnostické možnosti

Vnitřní diagnostika řídicích systémů se rozděluje na 2 specifické oblasti: na diagnostiku hardwarovou a softwarovou. Každá z nich má nezastupitelné místo v konstrukci řídicích jednotek a také PLC. Nejlepší výsledky dává využití obou skupin ve smíšené aplikaci, kde hardware podporuje software a naopak. Z tohoto úhlu pohledu je diagnostika PLC smíšená.

Hardwarová diagnostika

K usnadnění obsluhy, rychlé a snadné kontrole činnosti může být každý systém doplněn pomocnými obvody (nejčastěji se jedná o elektronické obvody), které vyhodnocují stav částí nebo celého řízení. Mezi nejdůležitější diagnostické metody patří vyhodnocování:

- velikosti napájecího proudu (krátkodobé a trvalé zvýšení/snížení odběru),
- šumu, velikost a kolísání napájecího napětí (zejména přepětíové a podpětíové špičky),
- přítomnost definovaných logických signálů během činnosti,
- teplota součástek a jejich okolí,
- doba reakce na určité podněty (testovací signály)

Diagnostické obvody zpracovávají a vyhodnocují určité veličiny a informace o výsledcích předávají do PLC pomocí signálů a proměnných typu bit nebo byte. Souhrnné výsledky této diagnostiky jsou signalizovány přímo na panelu zařízení nejčastěji pomocí jedné kontrolní LED. Svítivá dioda může vyjadřovat i více situací různými režimy blikání a trvalého svitu. Diagnostický obvod musí mít tzv. bezpečnou funkci, tj. v případě poruchy samotné diagnostiky nesmí podávat falešnou informaci o bezchybném provozu.

Softwarová diagnostika

Mikroprocesorové systémy mají kromě hardwarové diagnostiky ještě možnost využít ke zjištění stavu sama sebe a svých periférií programové nástroje. Jsou to speciální programy, které mají za cíl co nejlépe ověřit činnost některé z komponent mikroprocesorového systému PLC.

test mikroprocesoru: samotný mikroprocesor lze otestovat souborem instrukcí, které vyčerpají všechny možnosti dané instrukční sadou. V testovacím souboru jsou zadávány i operandy instrukcí a lze tak ověřit správnost provedení každé instrukce. V rámci mikroprocesoru lze testovat i jeho zásobníkové paměti, registry a příznaky.

test operačních pamětí: spočívá v naplnění paměti určitými bitovými vzory a v následném čtení obsahu. Tento test se týká paměti typu RWM, RAM, SRAM, DRAM apod. které ztrácejí obsah při ztrátě napájení. Vzhledem k jejich rychlosti tento test většinou netrvá příliš dlouho a lze jej provádět v pravidelných okamžicích (po restartu systému, jednou za x hodin apod.).

test trvalých pamětí: je možné jej provést metodou součtu obsahu nebo součtu všech logických jedniček v celé paměti. Takto mohou být testovány paměti typu EPROM, PROM, ROM, EEPROM, FLASH. Testování musí být dopředu plánováno, a kromě požadovaného obsahu je potřebné uložit do paměti (většinou na konec jejího obsahu) i kontrolní součet. Samotný typ součtu záleží na použitém algoritmu, může to být klasický kód CRC (Cyclic Redundance Checksum) nebo absolutní součet modulo 255 / 65535 (tj. výsledek uložen v 1 bytu nebo ve 2 bytech) apod.

test periferií: v případě, že mikroprocesorový systém má na vnitřní datovou sběrnici připojenu libovolnou periférii, lze ji otestovat na správnou odezvu. Dané periférii se vyšle příkaz, na který periférie musí odpovědět. Kromě adresace základních funkčních portů nebo registrů mají periférie sady registrů s obsahy, které vypovídají o stavu periférie, její konfiguraci, jejím názvu, základní funkci, případně obsahují základní údaje výrobce.

4.3.3 Diagnostika PLC

PLC mají, jako každý mikroprocesorový systém, u kterého se klade důraz na spolehlivost, zapracovány poměrně složité vnitřní softwarové mechanismy. Výsledky testů jsou poskytnuty uživateli, který může ve svém uživatelském procesu na ně reagovat. Díky tomu lze rovněž zpracovávat i výskyt chyb. Druh reakce může být rozmanitý – od jednoduché signalizace, po zastavení řízeného procesu a uvedení PLC do klidového stavu. Diagnostiku PLC lze rozdělit do 3 základních skupin kontrol:

kontrola vykonávání uživatelského procesu: základní kontrola se provádí během vykonávání programu a řeší reakce na výskyt matematických a logických chyb. Výskyt takovýchto chyb většinou nezpůsobí zastavení činnosti PLC, ale chyby jsou pouze indikovány v systémových proměnných. Jako příklad mohou posloužit systémové bity a slova PLC Schneider TSX Micro:

%S15 = character string fault – chyba znaku v řetězci,
%S17 = overflow – přetečení (překročení) rozsahu proměnné,
%SW17 = fault on floating point operation – chybný výsledek operace s plovoucí čárkou,
%S18 = overflow/arithmetic error – přetečení/aritmetická chyba,
%S20 = index overflow – překročení indexu,
%S26 = table overflow – překročení hranic tabulky dat,
%SW125 = type of blocking fault – typ chyby způsobující zastavení PLC,
%SW126 = address of block. fault instruction – adresa instrukce způsobující zastavení PLC,

kontrola doby průchodu uživatelského procesu: uživatel stanoví maximum a minimum trvání vykonání jednoho průchodu uživatelského procesu a také maximum jednoho cyklu PLC. Překročení těchto limitů je indikováno:

%SW11 = watchdog time – nastavení času hlídacího obvodu,
%S11 = watchdog overflow – překročení maximální povolené doby hlídacího obvodu,
%S19 = task period overflow – překročení doby pro stanovenou úlohu,
%SW30 = execution time of master task scan – doba provedení hlavní úlohy,
%SW31 = max. time of master task scan - max. doba na provedení hlavní úlohy,
%SW32 = min. time of master task scan - min. doba na provedení hlavní úlohy,

kontrola hardware PLC: provádí se v rámci režijní činnosti otočky cyklu PLC. Při každé otočce cyklu se kontroluje činnost samotné centrální jednotky PLC tedy procesoru a poté se testu-

je paměť s uživatelským procesem (trvalá uživatelská paměť EEPROM). Po základním testu jádra PLC se testují konfigurované periferie, což jsou výměnné moduly s funkcemi vstupů a výstupů, které uživatel přihlásil pomocí konfigurace (konfiguračních konstant) do systému. Test poskytuje informaci o platnosti konfigurace a základní funkceschopnosti těchto periférií. U analogových modulů se indikuje i překročení povolených mezních hodnot. Mezi periferie se řadí i samotný napájecí zdroj jádra PLC.

%S10 = I/O fault – chyba vstup/výstupního modulu,

%S16 = task I/O fault – chyba I/O v rámci úlohy,

%S51 = loss of real-time clock time – ztráta reálného času,

%SW54 = time of last power failure – čas poslední chyby napájení,

%SW124 = type of last CPU fault found – typ poslední nalezené chyby CPU.

4.4 Návrh obvodu s PLC

Při návrhu je nutné se držet následujících připomínek:

1. návrh, splňující požadavky, lze řešit různými způsoby, více hodnot je neznámých než daných,
2. návrh vzniká více méně extrapolací z již realizovaných a vyzkoušených řešení,
3. přijetí filozofie návrhu se musí převést do technické řeči a zadavatel musí definovat své požadavky ve formě kritérií pro činnost navrhovaného regulačního obvodu,
4. každý prvek v systému je nutné posuzovat z pohledu celkové činnosti.

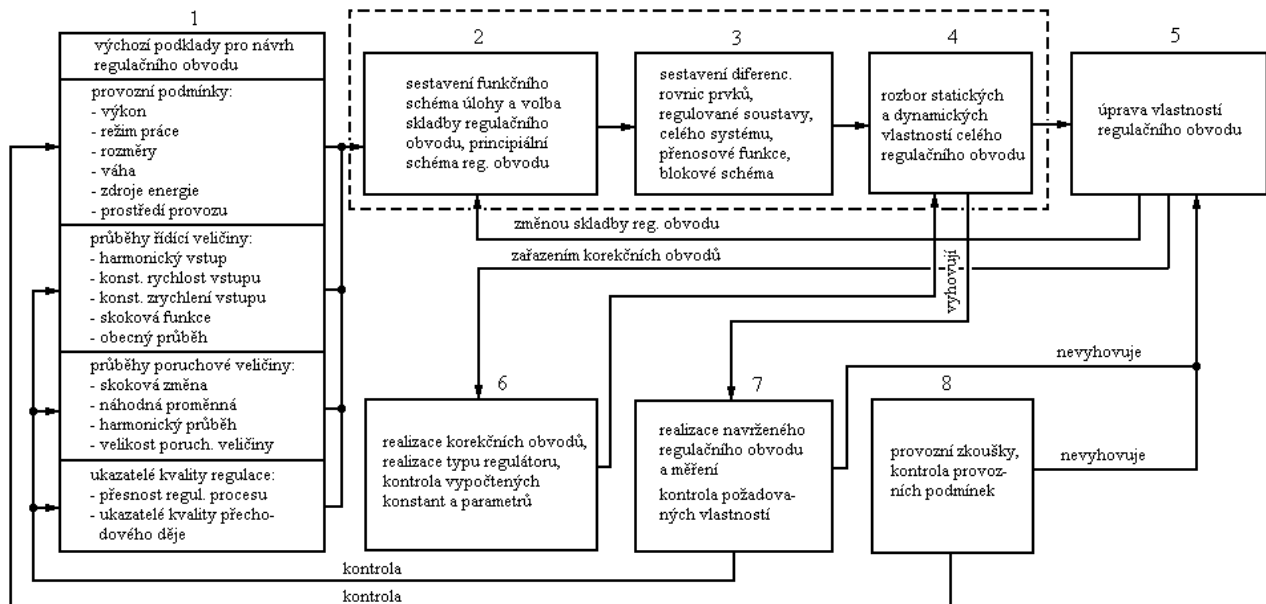
Životní cyklus projektu

Při projektování řídicích systémů se vychází ze životního cyklu projektu. Ten je možné rozdělit do kroků od zadání, kdy se projekt zrodí do uvedení do provozu, kdy projekt končí. Jednotlivé kroky životního cyklu projektu jsou:

- zadání,
- systémová analýza,
 - analýza systému,
 - analýza současného stavu,
 - analýza požadovaných funkcí,
 - hrubý návrh systému,
 - analýza spolehlivosti,
 - analýza dalšího rozvoje systému,
 - návrh způsobu testování,
 - návrh způsobu integrace a uvádění do provozu,
 - časový plán a personální zabezpečení,
- závazná systémová specifikace,
- podrobný návrh systému,
- zkoušení a integrace systému,
- souhrnný test systému,
- uvádění do provozu,
- přejímací zkouška,
- provoz.

Postup při návrhu regulačního obvodu

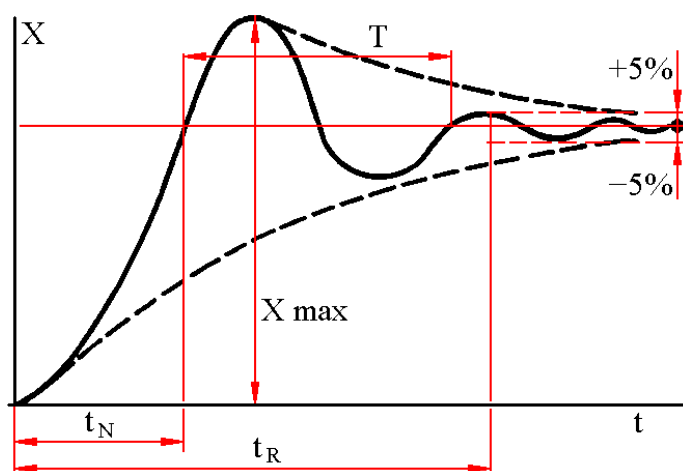
Postup při návrhu záleží na zkušenostech a zvolené metodě. Lze postupovat podle určitého systému, kde jednotlivé etapy postupu musí logicky navazovat. Tento postup může být vytvářet diagram dle následujícího obrázku. Základní kroky jsou na něm očíslovány a vytváří uzavřený cyklus, který je nutné několikrát absolvovat, než je návrh ukončen s požadovanými parametry. Začíná se hrubým odhadem a upřesňováním jednotlivých kroků se po několika průchodech, po dosažení požadované kvality regulace, návrh ukončí.



Obr. 56. Schéma postupu při projektování regulačního obvodu

Podklady potřebné pro návrh jsou:

- zadání provozních podmínek** – jsou to váha zařízení, rozměry, výkon, typ výkonových prvků (hydro, el, pneu), pracovní prostředí, režim provozu, bezkontaktnost, typizace
- zadání průběhů řídicí veličiny** – vyplývá z fyzikální podstaty regulované veličiny, časové funkce mohou mít průběh zcela náhodný. Pro zjednodušení výpočtů se uvažují typizované funkce, jejichž matematické vyjádření nepůsobí potíže (jednotkový skok $1(t)$, jednotkový impuls o výšce $\frac{1}{\alpha}$ a šířce α , harmonický signál – pro frekvenční charakteristiky, jednotková rychlost $w(t) = k \cdot t$, jednotkové zrychlení $w(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$)
- zadání průběhů poruchových veličin** – typizované funkce většinou neodpovídají skutečnosti, protože porucha má obecný průběh a je nezbytné použít stochastické a statistické metody návrhu.
- zadání ukazatelů kvality a přesnosti regulace** – vychází se z přechodové charakteristiky ze které lze odečíst a vyhodnotit podle obr. 57 následující parametry:



X_{max} – velikost první maximální hodnoty,
 t_N – rychlost odezvy,
 t_R – dobu regulace,
 T – periodu kmitů,
 u – počet přechodů přes ustálenou hodnotu,
 lineární integrální kritérium,
 kvadratické integrální kritérium

Obr. 57. Parametry kvality regulace

Z analýzy řízené technologie vyplývají základní údaje pro volbu PLC. Jsou to:

- počet vstupů a výstupů,
- druhy vstupů a výstupů (binární, analogové, proudové, napěťové),
- požadovaná přesnost měření analogových signálů,

- požadovaná rychlost zpracování údajů (max. doba odezvy řízení).

Z analýzy řešení se určují potřebné komponenty (volba PLC, modulů, řídicí software, operační systém, vizualizační software) na základě kritérií jako je cena, výrobce, dodavatel, záruční a pozáruční servis, telefonická podpora, školení obsluhy atd.

4.4.1 Úvodní projekt (předprojekt)

Úvodní projekt je první etapou projektu při projektování v tradičním slova smyslu. Úvodní projekt vychází z blokového schématu, jehož členy respektují typový soubor přístrojů. Rozhodující je struktura systému, počty a druh vstupních signálů a volba koncových výstupních členů. Úvodní projekt se skládá z *průvodní zprávy*, *výkresové dokumentace*, *seznamu strojů a zařízení* a *rozpočtové části*.

a) **Průvodní zpráva** obsahuje:

- popis návrhu řídicího systému včetně popisu úrovně automatizace, struktury a funkcí, popis řešení jeho jednotlivých částí (subsystémů), popis řešení jejich vazeb s řízeným objektem a s navazujícími systémy,
- charakteristiku provozu a prostředí,
- údaje o snímačích, měřených a řízených mediích a údaje o hlavních konstrukčních materiálech,
- popis algoritmů řízení, podmínky jejich realizace nebo požadavky na programové vybavení,
- popis napájení řídicího systému.

b) **Výkresová dokumentace** obsahuje:

- kopie přehledových schémat strojů a zařízení s vyznačením tras přenosu informací,
- kopie přehledových schémat s vyznačením měřících míst nebo samostatná schémata složitých měřících a řídicích obvodů,
- schémata umístění řídicích center, panelů, ovládacích pultů, pracovišť operátorů a rozvodných skříní a jejich hlavní rozměry,
- schéma a popis toku informací mezi jednotlivými uzly AIŘS,
- grafické vyjádření algoritmu řízení (podle potřeby).

c) **Seznam strojů a zařízení** obsahuje:

- seznam přenosných, měřících a řídicích obvodů,
- stručnou specifikaci přístrojů v jednotlivých typech obvodů,
- stručnou specifikaci subsystémů, panelů, skříní a ostatního zařízení investičního charakteru.

d) **Rozpočtová část** obsahuje nejen veškeré náklady na pořízení strojů a zařízení, ale i náklady nutné na montáž a uvedení zařízení do provozu.

4.4.2 Prováděcí projekt (projekt)

Prováděcí projekt je druhou etapou projektu. Jednoznačně a detailně určuje způsob propojení jednotlivých přístrojů, jejich prostorové rozložení v daném technologickém objektu a způsob a provedení montáže. Nedílnou součástí jsou podklady pro realizaci kabelových tras, řídicích center a jednotlivých rozvaděčů určených k řízení nebo kontrole chodu dílčích částí technologického zařízení. Obsahuje stejné části jako úvodní projekt, je však mnohem podrobnější

a) **Průvodní zpráva** vychází z průvodní zprávy úvodního projektu, zpřesňuje ji a doplňuje ji. Také vysvětluje a zdůvodňuje odchylky od úvodního projektu.

b) **Výkresová dokumentace** obsahuje:

- schéma měřících míst pro informační systém, u složitých zařízení může samostatnou část tvořit schéma regulačních obvodů,
 - schémata výrobních zařízení se zakreslením snímačů a přístrojů normalizovanými značkami a s označením čísel položek seznamu strojů a zařízení (jen u speciálních případů),
 - vývojové diagramy programů,
 - výkresy přístrojových skříněk, desek a rozváděčů, obsahující vnější rozměry, zvláštní požadavky, čísla položek seznamu strojů a zařízení nebo i typy, rozsahy a pohledy,
 - schémata elektrických a neelektrických obvodů se zapojením jednotlivých prvků AIŘS uvnitř i vně rozváděčů s uvedením druhů vodičů, celkovým schéma napájení systému, jeho jištění, zemnění apod.,
 - schémata kombinovaných obvodů (např. elektropneumatické),
 - přehledové schéma strojů a zařízení doplněné o umístění odběrů, snímačů a přístrojů s označením čísel položek seznamu strojů a zařízení, s vyznačením hlavních tras informačních a řídicích obvodů, míst vyústění rozvodu vody, vzduchu, el. energie, včetně protipožárních opatření na kabelových trasách,
 - detaily styčných nebo upevňovacích bodů mezi řídicím systémem, strojním zařízením a stavební konstrukcí (upevnění rozváděčů, snímačů, výkresy průchozích otvorů, odběrů, jímek, ukončení regulačních orgánů s příslušnými připojovacími rozměry).
- c) **Seznam strojů a zařízení** obsahuje specifikaci všech měřících, signalizačních a řídicích přístrojů a jejich příslušenství. U každé položky se uvádí její číslo, název a charakteristické údaje, protokol o výpočtech, s údaji o umístění vzhledem k výrobnímu zařízení, odvolávkou na za-jištění úpravy výr. zař. pro montáž snímačů nebo regulačních přístrojů a popř. čísla výkresů.
- d) **Rozpočtová část** je zpracována stejně jako v úvodním projektu, jen podrobněji.

5. PROSTŘEDKY AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ

Prostředky automatického řízení jsou obecně všechna technická zařízení, která jsou součástí regulačního nebo řídicího obvodu. Jsou to zařízení, která musí plnit svůj specifický úkol na který jsou konstruována.

5.1 Vlastnosti a rozdělení

Prostředky automatického řízení lze obecně dělit podle funkce pro kterou jsou určena. Základní funkce, které jsou potřebné pro funkci regulačního obvodu jsou: získávání, přenos, uchování, zpracování a využívání informace.

5.1.1 Statické vlastnosti prostředků – statická charakteristika

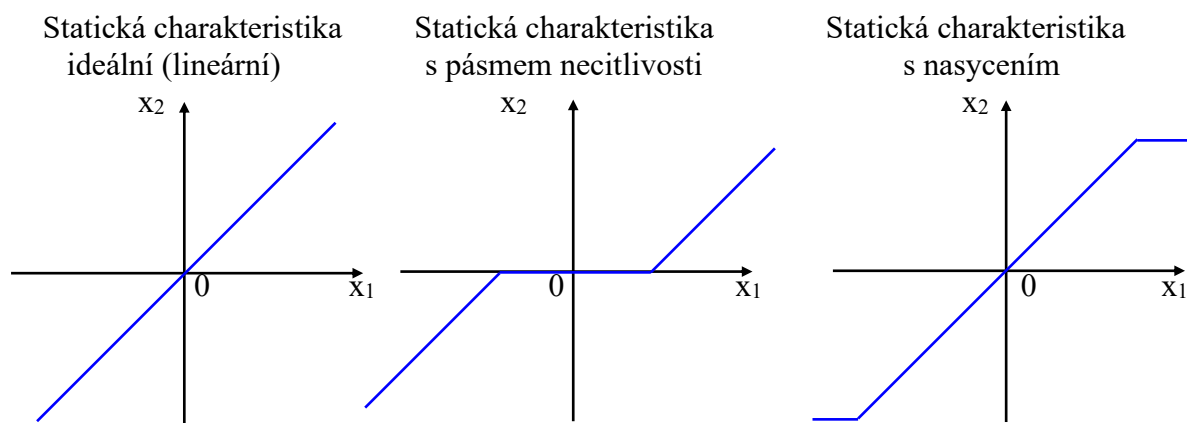
Statické vlastnosti každého systému jsou dány jeho parametry v ustáleném stavu. Je to citlivost, přesnost a spolehlivost. První dva parametry souvisí se statickou charakteristikou.

Statická charakteristika vyjadřuje závislost výstupního signálu na vstupním signálu v jejich ustálených stavech.

Statickou charakteristiku lze vyjádřit matematicky jako funkční závislost $Y = f(X)$, velmi často je to ve tvaru obecného polynomu $Y = f(X) = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + \dots + a_n \cdot X^n$ nebo graficky. U většiny zařízení je požadována ideální statická charakteristika lineární, tzn. rovnice přímky: $y = k \cdot x + q$ (polynom 1. řádu), která je vhodná pro další práci (interpolace hodnot a superpozice výsledků). Některé přístroje však mají charakteristiku nelineární danou jejich fyzikálním principem, u některých přístrojů vznikla nelinearita např. nedokonalou výrobou. Rozeznáváme tyto typické nelinearity: pásmo necitlivosti, zbytkový signál, nasycení, hystereze, bipolární relé, polarizované relé a obecná nelinearita. V nutných případech se provádí linearizace charakteristiky a vzniklé odchylky zahrnujeme do chyby přístroje.

Linearizace se provádí:

- v pracovním bodě zařízení: spočívá v náhradě bodu charakteristiky spojnicí bodu s počátkem souřadnic, tj. rovnice $Y = k \cdot X$ ($q = 0$),
- v okolí pracovního bodu: jedná se o rovnici tečny v pracovním bodě (hodnota první derivace křivky v daném bodě) $k = dy/dx$, $q = dy/d0$ a potom $y = y' \cdot x + y'_{(0)}$,
- v pracovním pásmu: nahrazuje křivku pracovního pásma úsečkou s minimální chybou v celém pracovním pásmu. Rovnici úsečky lze získat v tabulkovém procesoru (MS Excel) proložením grafu naměřených hodnot přímkou (polynomem 1. řádu) a zobrazením její rovnice.



Obr. 58. Statické charakteristiky a různé druhy nelinearity

Citlivost

- poměr velikosti vstupního signálu k výstupnímu signálu v ustáleném stavu,
- tangenta tečny statické charakteristiky (derivace) v daném bodě,
- fyzikální rozměr je určen fyzikálním rozměrem vstupního a výstupního signálu,
- mají-li oba signály stejný fyzikální rozměr je citlivost bezrozměrné číslo (zesílení),

Necitlivost

- šířka pásma, ve kterém může kolísat vstupní veličina, aniž by se změnila hodnota výstupní veličiny (definuje pásmo necitlivosti),

Statickou charakteristiku zařízení můžeme získat buď teoretickým výpočtem, nebo měřením. 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 (měřícího přístroje, zařízení) - je schopnost udávat správnou hodnotu měřené veličiny za přesně stanovených podmínek v okamžiku jejího zjišťování.

Chyby měření statických vlastností se dělí na:

Absolutní: rozdíl mezi údajem přístroje a skutečnou hodnotou měřené veličiny,

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

Podle způsobu vzniku dělíme chyby na:

Hrubé: vznikají mimořádně, za zvláštních okolností a jsou obvykle způsobené:

- závadou na některé části měřícího řetězce,
- nevhodnou měřící metodou,
- nepozorností obsluhy atd.

Hodnoty zatížené hrubou chybou silně vybočují z výsledků měření, lze je snadno rozpoznat a z dalšího zpracování vypustit.

Systematické (soustavné) jsou způsobené:

- stárnutím a nepřesnostmi jednotlivých částí měřícího řetězce,
- měřící metodou,
- chybou pozorovatele.

Jsou částečně odstranitelné korekcí, kompenzací apod.

Náhodné (stochastické): jsou způsobeny nedefinovatelnými vlivy, jsou časově nahodile proměnné jak ve velikosti, tak ve znaménku. Vznikají např. kolísáním okolní teploty, vlivem tření, náhodnými otřesy, proměnnými přechodovými odpory atd.

Nejistoty měření (angl. uncertainty)

Podle mezinárodní normy IEC se chyby měření vyjadřují jako nejistoty měření. Standardní nejistota je nejistota daná směrodatnou odchylkou veličiny, pro níž je nejistota udávána. Nejistoty lze vyjádřit i relativně jako podíl k absolutní hodnotě výběrového aritmetického průměru nebo naměřené hodnotě.

- **standardní nejistota typu A** u_A stanoví se statistickým zpracováním naměřených hodnot,

- **standardní nejistota typu B** u_B zahrnuje všechny ostatní zdroje nejistoty, které nejsou zahrnuty v nejistotě typu A, je to především:

- třída přesnosti přístroje,
- relativní přesnost senzoru,
- hystereze charakteristiky senzoru.

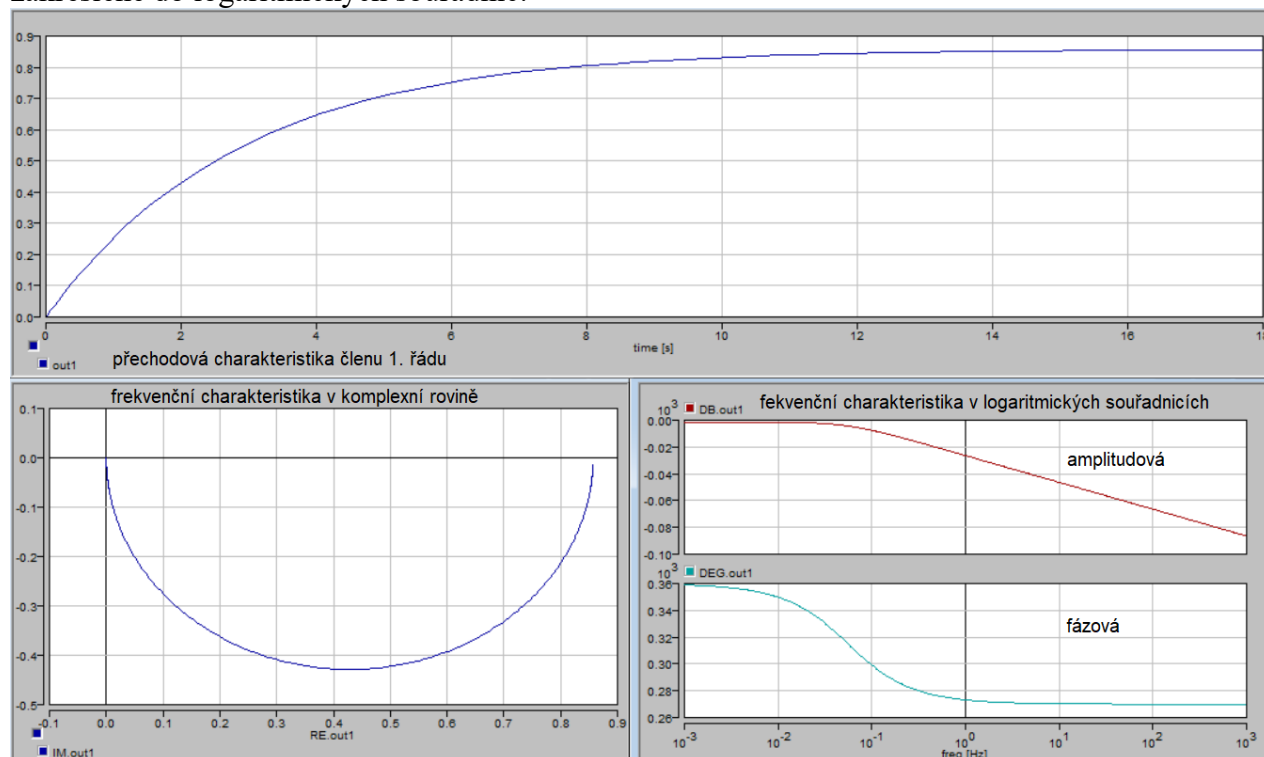
- **kombinovaná standardní nejistota** u_C se skládá z obou základních typů nejistot,

- **rozšířená nejistota** $u_{(X)}$ umožňuje pomocí koeficientu zvětšit pravděpodobnost, že naměřená hodnota je v intervalu daném standardní nejistotou.

5.1.2 Dynamické vlastnosti prostředků

Dynamické vlastnosti přístrojů můžeme vyjádřit přechodovou a frekvenční charakteristikami. Přechodová charakteristika je definována jako odezva na vstupní jednotkový skok. Dává přehled o zpoždění, která v systému vznikají a o velikosti dynamické chyby stejnosměrného signálu, která vzniká předčasným odečtem signálu, tj. před jeho ustálením.

Frekvenční charakteristiky dávají přehled o tom, jak jsou jednotlivé frekvence systémem ztlumeny (nebo zesíleny při rezonanci) a jak jsou fázově posunuty proti vstupnímu signálu. Používají se frekvenční charakteristiky zakreslené do komplexní roviny a frekvenční charakteristiky zakreslené do logaritmických souřadnic.



Obr. 59. Přechodová charakteristika a frekvenční charakteristiky

Při měření dynamických vlastností mohou být výsledky měření zkresleny vlivem chyb integrace a přídavných chyb.

Chyba integrace – vzniká postupným načítáním základní chyby měrného prvku při postupné integraci, např. při měření vzdálenosti odvalovacím kolečkem, při měření času kmity časoměrného prvku, měření proteklého množství objemovou metodou atd.

Přídavné chyby – vznikají nedodržením technických podmínek provozu zařízení, jde o taková překročení, která jsou ještě přípustná z hlediska funkce zařízení, např. nedodržení povoleného teplotního pásma, tolerance napájecího napětí atd.

- chyby jsou pak udávány v závislosti na míře překročení povoleného pásma např. 0,1 % na každých 5 °C atd.,

- přídavné chyby se připočítávají k základní chybě.

5.1.3 Rozdělení prostředků.

Každé technické zařízení, které je součástí řízení nebo regulačního obvodu patří mezi prostředky automatizovaného řízení. Tyto technické prostředky rozdělujeme do skupin podle jednotlivých kritérií:

a) podle vztahu k informaci:

- **Prostředky pro získávání informace** jsou čidla a senzory. Jejich smysl spočívá v tom, že převádí určitou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu či stav na veličinu snadno pozorovatelnou, přenositelnou a snadno zpracovatelnou (nejčastěji elektrickou). Čidel je nejméně tolik, kolik existuje fyzikálních a chemických veličin násobených množstvím měřicích 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 paměti – od záznamu na papír až po 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 druhu 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 dělíme na analogové (spojité) a diskrétní (nespojité) a podle jednotlivých modulací. Každý signál se též vyznačuje i svým definovaným rozsahem. Z tohoto hlediska rozeznáváme signály přirozené (fyzikální), jednotné a unifikované.

- **Přirozené** 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.

d) podle konstrukce:

- **jednoučelová 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).
- **stavebnicové prostředky:** 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 komplikuje a 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: rozlišuje konstrukce prostředků podle následujících hledisek:

- ochrana proti nebezpečnému dotyku a vniknutí vody (krytí IPxy),
- ochrana proti klimatickým vlivům a korozivitě atmosféry,
 - norma rozlišuje klimatická pásma: arktické, mírné, tropické, pouštní,
 - normy dále stanovují odolnost proti hlodavcům, hmyzu, plísním a bakteriím, teplotě, chladu a vlhkosti v závislosti na klimatickém pásmu a další vlastnosti,
- ochrana proti explozi (stupeň požárního uzávěru),

Všechna tato hlediska jsou zpracována v příslušných technických normách.

f) podle funkce:

- **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. Dělíme je na spojitě, diskrétní a číslicové.
- **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.

5.2 Prvky pro získání informace – senzory

Modernizace průmyslu znamená 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 a v poslední době i využívání elektroniky v domácnostech kladou stále vyšší nároky na měření a vyhodnocování elektrických a neelektrických a tím i na vývoj a výrobu senzorů.

Na předním místě v aplikacích senzorů je autoelektronika při měření stavu a teploty chladicí 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 a v protiblokovacích brzdných systémech.

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

Senzor

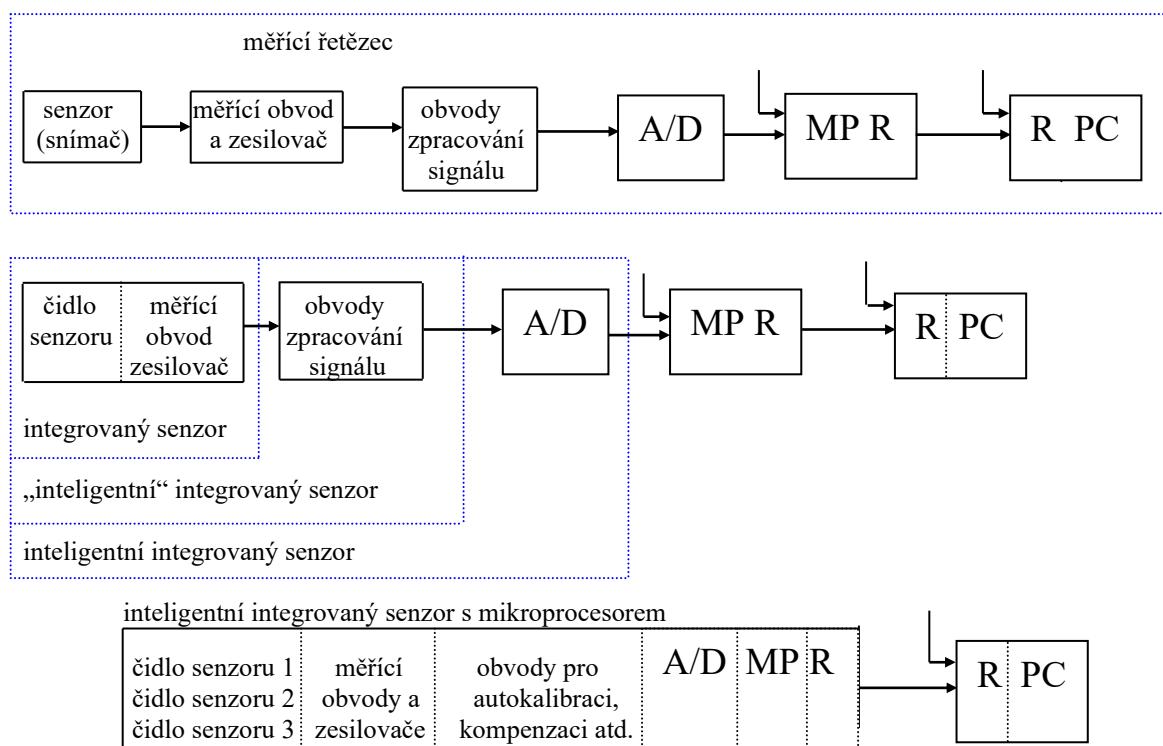
Senzor (snímač, převodník, detektor) je vstupní prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce, tj. prvek, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Vlastní citlivá část senzoru je někdy označována jako čidlo. Senzor jako primární zdroj informace měří sledovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou 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 přímoukazujícím 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 sběrníkovou 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.



A/Č – analogově číslicový převodník včetně vzorkovacích zesilovačů, multiplexorů apod.,
 MP – jednočipový mikro počítač nebo mikro počítačový sběrníkový systém,
 P – nadřazený výpočetní systém, R – rozhraní

Obr. 60. Funkční schéma senzorů

Inteligentní senzor můžeme dělit na:

a) 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

b) vnitřní část:

- analogově-číslicový převod, autokalibrace, číslicová linearizace, aritmetické operace, autodiagnostika, statické vyhodnocování naměřených dat
- přes rozhraní dálkově ovládané rozsahy (zesílení, hlídání mezivýsledků atd.)

c) výstupní část:

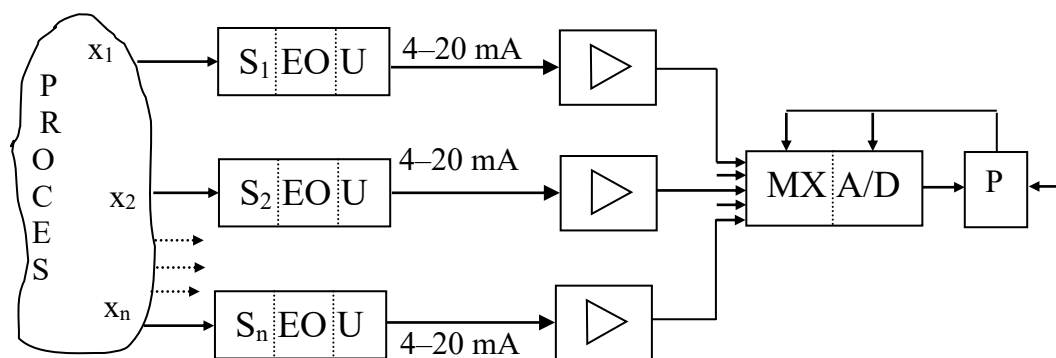
- unifikace analogových výstupních signálů
- komunikace prostřednictvím integrovaného rozhraní se sběrníkovým systémem
- výkonově binární výstupy
- číslicově-analogový převod

Automatizované zpracování dat

Systémy pro automatizované zpracování dat vznikly postupně stále větším nasazováním automatizace a propojením prostředků pomocí sběrnic a přidáváním prvků datových sítí. Tím se vytvořil nový typ řízení: Automatizované informačně-řídící systémy (AIŘS). Postupným vývojem se ustálily 2 základní typy systémů:

a) centralizovaný systém

Klasický analogový výstup měřících řetězců bývá unifikován (0÷10 V, 4÷20 mA, 0÷100 kPa).



(S – snímač, EO – elektronický obvod, U – blok unifikace signálu, MX – multiplexer, A/D – převodník, P – počítač)

Obr. 61. Centralizovaný systém připojení senzorů a měřících řetězců

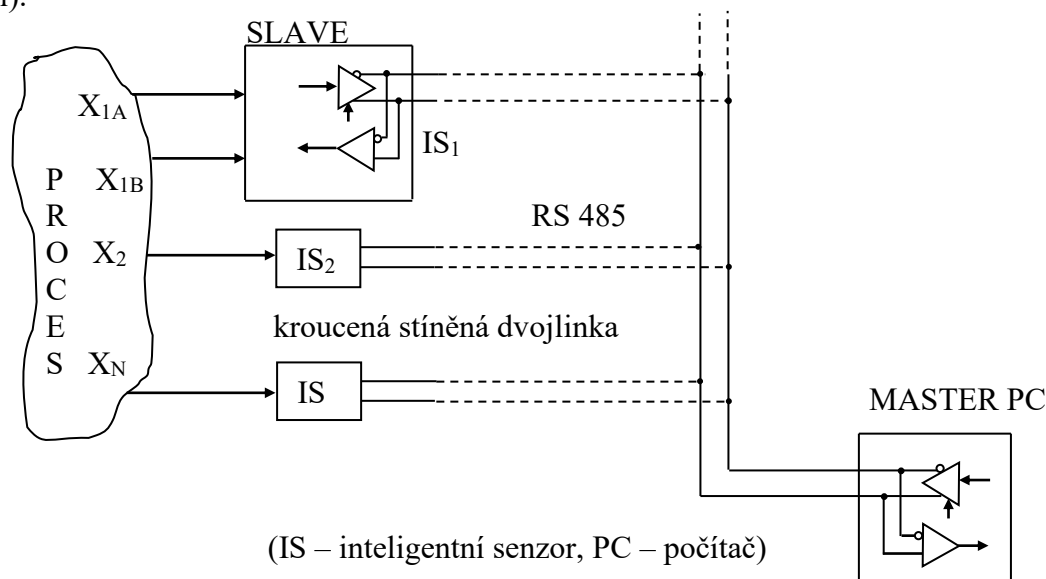
Vlastnosti centralizovaného systému řízení jsou:

- výhody:
- vysoká relativní přesnost zpracování analogových signálů,
 - jen jeden řídicí centrální program,
 - jednoduchá správa řízení,
- nevýhody:
- jednosměrný tok informace,
 - nemožnost signály předem zpracovat,
 - nelze nastavovat parametry senzorů,
 - nelze detekovat závadu v měřícím řetězci,
 - každý prvek má svůj kabel = složitá kabeláž,
 - centrální prvky (MX, A/D a P) musí mít vysokou spolehlivost a výkon = cena.

b) decentralizovaný systém

- decentralizovaná struktura s distribuovanou inteligencí,
- uspořádání se vzájemnou komunikací mezi všemi členy připojenými ke sběrníkové síti.

Signál je digitalizován buď přímo v inteligentním senzoru, nebo v inteligentním modulu, a přenos dat je realizován prostřednictvím standardizovaných obousměrných rozhraní (tj. společných hranic definovaných charakteristikami fyzického signálového, funkčního a procedurálního propojení).



Obr. 62. Decentralizovaná struktura s distribuovanou inteligencí

U senzorů se často používají sériová rozhraní pro sériový přenos dat: RS-232C, RS-422, RS-485, I²C, CAN, AS-i a další. Rozhraní RS 485 má definováno:

- symetrické signály na vedení ± 5 V naprázdno a $\pm 1,5$ V/54 Ω se zátěží,
- vedení tvořené kroucenou dvoulinkou (UTP),
- délka kabelu do 1200 m,
- max. 32 přijímačů na jeden segment datové sítě,
- max. rychlost přenosu 10 Mbit/s,
- jediné napájecí napětí +5 V.

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 GPIB, IEC 652 (IEEE 488).

Vlastnosti decentralizovaného systému řízení lze shrnout takto:

- výhody:
- možnost rozprostřít řídicí algoritmus na jednotlivé prvky,
 - u každého prvku lze zajistit detekci stavu (závad, funkceschopnosti, kalibrace),
 - obousměrná komunikace s prvky,
 - možnost dílčího lokálního limitního řízení (místní alarm, stopstav apod.),
 - vzájemná zastupitelnost prvků (prostřední ze 3 senzorů lze dopočítat),
 - kabeláž je tvořena datovou sběrnicí,
- nevýhody:
- drahé prvky se síťovým rozhraním,
 - složitá správa konfigurací a sw vybavení,
 - složitější vývoj distribuovaného řízení.

Inteligentní senzorový modul

Vývoj a výroba inteligentních senzorů včetně komunikačního procesu je teprve zaváděna, a proto značná část běžných senzorů nebo senzorů s nižším objemem inteligence se při automatizovaném zpracování dat připojuje přes tzv. inteligentní senzorové moduly. Tyto moduly vytvářejí při připojení senzorů funkční ekvivalenty inteligentních senzorů na nejvyšší úrovni. Mají více přepínatelných vstupů, programovatelné zesílení zesilovačů a jsou vybaveny standardizovaným rozhraním.

Kritéria 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 senzoru s měřeným prostředím: bezdotykové, dotykové.

dle typu transformace signálu: aktivní a pasivní,

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

Technické parametry senzorů

a) Citlivost k – současně je to konstanta přenosu **statické charakteristiky**

funkční závislost je často popsána vztahem $Y = f(X) = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + \dots + a_n \cdot X^n$ (obecná závislost tvořená polynomem n -tého řádu), ideální závislost, která je žádaná, a přitom prakticky nerealizovatelná je lineární funkce (rovnice přímky procházející 0 souřadnic) $Y = k \cdot X$, (pokud je Y a X stejná veličina je citlivost bezrozměrná a označuje se jako zesílení),

pro ideální závislost je citlivost definována vztahem $k = \frac{Y}{X}$,

pro obecnou závislost je definována přírůstkou $k = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{df(X)}{dX}$.

Citlivost je zároveň tangenta směrnice a pro úhel sklonu přímky platí $\alpha = \arctg(k)$.

b) Práh citlivosti u_t – je dán hodnotou snímané veličiny, při níž je na výstupu senzoru signál odpovídající střední kvadratické odchylce šumu senzoru $u_t = \sqrt{u_s^2}$.

c) Dynamický rozsah – je dán intervalem přípustných hodnot snímané fyzikální veličiny, 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, případně změně hodnoty o jednu číslici (digit).

f) Další chyby: aditivní chyba – je způsobena posunem jmenovité lineární charakteristiky.

multiplikativní chyba – ekvivalentní změna citlivosti senzoru

– je závislá na hodnotě měřené veličiny

– působí změnu sklonu statické charakteristiky

g) Chyba linearity – je dána odchylkou od ideální lineární charakteristiky.

h) Dynamické vlastnosti senzorů

- je nutno znát pro analýzu a syntézu měřících a regulačních obvodů,

- jsou to parametry časové odezvy, časová konstanta, šíře frekvenčního pásma, frekvenční rozsah, rychlost číslicového přenosu, parametry šumu a další.

5.2.1 Senzory teploty

Základní rozdělení senzorů teploty:

- **elektrické** – odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové,
- **dilatační** – založeny na principu teplotní roztažnosti kapalin, tuhých látek a plynů,
- **speciální** – založeny na změnách některých fyzikálních vlastností látek vlivem teploty (keramické žároměrky, tavné tužky, tekuté krystalové, teplotně měrné barvy atd.)

5.2.1.1 Elektrické teploměry

Odporové kovové senzory teploty

Princip jejich funkce je založen na závislosti 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.

Pro malý rozsah teplot od 0 °C do 100 °C platí pro kovy rovnice: $R_{(v)} = R_{(0)} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta v)$

kde $R_{(v)}$ je odpor při teplotě v °C; $R_{(0)}$ je odpor při teplotě 0 °C;

Δv je rozdíl teplot ($v - 0$) [°C]; α je teplotní součinitel kovu senzoru [ΩK^{-1}].

Pro větší rozsah teplot je nutné použít nelineární vztahy s dalšími materiálovými součiniteli (β , γ).

Platinové odporové senzory teploty

Používají se nejčastěji, neboť platina se vyznačuje chemickou netečností, stálostí, vysokou teplotou tání, dobrou linearitou (v užším rozsahu) i když má poměrně malou citlivost.

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.

Platinové senzory teploty se též vyrábějí tenkovrstvou technologií. Na podložku Al_2O_3 (korundová keramika) technikou napařování a iontovým leptáním. Základní měřicí rozsah je od -200 °C až do +850 °C. Základní odpor senzoru PT100 při 0 °C je $R_0 = 100 \Omega$ a při 100 °C je $R_{100} = 138,5 \Omega$. Teplotní součinitel pro platinu je $\alpha = 3,85 m\Omega K^{-1}$ (typická citlivost platinových senzorů dle IEC normy se označuje 385). Třídou přesnosti udává výrobce dle normy DIN/IEC751.

Senzory se vyrábějí se dvěma nebo čtyřmi vývody. U dvou vodičového provedení se přičítá k senzoru i odpor vnitřního vedení a způsobuje chybu měření. Nejistota údaje způsobená vlivem vnitřního odporu se dle teploty pohybuje od 0,1 do 0,5 °C. Pro měření, kde nemůžeme zanedbat chybu způsobenou přívodními vodiči, je nutné použít 4vodičové zapojení.

Kromě platiny (Pt) se pro odporové kovové senzory používá také nikl (Ni), měď (Cu), molybden (Mo) se základními odpory 25, 50, 100, 500 a 1000 Ω při 0 °C.

Provedení senzorů je charakteristické. Celý senzor se skládá z platinového čidla umístěného ve vnitřní ocelové trubici, ve které jsou vloženy izolační keramické vložky (izolace přívodních vodičů) a která je zakončena ocelovým kotoučkem pro upevnění svorkovnice. Vnitřní trubice je vložena do ochranné jímky s vysokou tepelnou a mechanickou odolností (žárovzdorná legovaná ocel), která je vybavená montážním závitem a hlavici s průchodkou pro přívodní kabel. V hlavici je pod víčkem přístup ke svorkovnici platinového čidla. Na hlavici je také umístěn štítek s označením typu senzoru (např. Ni1000) a teplotním rozsahem (např. -40 až +600 °C).

Odporové polovodičové senzory teploty – termistory

Rozdělení termistorů:

- a) amorfní – polykrystalické
- b) negastory – pozistory
- c) 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 $+450$ °C,
- základní hodnota odporu SiC senzoru při 25 °C je v rozpětí $10\text{k}\Omega$ až $1\text{M}\Omega$,
- tenkovrstvou technologií se dále vyrábí negastor z polykrystalického křemíku dopovaného bohem. Tento miniaturní senzor má rozměr $460\times 60\times 0,5$ μm . Rozsah teplot je -170 až 450 °C.

Pozistory

- termistory s kladným teplotním součinitelem odporu
- vyrábějí se z polykrystalické feroelektrické keramiky např. BaTiO_3 .
- pro oblast nárůstu odporu platí: $R_{(v)} = R_{(0)} \cdot e^{A \cdot v}$ kde typická hodnota konstanty $A = 0,16\text{K}^{-1}$
- 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 senzory teploty s přechodem PN

využívají teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Rozdělují se na:

a) diodové senzory

- vychází se ze Shockleyovy rovnice. Napětí v propustném směru s rostoucí teplotou klesá.

b) tranzistorové senzory

- založeny též na teplotní závislosti PN přechodu (i když má tranzistor 2 PN přechody, pro účel senzoru teploty se využívá přechod B-E) v propustném směru,
- tranzistor je možné zapojit pro funkci tepelného senzoru jako tzv. „tranzistorovou diodu (jeden vývod senzoru tvoří spojená báze a kolektor, druhý vývod je emitor).

Termoelektrické senzory teploty

jsou založeny na vzniku termoelektrického napětí na dvojici vodičů nebo polovodičů, jejichž konce udržujeme na různých teplotách – Seebeckův jev (čti zébekův). Ohřevem spoje dvou kovů vzniká termoelektrické napětí dle vztahu $U_{AB} = (a_A - a_B) \cdot \Delta v + 0,5 \cdot (b_A - b_B) \cdot \Delta v^2$, kde a a b jsou Seebeckovy materiálové koeficienty a Δv je rozdíl teplot na začátcích a koncích termoelektrické dvojice kovů A, B. Seebeckovy koeficienty udávané vůči olovu jsou:

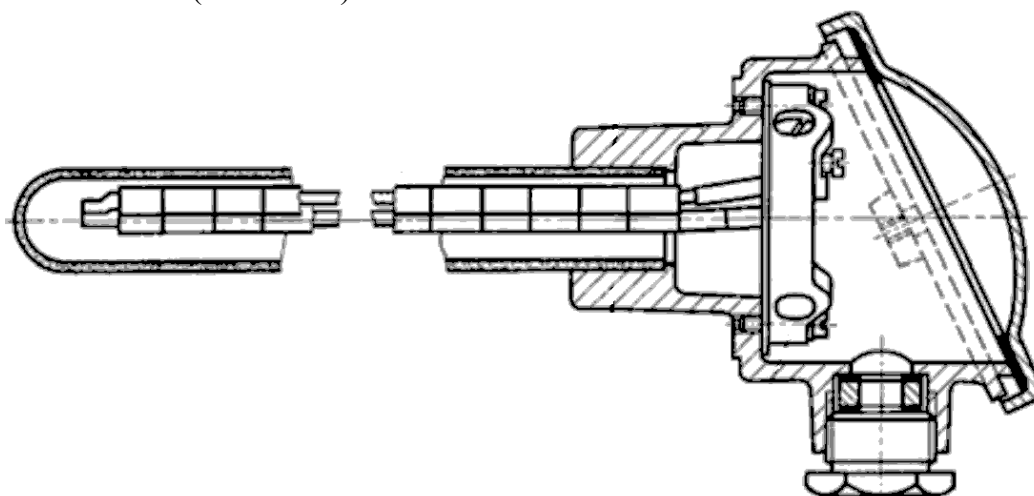
- pro měď $a = 2,71\text{ }\mu\text{V/K}$, $b = 0,0079\text{ }\mu\text{V/K}^2$,
- pro železo $a = 16,7\text{ }\mu\text{V/K}$, $b = -0,0297\text{ }\mu\text{V/K}^2$,
- pro nikl $a = -19,1\text{ }\mu\text{V/K}$, $b = -3,02\text{ }\mu\text{V/K}^2$,
- pro platinu $a = -3,03\text{ }\mu\text{V/K}$, $b = -3,25\text{ }\mu\text{V/K}^2$,
- pro konstantan $a = -38,1\text{ }\mu\text{V/K}$, $b = -0,0888\text{ }\mu\text{V/K}^2$,
- u polovodičů více než $100\text{ }\mu\text{V/K}$ (polovodič N záporné, polovodič P kladné).

Pro malý rozsah teplot lze výše uvedenou rovnici linearizovat na tvar $U_{AB} = \alpha_{AB} \cdot \Delta v$. Opačným jevem než Seebeckovým, je Peltierův jev (procházejícím proudem se spoj dvou kovů ochlazuje).

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 - 40 až 800 °C,
vhodné pro vakuové, inertní, mírně oxidační nebo redukční podmínky,
- J Fe-CuNi (FeKo) - 40 až 750 °C,
používá se tam, kde je omezený kyslík,
- K NiCr-NiAl, NiCr-Ni - 40 až 1100 °C,
vyžaduje kovovou nebo keramickou ochranu,
- N odolává oxidaci ze síry,
- S PtRh-Pt do 1300 °C krátkodobě do 1500 °C,
musí být chráněn formou hadičky podle podmínek (podobně R a B),
- T Cu-CuNi - 40 až 350 °C,
používá se v oxidačním nebo redukčním prostředí,
- P musí být chráněn jako S, R a B. Přibližuje se křivce typu K při vysokých teplotách
a lze ji použít v oxidačních nebo inertních atmosférách s teplotním rozsahem do
1260 °C,
- Fe-Ko: Fe-CuNi (není v IEC) - 200 až 600 °C.



V průmyslu je nejčastěji používaným typem termočlánek typu J a pro vysoké teploty termočlánek typu S. Jejich provedení je dané většinou ochranou jímkou s typickým tvarem trubice s montážním závitem a hlavicí, která obsahuje svorkovnici (podobně jako snímače Pt100). Termočláanky se vyrábí ve 3 provedeních: nechráněný termočlánek, termočlánek spojený s ochrannou jímkou a termočlánek izolovaný v ochranné jímkce. Nechráněný termočlánek má nejlepší dynamické vlastnosti – reaguje s minimálním zpožděním, ale jeho životnost je nízká. Naopak termočlánek izolovaný v ochranné jímkce má nejhorší dynamické vlastnosti (ustálení cca 10 minut), ale vysokou životnost.

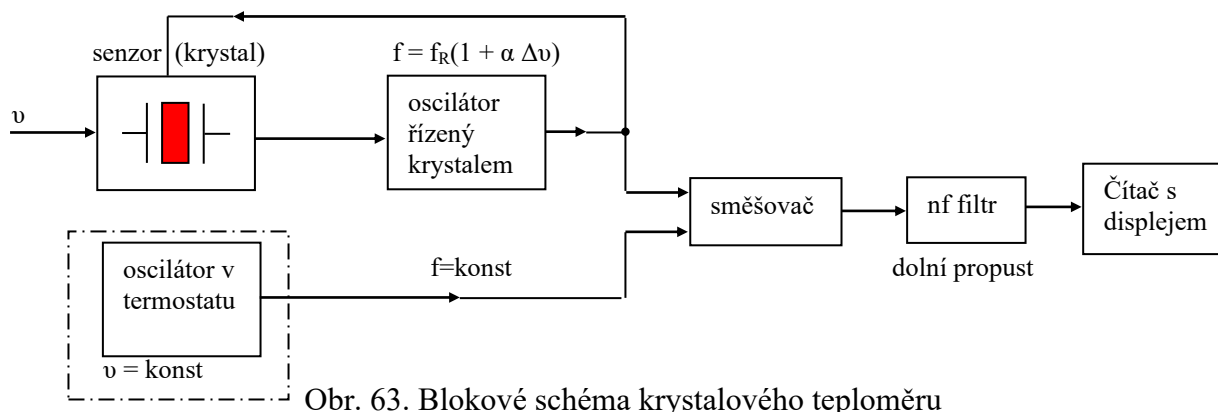
Termočláanky se používají i jako zdroje napětí pro malé elektronické spotřebiče. Typické jsou rozháněče horkého vzduchu pro krbová kamna. Pro outdoorové aktivity (radiové přijímače, svítilny, mobilní telefony, satelitní telefony, USB zařízení) se vyrábí zdroje ohříváné spalováním přírodnin, dřeva nebo propanu. Speciální provedení termočláankového zdroje s radioizotopovým zdrojem tepla se používá pro napájení automatických kosmických družic (Voyager a další).

Peltierovy články se používají pro aktivní chladiče procesorů, přenosné chladničky (vybavení automobilů) a malé klimatizační jednotky.

5.2.1.2 Krystalový teploměr

Jeho základní zapojení využívá princip porovnávání dvou signálů. Jeden je závislý na měřené fyzikální veličině a druhý je konstantní. Rozdíl porovnávaných signálů je měřicí veličinou. Je to univerzální princip využitelný v mnoha variacích. V případě měření teploty se využívá teplotní závislosti rezonančního kmitočtu křemenného výbrusu (krystalu), která je sice malá, ale téměř lineární. Směšovač produkuje jak rozdíl frekvencí, tak i jejich součet a množství harmonických

frekvencí, které se nevyužívají a je nutné je odfiltrovat. Pokud se správně zvolí frekvence oscilátorů je rozdíl frekvencí číselně roven měřené teplotě.



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 $-80 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+250 \text{ }^\circ\text{C}$ při $f = 28,2 \text{ MHz}$. Citlivost je tedy $1 \text{ kHz na } 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Použitý čítač umožňuje rozlišovací schopnost teploměru od 10^{-1} do $10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$.

Tento princip měření s komparací 2 hodnot měřících signálů je vlastně obecně univerzální a lze ho použít i pro měření jiných fyzikálních veličin.

5.2.1.3 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 vlnové délky od $0,35 \text{ } \mu\text{m}$ do $30 \text{ } \mu\text{m}$, čemuž odpovídá rozsah měřených teplot od $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+10\,000 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 rasterové zobrazení povrchové teploty tělesa (termovize),

Nevýhody:

- možnost měřit pouze povrchovou teplotu tělesa,
- chyby měření způsobené prostupností prostředí pro tepelné vlny,
- chyby způsobené nepřesným stanovením emisivity povrchu měřeného tělesa.

Rozdělení pyrometrických metod dle spektra vlnových délek:

a) úhrnné pyrometry:

- tzv. radiační nebo také pyrometry na celkové záření,
- přístroje, které vyhodnocují teplotu dle Stefan-Boltzmannova zákona, tzn. že teoreticky pracují v celém spektru vlnových délek,
- tepelné záření se zaostřuje na senzor soustavou čoček ze speciálních materiálů, které propouštějí infračervené záření nebo se pro zaostření používá zrcadlo,
- jsou cejchovány prostřednictvím absolutně černého tělesa,

b) pásmové pyrometry:

- vyhodnocují záření v určitém rozpětí vlnových délek – pásmu. Pásmo vlnových délek je dáno spektrální citlivostí kvantového senzoru záření, spektrální prostupností optiky tepelných a kvantových senzorů a případně zařazených optických filtrů a konečně i spektrální prostupností atmosféry,

c) monochromatické pyrometry:

- pásmové pyrometry u nichž vyhodnocujeme záření z velmi úzkého pásma vlnových délek,

d) poměrové pyrometry:

- vyhodnocují teplotu objektu na základě poměru dvou různých hodnot záření při dvou různých vlnových délkách,

e) vícepásmové a dvoumódové pyrometry:

- přístroje, které na základě měření teploty spektrálního složení T_p a pásmového měření černé teploty T_o pro více vlnových délek eliminují výpočetní technikou chybu poměrových měřících přístrojů,

f) systémy snímání teplotních obrazců (termovize):

- umožňují převést neviditelné infračervené záření na obrazové signály televizní obrazovky. Termovizní systémy se dělí na systémy s opticko-mechanickým nebo elektronickým rozkladem obrazu. Opticko-mechanické systémy používají kvantových detektorů umístěných v tekutém dusíku nebo v Peltierově kaskádním termostatu. Elektronické systémy pracují s pyroelektrickými senzory, a to buď v uspořádání klasického vidikonu, nebo s přenosem nábojů na CCD registry (princip CCD kamer). Při použití pyroelektrického senzoru je vždy nutné přerušovat tepelný tok.

Senzory infračerveného záření

- a) **Teplné senzory** – při absorpci fotonů dochází k oteplení citlivé části senzoru a pohlcená energie se vyhodnocuje nepřímo pomocí senzorů teploty, které jsou nejčastěji:

Termočláňkové baterie

- tenké páskové termoelektrické články (tl. cca 0,3 mm) zapojené do série, měřící spoje jsou načerněné (pro lepší pohlcování tepla),
- bývá umístěna ve vakuové baňce (omezená spektrální propustnost),
- vyrábějí se technologií tenkých vrstev nebo Si technologií,

Bolometry

- využívají principu odporových senzorů teploty,
- nejčastěji se používají tenkovrstvé odporové senzory z kysličníků niklu, kobaltu atd. nanesené na velmi tenké elektricky nevodivé podložce, která je přilepena na masivní kovový blok, který slouží jako tepelná reference. Mezi jednotlivými odměry je nutné sensor začlenit a opět odclonit přerušovačem záření.

Pyroelektrické senzory

- založeny na změně spontánní polarizace pyroelektrika při změně teploty,
- pyroelektrický jev se vyskytuje u tzv. pyroelektrik s trvalou polarizací nebo u některých fotoelektrik, u nichž se orientace domén vytvoří silným elektrickým polem. Obvykle se používají materiály jako: TGS (triglycinsulfát), PZT keramika (keramická látka na bázi titaničitanu a zirkoničitanu olovnatého $PbTi_{1-x}Zr_xO_3$),
- skládají se ze dvou elektrod, z nichž čelní elektroda musí být transparentní pro infračervené záření. Senzor si lze představit jako kondenzátor, na jehož elektrodách se při změně polarizace v pyroelektriku naindukuje elektrický náboj. Ten odtéká přes svodový odpor a vstupní odpor před zesilovačem.

b) Kvantové senzory

- využívají fyzikálních jevů vznikajících při přímé interakci dopadajících fotonů se strukturou senzoru,
- fotony způsobí uvolnění nosičů náboje a zvětšení jejich pohyblivosti, což má za následek změnu konduktivity materiálu (fotorezistoru),
- fotony způsobí generaci párů elektron – díra v neutrální nebo ochuzené části závěrně polarizovaného přechodu PN, což má za následek změnu závěrného proudu (tzv. odporový režim fotodiody),
- generace párů elektron – díra má za následek pohyb nosičů náboje k elektrodám (tzv. fotona-pětový režim fotodiody).

5.2.2 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: spojité a nespojité (limitní, číslicové)

způsobu odměřování na snímače: absolutní přírůstkové (inkrementální), smíšené

5.2.2.1 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 vrstvové (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 kroutící moment: je definován jako největší kroutící moment v obou směrech otáčení, který je potřeba k rovnoměrnému točení hřídelkou v celém mechanickém rozsahu při udané rychlosti.
- Šum: u potenciometrů vzniká změnou přechodového odporu při pohybu jezdce po vinutí a je způsoben mechanickými i elektrickými efekty často způsobených korozi.

Rozdělení odporových potenciometrů podle:

typu odporové dráhy: odporové, posuvné, profilové,

pohybu jezdce: rotační jedno otáčkové, rotační více otáčkové, posuvné,

materiálu dráhy: - kovové: - drátové

- vrstvové,

- nekovové: - uhlíkové,

- elektrolytické,

- plastové (vodivé plasty CP),

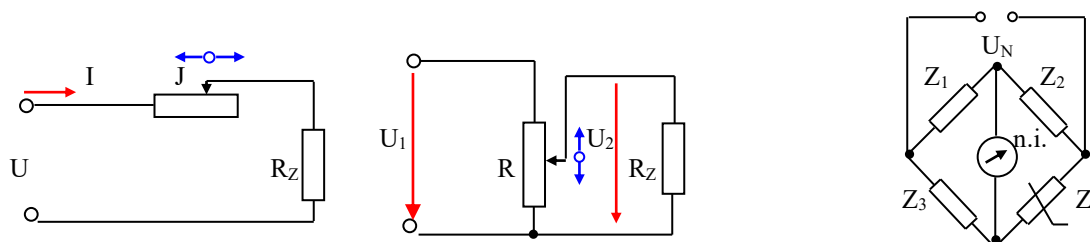
- cermentové (keramika + kov),

Provedení

Základem potenciometru je tělísko tvořené odporovým drátem navinutým na izolační podložce (keramickém válci – posuvné provedení či prstenci – rotační provedení) nebo nekovový odporový element tvořený nejčastěji vodivým plastem CP (Conductive Plastic). Velkou předností „CP“ snímačů je téměř nekonečná rozlišovací schopnost (v praxi asi 0,01 %) a 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 s vyšší odolností proti oděru. Hřídelky jsou uloženy v kluzných nebo kuličkových ložiscích.

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. 64. Reostatové, potenciometrické a můstkové zapojení

Výhoda potenciometrického zapojení ve srovnání s můstkovým spočívá především v linearitě 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.

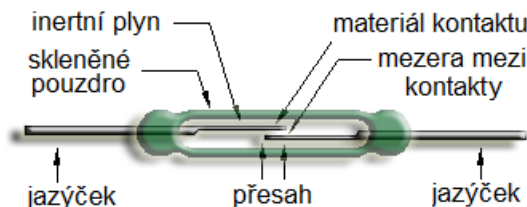
Nespojitě snímače polohy – mechanické spínače

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 součásti koncových spínačů.

Magnetické a bezdotykové snímače polohy

Podle principu dělíme tyto snímače na jazýčková relé, Wiegandovy sondy a Hallovy sondy. Díky využití magnetického pole jsou tyto snímače bezdotykové. V konstrukcích snímačů se využívá ferromagnetismus i paramagnetismus látek.

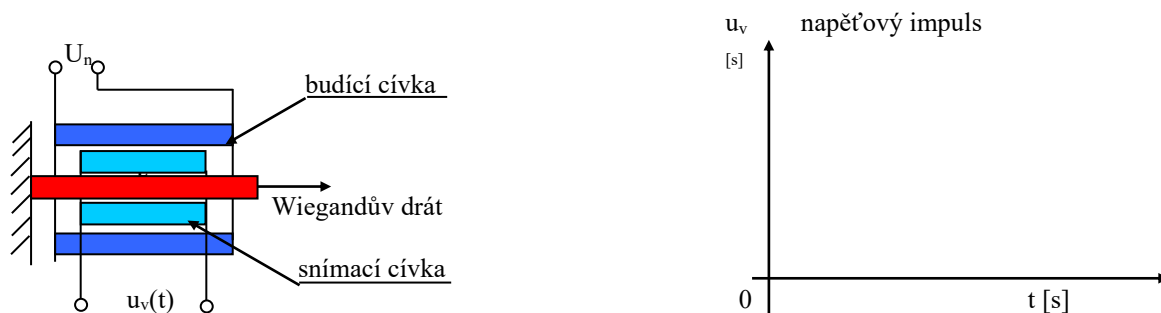
Jazýčkové relé – využívá silových účinků magnetického pole permanentního magnetu na jazýčky z magneticky měkkého materiálu, zatavené do skleněné trubičky, plněné inertním plynem.



Obr. 65. Jazýčkové relé

Wiegandova sonda – založena na principu, kdy drát z anizotropní slitiny Vicallooya vykazuje vlivem magnetostrikce rozdílné hysterezní smyčky.

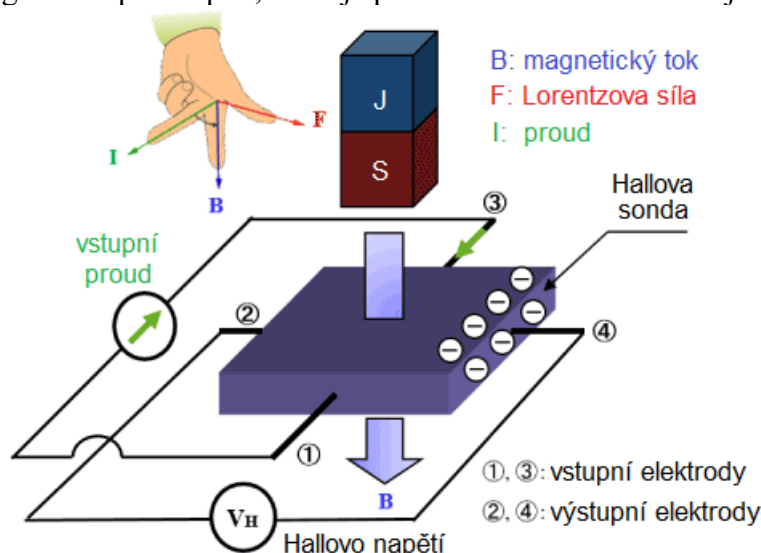
Budeme-li budící cívkou měnit libovolně pomalu intenzitu magnetického pole, pak při dosažení spínací intenzity magnetického pole H_s nastane skoková přemagnetizace z jedné polarity spontánní polarizace do druhé. Tím se ve snímací cívce naindukuje krátký napěťový impuls. Budící magnetické pole může být vytvořeno permanentním magnetem.



Obr. 66. Princip Wiegandovy sondy

Wiegandův senzor se používá jako senzor polohy, rychlosti, otáček, úhlu atd. Jeho výhodou je robustnost a odolnost proti vnějším vlivům. Nezávisí na rychlosti změny magnetického pole, je využitelný v rozsahu teplot od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$, je připojitelný dvoudrátově bez napájecí energie a má nízkou cenu. Zároveň se generované impulsy používají jako energetický zdroj pro napájení elektronických obvodů. To umožňuje konstrukci aktivních senzorů, které nevyžadují externí napájení, ani baterie.

Hallova sonda – je založena na jevu, kdy ve vodiči umístěném v magnetickém poli při průtoku proudu vzniká příčné elektrické napětí. Polovodičový pásek, kterým protéká proud, vykazuje v příčném směru v magnetické poli napětí, které je přímo úměrné velikosti vnějšího mg. pole.



Obr. 67. Princip Hallovy sondy

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.

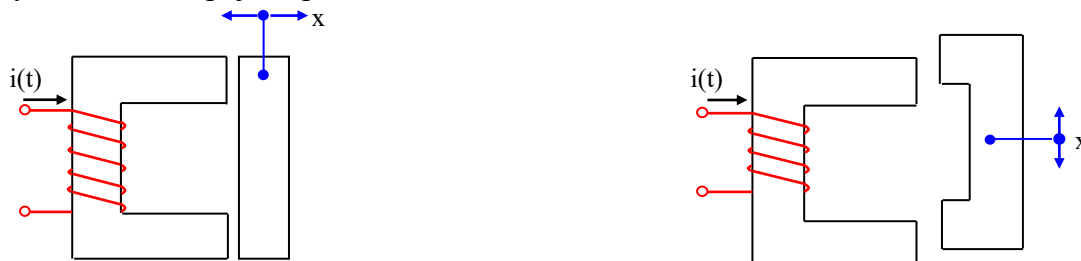
Indukčnostní snímače se podle principu činnosti dělí na tlumivkové (s otevřeným nebo uzavřeným magnetickým obvodem) a transformátorové. Indukčnostní snímače polohy se vyrábí s provedení válcovém, hranolovém, štěrbinovém a v provedení s kruhovým otvorem. Materiálem pouzdra a snímací plochy je vysoce jakostní 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.

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,

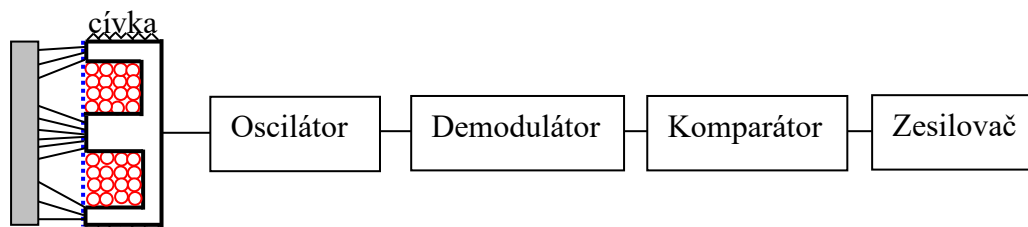
Vyhodnocování údajů indukčnostních snímačů je možné několika způsoby – rezonanční obvody, můstková zapojení, přímé měření.



Obr. 68. Snímače s proměnnou délkou a plochou vzduchové mezery

Nespojitý indukčnostní snímač

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 zaclonění.

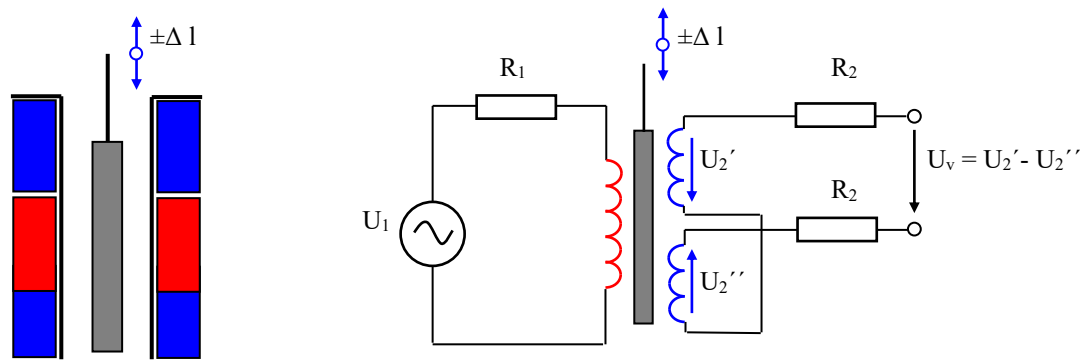


Obr. 69. Princip činnosti nespojitého indukčnostního snímače

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.

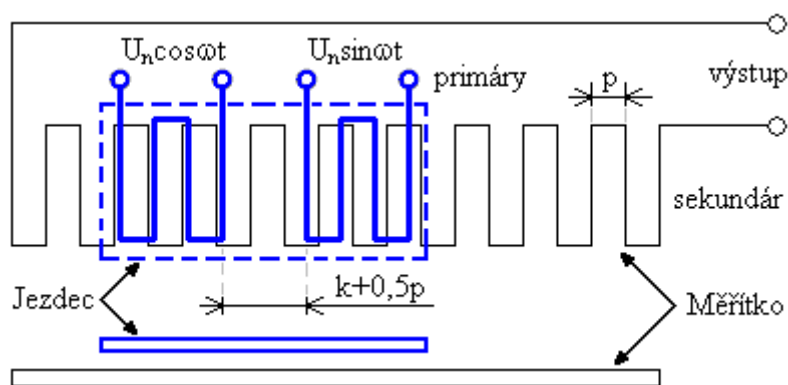
Tranformátorové snímače

Snímače s cívkou – s otevřeným magnetickým obvodem využívají změny indukčnosti cívky v závislosti na poloze feromagnetického jádra. Pokud nejsou v diferenčním zapojení, mají malou přesnost a značnou nelinearitu. Proto se konstruují jako diferenční, které vyhodnocují změnu vzájemné indukčnosti mezi primární a sekundárními cívkami v diferenčním zapojení. Primární cívka je napájena ze zdroje střídavého napětí, takže výstupní napětí sekundárního vinutí je úměrné měřené veličině. Přesnost včetně nelinearity je okolo 1 %.



Obr. 70. Transformátorový snímač

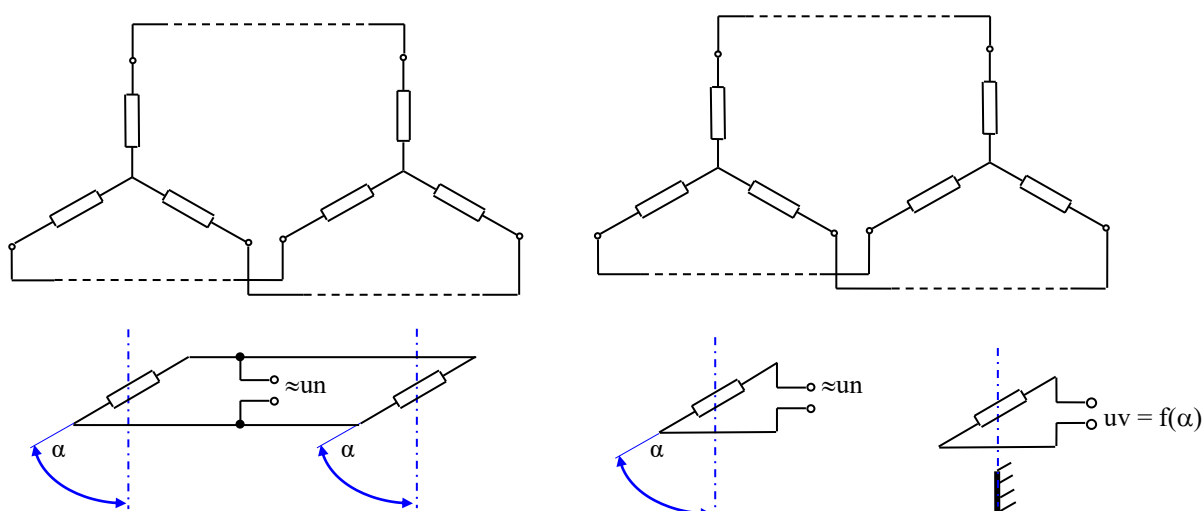
Pro velké rozsahy posuvu je použitelný tzv. inuktosyn. Skládá se z měřítka a jezdc, který se pohybuje nad měřítkem. Obě vinutí jezdc i vinutí měřítka jsou vyrobeny technikou tištěných spojů. Druhé vinutí jezdc je oproti prvnímu posunuto o 1,5násobek „kroku p“. Magnetická vazba mezi primárním a sekundárním vinutím je závislá na vzájemném posuvu jezdc a měřítka. Vyhodnocení posuvu jezdc je převedeno na vyhodnocení fázového posuvu φ výstupního napětí.



Obr. 71. Schéma a princip činnosti inuktosynu

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 kroužky a kartáčky. Selsyny se používají vždy ve dvojicích (vysílač a přijímač) a to ve dvou zapojeních.



Obr. 72. 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, který je spojen s objektem, jehož polohu měříme, 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 nezátíženém výstupním rotoru je přesnost přenosu lepší než 1 %.

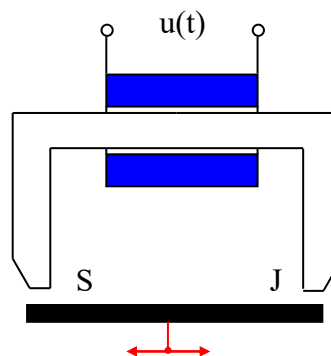
V druhém zapojení je napájen pouze rotor vysílače a rotor přijímače je trvale zablokován. Z kartáčů přijímače pak odebíráme napětí, pro které platí: $u_v = u_n \cdot \cos(\beta)$, kde β je úhel rotoru vysílače vůči zablokovanému rotoru přijímače.

Existují složitější zapojení, kdy se dosahuje lepší přesnosti přenosu úhlu natočení. Jsou to obvody se servomechanismy a zesilovači nebo s více selsyny pro hrubé a jemné měření.

Indukční snímače polohy

Jsou to senzory založené na Faradayově zákonu.

Přes feromagnetické tělísko se uzavírá magnetický tok vyvolaný permanentním magnetem. Pohybem feromagnetického tělíska dochází ke změně magnetického toku. Ve snímací cívce se naindukují napětí úměrné těmto změnám.

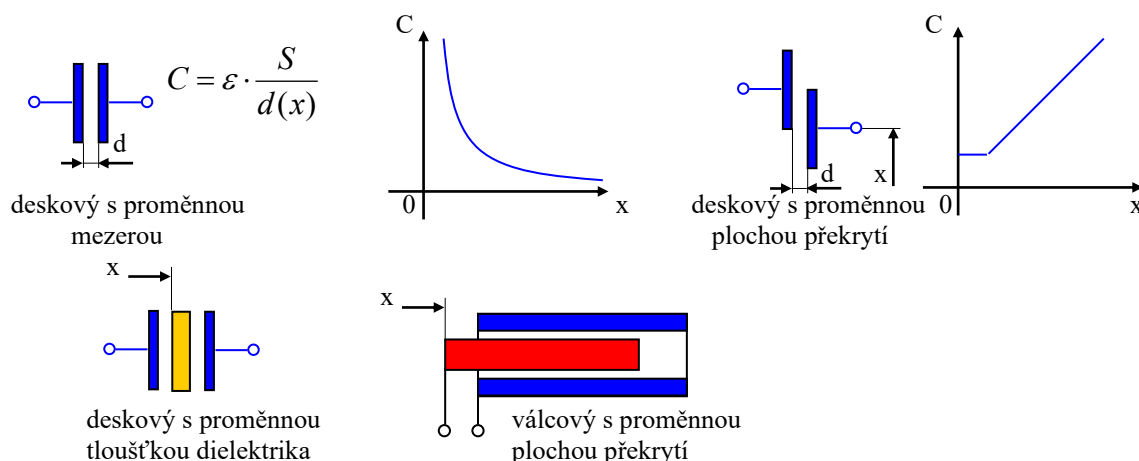


Obr. 73. Princip činnosti indukčních senzorů

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).

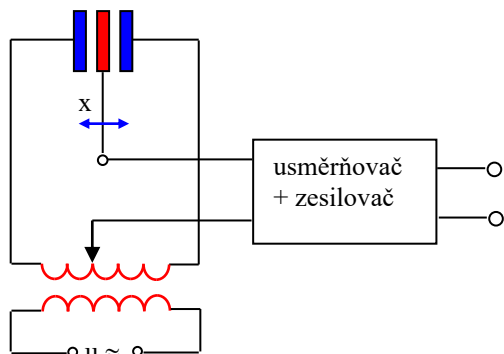
Měřicí obvody kapacitních senzorů – mají za úkol vyhodnotit kapacitu snímače a převést ji na napěťový nebo proudový signál úměrný měřené veličině. Důležitou podmínkou pro správnou činnost snímačů je minimalizace parazitních kapacit. Nejjednodušší metodou je zkrácení přívodů k měřicímu členu nebo přímo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



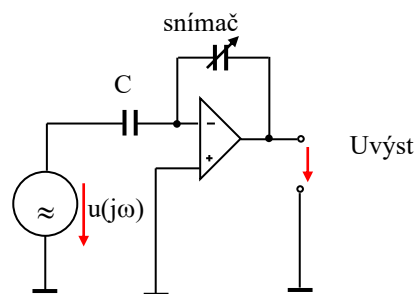
Obr. 74. Principy kapacitních snímačů a základní funkční vztahy

Metody vyhodnocení kapacitních snímačů:

- můstkové:**
 - měřicí kondenzátor je zapojen do jedné z větví střídavého můstku,
 - jsou značně nepřesné – vliv parazitních kapacit,
 - výhodnější je tzv. transformátorový můstek,
- zpětnovazební:**
 - měřicí kondenzátor je součástí děliče zapojeného do zpětné vazby OZ,
 - vhodné pro diferenční senzory,

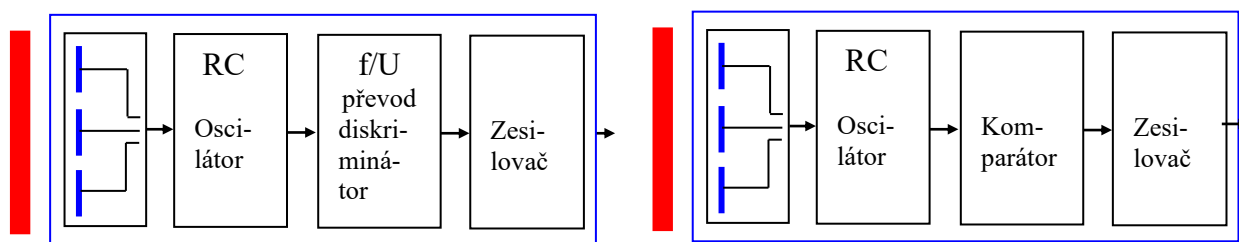


Obr. 75. Transformátorový můstek



Obr. 76. Kapacitní senzor ve zpětné vazbě OZ

rezonanční: měřící kondenzátor je součástí LC obvodu a kapacita se převádí na kmitočet oscilátoru podle Thomsonova vzorce. Rezonanční obvod může pracovat jak spojitě, tak nespojitě:



a) se spojitým výstupem

b) s nespojitým výstupem

Obr. 77. Blokové schéma kapacitního snímače s RC oscilátorem

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Aktivními prvky kapacitního snímače jsou dvě elektrody, které jsou jako měřící kondenzátor součástí RC oscilátoru. Jakmile vnikne předmět před aktivní plochu snímače, změní se kapacita a tím i frekvence oscilátoru. Při spojitém signálu převádí diskriminátor tuto spojitou změnu frekvence na spojitou změnu napětí. U nespojitého principu se dalším přibližováním předmětu změna kapacity dále zvětšuje, což vede až k výpadku RC obvodu z oscilace. Tento stav vyhodnotí komparátor a výstupní obvod změní svůj stav.

Optické snímače polohy

Oproti předchozím senzorům mají podstatné výhody – zejména necitlivost na elektromagnetická a jiná pole. Podle základního principu je dělíme na:

- snímače **pro měření polohy** a ty dále na: absolutní a inkrementální (přírůstkové),
- snímače **pro indikaci polohy**.

Podle signálu dělíme snímače polohy na:

- **spojité**,
- **nespojité**.

Měření polohy

Absolutní snímače

Mezi absolutní snímače polohy patří **laserové** snímače, které pracují s odraženým laserovým paprskem. Podle způsobu vyhodnocení odraženého signálu vyhodnocují vzdálenost, případně i rychlost pohybu sledovaného objektu na principu interference. Pracují bezdotykově s velmi vysokou přesností a s velkým rozsahem.

Zvláštním typem snímačů jsou tzv. **optoelektronické CCD** senzory, založené na aplikaci nábojově vázaných struktur, které jsou schopné vyhodnocovat souřadnice osvětlených bodů. Senzor může obsahovat až 10^4 fotocitlivých bodů s rozměry 100×100 až $7 \times 7 \mu\text{m}$. Čtecí frekvence se pohybuje v rozmezí 2 až 20 MHz. Plošné senzory umožňují snímat i dvojrozměrné obrazy.

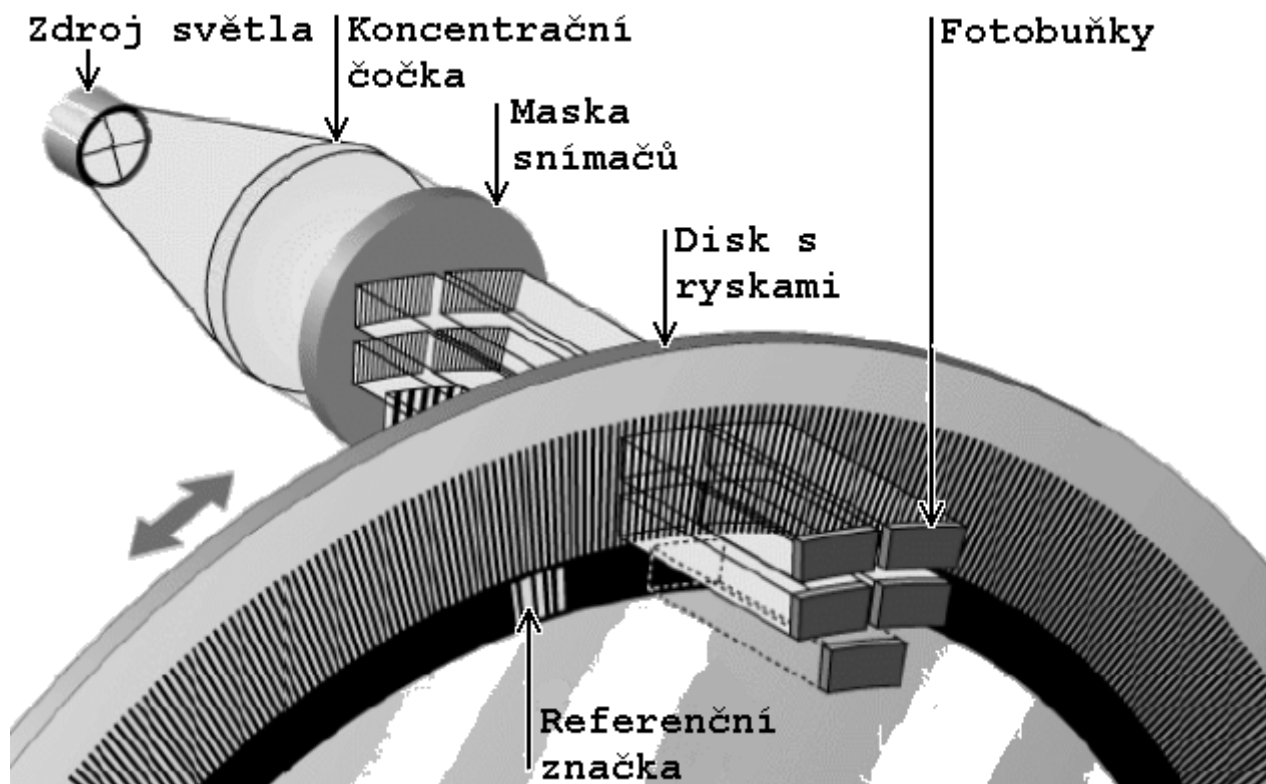
Dalším typem jsou snímače **číslicové**. Tyto snímače dávají na svém výstupu jedno digitální slovo, které reprezentuje polohu (úhlovou hodnotu) vztaženou k referenčnímu bodu. Základem snímače je průhledný kotouček nebo pásek, kde jsou vytvořeny stopy s průhlednými a neprůhlednými plochami. Světelný tok procházející jednotlivými stopami dopadá na soustavu fototranzistorů (fotodiod), které vytvoří digitální informaci o měřeném předmětu. Každé stopě pak přísluší jeden fototranzistor. Kotouček nebo pásek je z důvodu bezpečného vyhodnocení sousedních stavů (odstranění hazardů) kódován v Grayově kódu. Grayův kód zaručuje, že při každé změně mezi sousedními polohami dojde jen k jedné změně logických hodnot kódu. V některých případech se z technických důvodů používají i jiné kódy např. Johnsonův. Informace o poloze je tak zakódována a její získání vyžaduje použití převodníku nebo matematického zpracování.

Inkrementální snímače

Princip inkrementálního odměřování polohy objektu spočívá v tom, že lineární nebo úhlová dráha je rozdělena na určitý počet stejně velkých úseků Δs . Inkrementální senzor pak vysílá po odměření každého úseku jeden impuls. Měřená poloha je tedy dána počtem přírůstků (inkrementů) dráhy Δs od zvolené referenční polohy a **měření se provádí čítáním impulsů**.

U optoelektronických inkrementálních lineárních nebo rotačních senzorů se většinou používá prosvětlovací způsob.

Senzor se skládá ze skleněného posuvného nebo otočného měřítka, na němž jsou fotochemickým způsobem vytvořeny paralelní rysky, rozdělující plochu na průsvitné a neprůsvitné proužky. Měřítka je mechanicky spojeno s měřeným objektem. Další částí jsou nepohyblivé clony se stejnou geometrií průsvitných a neprůsvitných proužků jako u měřítka. Světelný tok ze speciální žárovky nebo z jednotlivých LED diod (elektroluminiscenční dioda Ga-As) je při pohybu měřítka periodicky přerušován a vyhodnocován fotodiodami. Inkrementální systém senzoru na obrázku výše je rozdělen do 2 kanálů.



Obr. 78. Optoelektronický inkrementální rotační senzor polohy

. Každý z kanálů má dvě snímací pole navzájem posunutá o $n \times \lambda \pm \lambda/2$, kde λ je rozteč proužků a n je celé číslo. Diferenčním zapojením fotodiod a vhodnou geometrií clon a optiky lze docílit, že výstupní signál jednotlivých kanálů je sinusový. Aby bylo možné stanovit směr posuvu nebo otáčení měřítka, jsou kanály navzájem posunuté o $n \times \lambda/2 \pm \lambda/4$. Výstupem inkrementálního

senzoru jsou tedy 4 signály posunuté o 90°. Po úpravě sinusových signálů na pravouhlé TTL signály vyhodnotí logický blok směr posunu nebo otáčení, a to dle časového sledu signálů kanálů. Zároveň je možné dosáhnout přesnějšího vyhodnocení polohy (interpolace) než je samotná rozteč proužků – dvojnásobná nebo čtyřnásobná interpolace. Pro získání informace o výchozí hodnotě je použit další kanál, který prostřednictvím impulsu dává informaci o jedné otáčce nebo délkové jednotce.

Nejmenší dělení a rozměry proužků se pohybují kolem $\lambda = 7 \mu\text{m}$. Na otočném měřítku lze vytvořit až 36 000 proužků s chybou 1". Dalšího zvětšení citlivosti se dosahuje interpolací, a tak nejdokonalejší senzory mají rozlišovací schopnost v úhlové míře 0,000 05° a v posuvné míře 0,05 μm .

Indikace polohy

Na rozdíl od měření polohy je indikace pouze konstatování, zda se předmět vyskytuje v předem definované poloze. Výstupní signál je tedy binární.

Rozdělení optických systémů:

jednocestné systémy:

- světelná závora s odděleným zdrojem a přijímačem záření,
- světelná záclona (1 zdroj a 1 přijímačem záření se soustavou zrcadel),
- 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 ze dvou jednotek: z vysílače a přijímače. Vysílač je uspořádán tak, aby na přijímač dopadalo co nejvíce světelného záření. K tomu je vybaven příslušnou optickou soustavou čoček nebo zrcadel. Vysílačem je žárovka, emisní nebo laserová dioda vyzařující ve viditelné nebo infračervené oblasti. Přijímač detekuje dopadající záření a odlišuje světlo dopadající z okolí. Přijímačem bývá fotodioda, fototranzistor nebo optron.

Seřazením několika jednocestných závor nad sebou a jejich logickým propojením dostaneme optickou mříž, hlídající celou plochu mezi vysílači a přijímací stranou.

Světelnou záclonu dostaneme tak, že záření od vysílače vedeme pomocí soustavy zrcadel po různých drahách k přijímači.

Reflexní systémy

Zdroj i přijímač světla jsou umístěny v jedné jednotce. Na opačné straně je umístěno buď zrcadlo, které vyžaduje přesné směřování, nebo odrazka. V případě odrazky (známá z dopravních prostředků) se jedná o tzv. trojzrcadlo (koutový odrazeč), která zajistí zpětný odraz i při provozních změnách vzájemné polohy vysílače a zrcadla a její montáž nevyžaduje přesné směřování.

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. Jelikož umožňují indikovat přítomnost či nepřítomnost tělesa, můžeme například pomocí rotujícího kotouče s otvory měřit rychlost nebo počet otáček. Použitím dvou přijímačů lze určit z časového zpoždění i smysl pohybu.

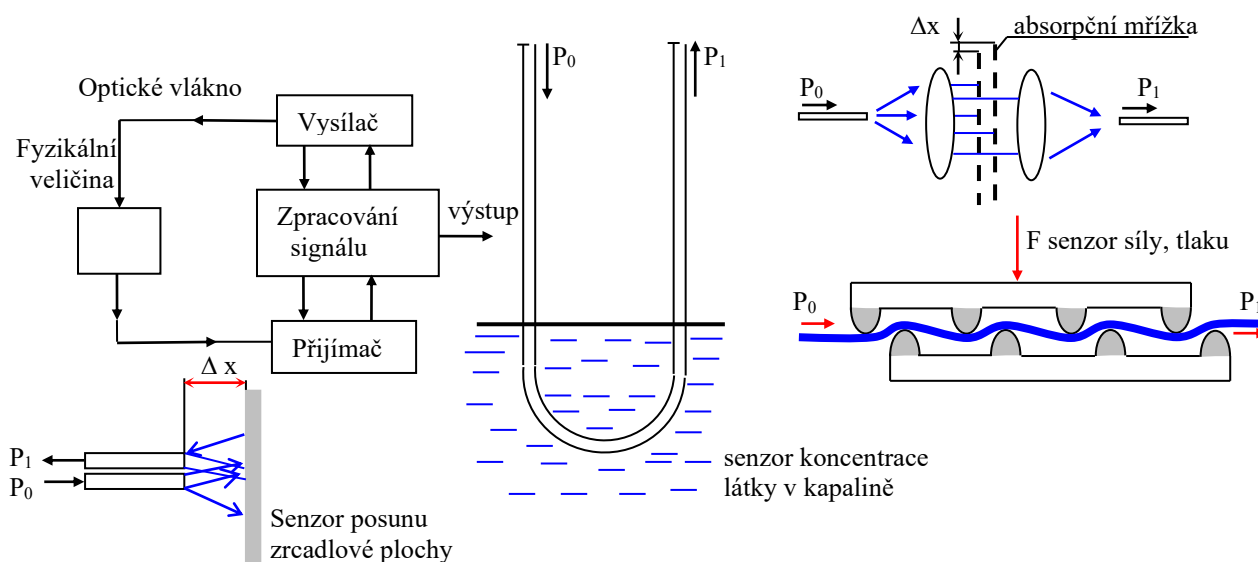
Optické vláknové senzory (OVS)

Tyto senzory vznikly na základě vědomostí získaných při aplikacích optických vláken pro přenos dat. Optická vlákna vyvinutá původně pro přenos širokopásmových signálů přinášejí do

oblasti optoelektrických snímačů novou kvalitou, ať již ve zdokonalení klasických, výše popsaných senzorů či jako samostatné snímače. 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).

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



Obr. 79. Příklady optických vláknových senzorů

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 sta 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 snímaný objekt musí mít s rostoucí vzdáleností zaručený minimální rozměr. Předměty vhodné pro detekci jsou všechny tuhé a kapalné 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.

5.2.2.2 Snímače síly a tlaku

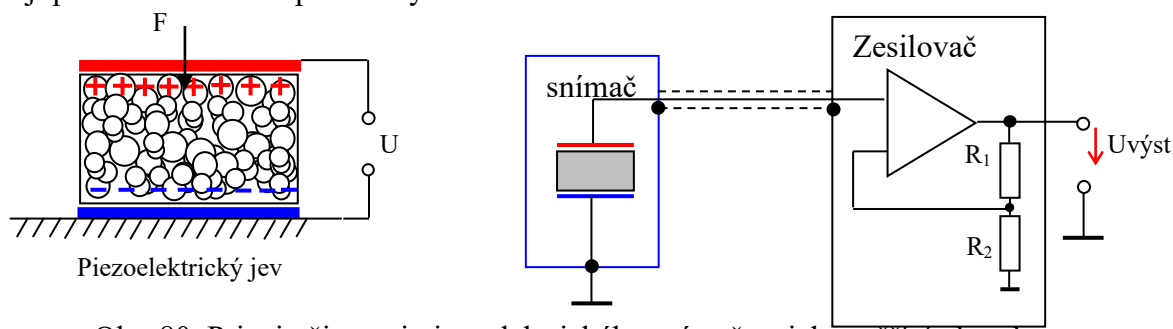
a) Elektrické snímače síly

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

Piezelektrické snímače

Funkce tohoto snímače je založena na piezelektrickém jevu, při němž deformací krystalů dielektrik, které nejsou středově souměrné vzniká polarizací vázaný náboj. Ten může na elektro-

dách přiložených k povrchu krystalu indukovat volný náboj. Používanými materiály jsou tzv. ferroelektrika (titaničitan barnatý), tj. látky, které se v elektrostatickém poli nebo účinkem síly snadno polarizují. V měřící technice se používá především křemen SiO_2 . Piezoelektrické krystaly se používají pro měření časově proměnných sil.



Obr. 80. Princip činnosti piezoelektrického snímače a jeho měřící obvod

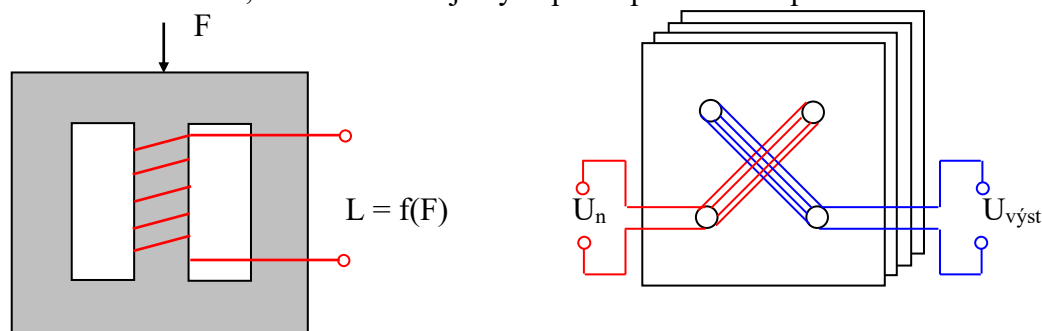
Jako měřící obvody se používají zesilovače s vysokým vstupním odporem (tranzistory FET, operační zesilovače s JFET vstupy).

b) Magnetické snímače

Jejich činnost je založena na stanovení změn magnetických veličin vyvolaných deformacemi feromagnetických materiálů. Nejčastěji se využívá dvou základních principů: magnetostrikce a magnetoanizotropie.

Magnetostrikční snímače – využívají fyzikální jev magnetostrikce 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 permalloya ($\text{Fe}+\text{Ni}+\text{Mo}$) nebo transformátorové oceli. Výstupní veličinou je změna indukčnosti, kterou vyhodnocujeme např. můstkovými metodami.

Magnetoanizotropní snímače – jejich základ tvoří těleso složené z plechů v němž jsou ve čtyřech otvorech symetricky vzhledem ke středu vložena dvě vinutí. Nepůsobí-li na toto těleso síla je vazba mezi vinutími minimální. Po zatížení tělesa se magnetický tok budícího vinutí natočí tak, že zasáhne sekundární obvod, v němž indukuje výstupní napětí úměrné působící síle.



Obr. 81. Magnetostrikční a magnetoanizotropní snímač

c) Tenzometrické snímače – odporové

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

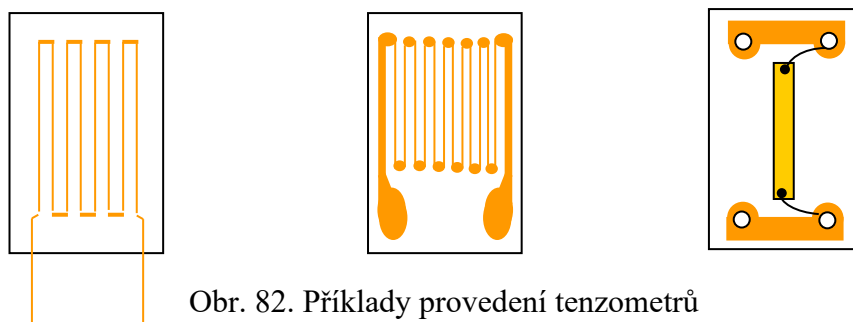
Rozdělení tenzometrů:

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

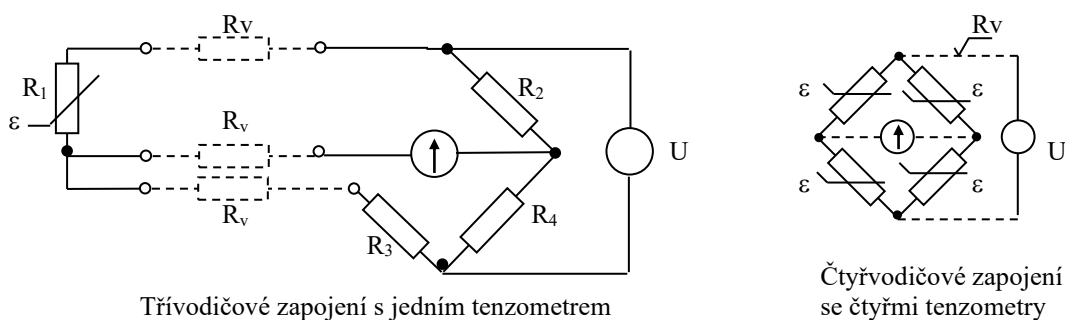
V současné době se nejčastěji používají tenzometry fóliové, napařované a monokrystalické. Kovové tenzometry se vyrábějí ze slitin Cu-Ni (konstantan), Ni-Cr (Nichrom) apod. Drátkové tenzometry jsou z drátu o průměru 10-40 μm . Fóliové tenzometry jsou vyrobeny odleptáním napařené fólie na podložce z plastu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

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 měřící mechanický člen. V porovnání s kovovými jsou polovodičové mnohem citlivější. Nevýhodou je odchylka od lineární charakteristiky a značná teplotní závislost.

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



Obr. 82. Příklady provedení tenzometrů

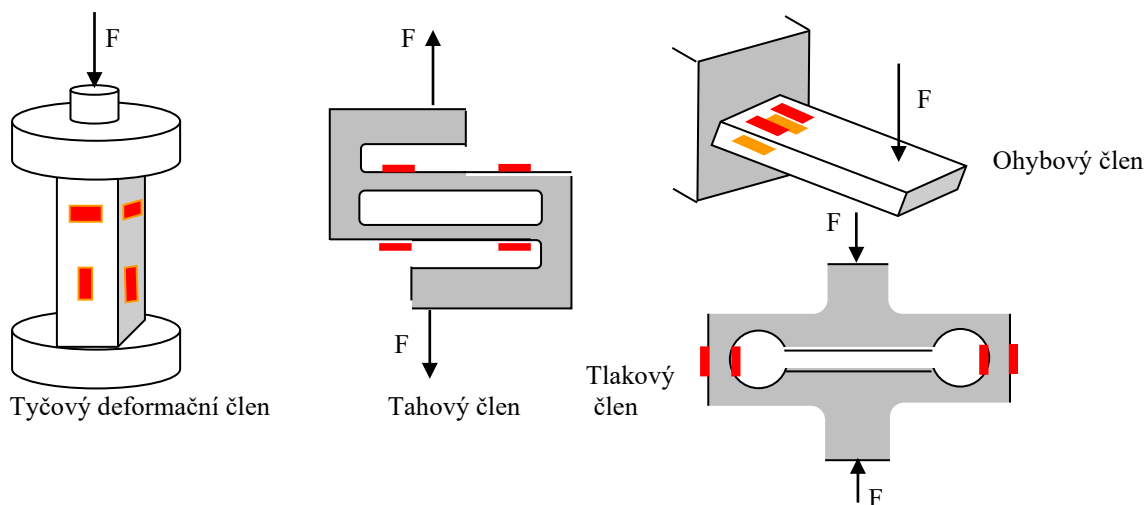


Třívodičové zapojení s jedním tenzometrem

Čtyřvodičové zapojení se čtyřmi tenzometry

Obr. 83. Měřicí obvody tenzometrů

Deformační prvky tenzometrických snímačů převádějí sílu na deformaci měřenou tenzometry. Vyrábí se v širokém sortimentu pro rozsahy od 10 N po 100 MN.

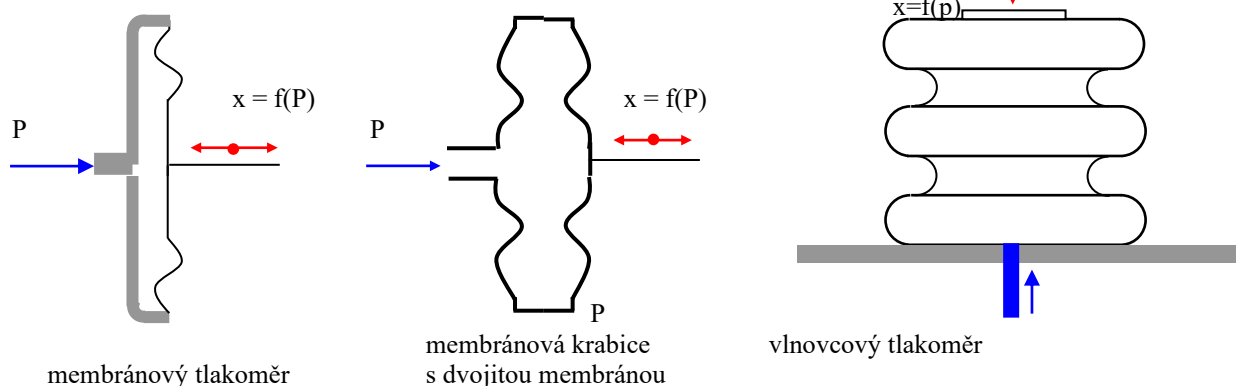


Obr. 84. Příklady deformačních prvků

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 nebo skloněným ramenem),

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



Obr. 85. Membránové tlakoměry

5.2.3 Snímače průtoku

Snímače průtoku tekutin (kapalin a plynů) určují objemové množství Q_V [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$] nebo hmotnostní množství Q_M [kg s^{-1}] tekutiny proteklé zvoleným průřezem S za časovou jednotku.

Platí vztahy:

$$Q_V = V/t = v_{\text{stř}} \cdot S \quad Q_M = m/t = v_{\text{stř}} \cdot S \cdot \theta$$

Odtud vyplývají i veličiny, které je nutno určit pro stanovení průtoku a rozdělení snímačů průtoku:

rychlostní snímače – průřezové, plovákové, turbínkové, indukční, ultrazvukové, vírové, tepelné,

objemové snímače – dávkovací snímače, plynoměry,

hmotnostní snímače – Coriolisův snímač,

a) Rychlostní průtokoměry

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

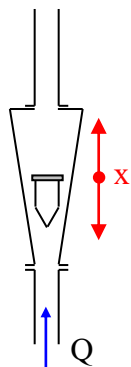
Průřezové snímače – využívají poklesu tlaku vzniklého zvýšením rychlosti proudění ve zúženém místě průřezu potrubí

- kruhová centrická **clona** – výrobně nejjednodušší, nejlevnější a nejužívanější prvek. Způsobuje tlakovou ztrátu a vyžaduje čisté tekutiny,
- **dýza ISA 1932** - používá se při větších požadavcích na přesnost, při měření v náročných provozních podmínkách (delší životnost a stálost),
- **Venturiho trubice** – způsobuje menší tlakovou ztrátu a je přesnější,
- **Pitotova trubice, Prandtlova trubice** – do proudu zasahuje čelní plochou trubice ve které tak vzniká dynamický tlak úměrný rychlosti proudění. Lze ji využít i pro plyny.

clona, dýza, Venturiho trubice, Pitotova trubice, Parshallův žlab

Obr. 86. Průřezové snímače

Plovákový průtokoměr (rotametr)

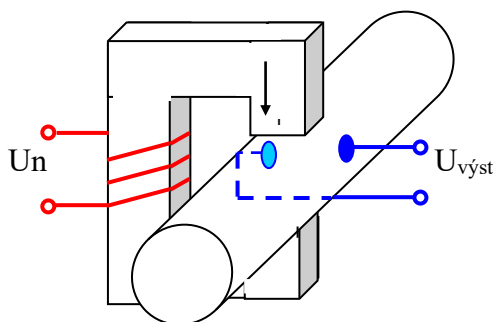


- pracuje na principu udržování konstantního tlakového rozdílu při proměnlivém škrcení průtočného průřezu,
- ve svislé kuželové trubce je proudící tekutinou nadzvedáván plovák. Plovák je šikmo rýhovaný a vlivem proudění tekutiny rotuje (stabilizace) a je unášen do polohy, kde nastane rovnováha mezi dynamickým působením tekutiny a tíhou plováku,
- vyhodnocení výškové polohy plováku se provádí snímači polohy, nejčastěji transformátorovým.

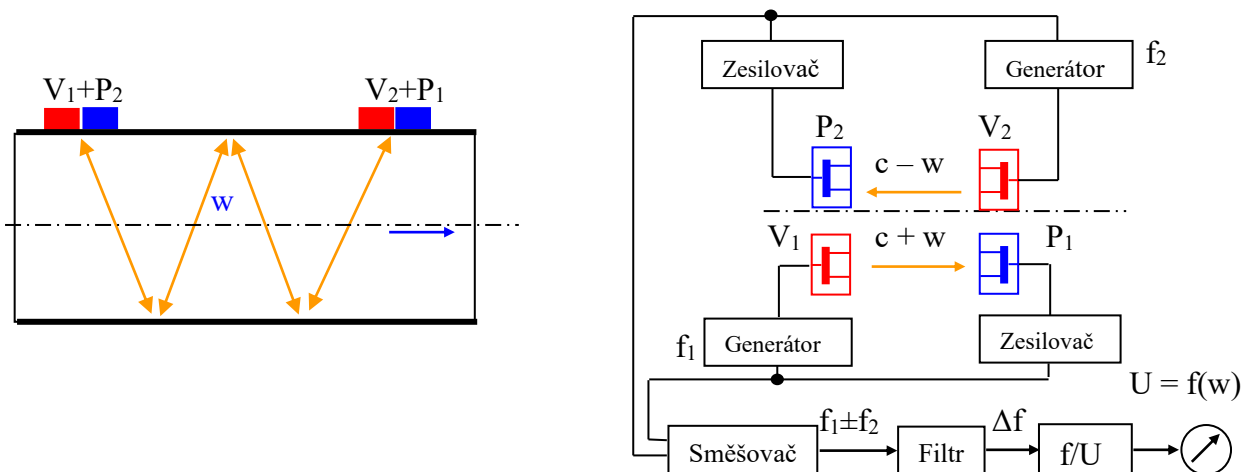
Obr. 87. Řez plovákovým průtokoměrem

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 počítaadlo 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 škrticích orgánů. Jeho charakteristika je lineární s citlivostí řádově 1 mV/ms^{-1} a přesností 1 %.



Obr. 88. Princip indukčního průtokoměru



Obr. 89. Princip činnosti ultrazvukového průtokoměru

Ultrazvukový průtokoměr – vyhodnocuje signály na základě změn rychlosti šíření ultrazvukových vln při jejich pohybu ve směru a proti směru proudění kapaliny.

Jeho výhody jsou:

- neobsahuje pohyblivé prvky, a proto je použitelný i pro znečištěná média,
- je odolný proti rušivým signálům (teplota, tlak),
- umožňuje dodatečnou instalaci měření bez rozpojení potrubí,

Vírový průtokoměr – využívá vzniku vírů a tím i vzniku tlakových pulsací 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.

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.

b) Objemové průtokoměry

jsou to většinou dávkovací systémy, které ve směru proudění transportují přesně definovaná množství tekutin.

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. Základní provedení takového průtokoměru má tzv. Rootsův kompresor.

Plynoměry

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. Je používán pro měření spotřeby plynu v domácnostech.

5.2.4 Snímače hladiny

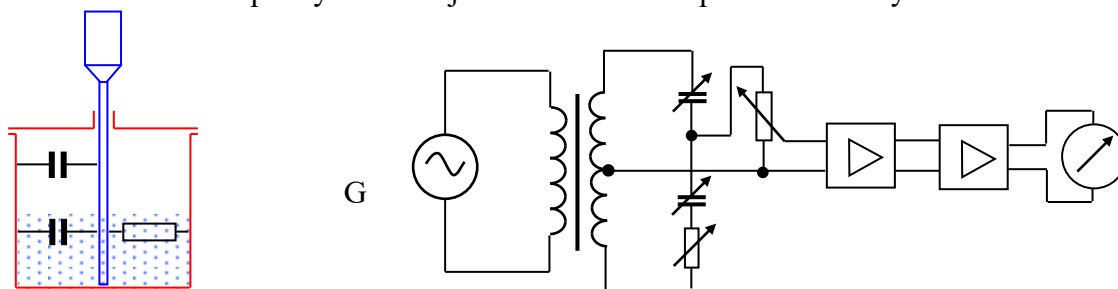
a) Snímače pro nespojitě měření hladiny – plovákové, vibrační, vodivostní

Obr. 90. Principy nespojitých snímačů hladiny

b) Snímače pro spojité měření hladiny

Plovákový snímač hladiny – plováky sledují úroveň hladiny, mechanickými převody je tento pohyb zpravidla transformován na změnu polohy jezdce odporového vysílače.

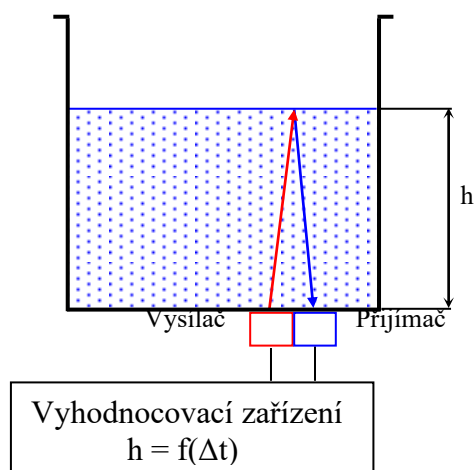
Kapacitní snímač hladiny – pracuje na principu měření kapacity kondenzátoru částečně ponořeného do měřené látky, kterou může být kapalina, ale i sypký nebo kusový materiál (uhlí, obilí). Vnitřní elektrodou je kovová tyč, která je při měření vodivého prostředí zastávajícího funkci druhé elektrody kondenzátoru 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. 91. 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. 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.



Obr. 92. Princip ultrazvukového snímače hladiny

Radarové snímače hladiny – rozdělujeme na bezkontaktní (pulsní nebo se spojitým frekvenčně modulovaným signálem) a na kontaktní. Bezkontaktní pulsní radar vyhodnocující standardním způsobem dobu mezi vysláním a přijetím signálu je zatížen chybami vzniklými náhodnými signály (odrazy od stěn, dna). V současnosti se používají radary se spojitým frekvenčně modulovaným signálem (FMCW). Vysílaná frekvence radaru v určitém časovém intervalu lineárně roste v rozmezí jednotek GHz, to znamená, že radar je spojitě se přeladujícím vysílačem elmg.

vlnění. 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:

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



Obr. 93. Principy radioizotopových snímačů hladiny

5.2.5 Snímače fyzikálních a chemických vlastností kapalin a plynů

Měření vlhkosti plynů

Kondenzační metoda – založena na měření rosného bodu plynu pomocí ochlazovaného zrcátka, které je obtékáno plynem. Při zamlžení zrcátka (změna odrazivosti dopadajícího světla) se odečte teplota a z diagramu se určí vlhkost. Celé měření může být zcela automatické kdy se zrcátko ochlazuje Peltierovým článkem a optickým paprskem snímá jeho orosení. Ochlazování je regulováno přesně na mezi rosení, a tak průběžně měřen rosný bod.

Hygrometrická metoda – využívá vlastností některých látek absorbovat vlhkost a měnit přitom určitý parametr (délku, vodivost, kapacitu). Změnu délky vlivem vlhkosti vykazují např. lidské vlasy. Nevýhodou vlasových je nelineární průběh charakteristiky a malá přesnost (4 %).

Psychrometrická metoda – založena na principu měření rozdílu teplot dvou blízko se umístěných teploměrů a to „suchého“, jehož jímku obtéká měřený plyn, a „mokrého“, jehož jímku obaluje zvlhčovaná punčoška. Účinkem proudícího plynu dochází k odpařování vody tím více čím je relativní vlhkost plynu menší. Teplo potřebné k odpaření je odnímáno z vlhké tkaniny a tím dojde k poklesu teploty „mokrého“ teploměru. Z rozdílu teplot obou teploměrů se pomocí tabulek, diagramů nebo speciálních pomůcek určí relativní vlhkost.

Stanovení složení kapalin a plynů měřením elektrické vodivosti

Stanovení koncentrace kyselin a zásad, a především iontů rozpustných solí v roztocích se provádí měřením měrné vodivosti analyzovaného roztoku. Jestliže je mezi dvěma elektrodami definované plochy a vzdálenosti v elektrostatickém poli kondenzátoru či magnetickém poli cívky sloupec kapaliny, je částí elektrického obvodu a představuje impedanci obvodu určující proud odpovídající obsahu iontů v analyzovaném roztoku. Měření složení je tak převedeno na stanovení elektrického proudu (impedance) objemu analyzované kapaliny.

Snímače vodivosti dělíme podle způsobu měření do dvou skupin:

- elektrodové snímače (dvoelektrodové, čtyřelektrodové),
- bezelektrodové snímače (nízkofrekvenční, vysokofrekvenční)

Stanovení složení plynů na principu tepelné vodivosti

- tepelně-vodivostní analyzátoři využívají ke své funkci rozdílnou tepelnou vodivost analyzovaného plynu a porovnávacího (referenčního) plynu, u spalitelných plynů se určuje změna teploty snímače vlivem spalného tepla.

Stanovení složení plynů na principu magnetické susceptibility

- tyto analyzátoři využívají silový účinek magnetického pole vtahujícího paramagnetické plyny (kyslík), které se ohřevem stávají diamagnetickými.

Potenciometrická analýza kapalin – měření pH

- užitím pevných keramických elektrolytů,

5.2.6 Snímače optických veličin.

Snímače rozdělujeme na aktivní (generátorické), na kterých při dopadu záření vzniká elektrické napětí a pasivní snímače, měnící pouze určitý parametr.

Fotoodpor

Využívá změny elektrické vodivosti některých polovodičových materiálů působením světelného toku. S rostoucím osvětlením jeho odpor klesá. Změna odporu je značná (od 10^6 do $10^2 \Omega$).

Fotodioda

Plošná dioda, jejíž přechod PN je ovlivňován světelným tokem. Fotodiody mají velkou citlivost, zatížitelnost a dlouhodobou stálost, jejich mezní kmitočet je nižší než 100 kHz. Zlepšení frekvenčních vlastností je dosaženo konstrukcí tzv. PIN diody nebo lavinové fotodiody.

Fototranzistor

Optoelektrický prvek v němž je proud vzniklý absorbcí záření zesílen tranzistorovým jevem. Integrované obvody s fototranzistorovým snímačem a lineárním výstupním signálem se používají ve fotografických přístrojích, fotobleších apod.

Fototyristor

Fototyristor je čtyřvrstvá struktura se třemi přechody PN a s vyvedenou řídicí elektrodou G, takže za tmy má vlastnosti jako normální tyristor. Při konstantním proudu řídicí elektrody se růstem intenzity dopadajícího zářivého toku E zmenšuje blokovací napětí. Tím je možno řídit citlivost fototyristoru, tzn. velikost dopadajícího toku při kterém tyristor spíná. Výhodou fototyristoru je galvanické oddělení řídicího obvodu od spínané struktury a zátěže.

Optron

Vazební optoelektrický člen tvořený řízeným zdrojem záření a fotoelektrickým přijímačem, které jsou uspořádány v jediném konstrukčním celku. Jako řízený zdroj se nejčastěji používá světelná dioda, přijímačem bývá fototranzistor, případně lavinová dioda nebo fototyristor. Používá se hlavně jako prvek pro galvanické oddělení obvodů (oddělení snímačů a akčních členů od V/V obvodů mikroelektronických řídicích systémů).

5.2.7 Snímače magnetických veličin.

Magnetoodpor

Dvojpólový prvek, jehož změna odporu vzniká zakřivením (tím i prodloužením) dráhy nosičů náboje v polovodičovém materiálu vlivem vnějšího magnetického pole. Magnetoodpory se používají jako bezkontaktně buď dvoupólově nebo spojitě řízené odpory, a to prostřednictvím permanentních magnetů, které se k nim přiblíží, nebo elektromagnetů, do jejichž vzduchové mezery se magnetoodpor vloží.

Magnetodiody

Pracuje na principu injekce nosičů náboje, jejichž doba života je řízena účinkem vnějšího magnetického pole. Při vložení diody do vnějšího magnetického pole a její polarizaci v propustném směru dochází silovým účinkem magnetického pole k vychylování pohybujících se nosičů náboje do zóny rekombinace nebo opačným směrem od rekombinační zóny. Tento jev vyvolá v prvním případě pokles proudu, v druhém případě zmenšování odporu a nárůst proudu. Má větší citlivost než magnetoodpor nebo Hallova sonda, a proto se používá pro měření slabých magnetických polí (řádově 10^{-4} T).

Magnetotranzistor

Je to planární tranzistor se dvěma kolektory pracující jako diferenciální zesilovač. Při nulové indukci jsou oba proudy shodné. Vložením tranzistoru do magnetického pole mezi nimi vznikne rozdíl (diference) proudů odpovídající indukci B. Rozlišitelnost indukce magnetického pole je do hodnot 10^{-7} T.

Hallova sonda

Protéká-li polovodičovou destičkou tloušťky d elektrický proud I, pak jejím vložení do mg pole s indukcí B, jejíž směr je kolmý na směr proudu, vznikne na kontaktech ve směru kolmém na rovinu vektorů I, B tzv. Hallovo napětí U_H .

Hallova sonda se používá k měření řízení elektrických veličin (indukce mg. pole, modulace ss proudu proudem střídavým) a mechanických veličin (poloha, otáčky, zrychlení). Na rozdíl od magnetodiody a magnetotranzistoru je citlivost Hallovy sondy několikanásobně menší, ale nezávisí na hodnotě magnetické indukce.

5.3 Prostředky pro přenos a úpravu signálu.

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. 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.

5.3.1 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. Prostředky pro přenos signálu můžeme rozdělit podle použité energie signálu.

a) Mechanický signál

Tento signál je přenášen táhly, bowdeny, řemeny, ozubenými koly, třecími převody, membránami, vlnovci, píсты 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 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 mnohokrát 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 pětkrát vyšší než ve vzduchu).

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).

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 (to rozhoduje o vzdálenosti opakovačů) a jejich mechanickými vlastnostmi (pevností a pružností). Nejčastějším typem světlovodů jsou optická vlákna. Optická vlákna dělíme podle konstrukce na skleněná jednovidová, mnohovidová, gradientní a na plastová.

Jednovidová vlákna (jeden vid = jedna cesta) jsou velmi tenká a používají se pro přenos na velké vzdálenosti (vzdálenost opakovačů až 40 km). Útlum 1 až 5 dB/km.

Mnohovidová vlákna (mohou mít mnoho drah) používají se na malé vzdálenosti, řádově km až desítky km. Útlum až 40 dB/km.

Gradientní vlákna využívají plynulé ohýbání paprsku a jejich vlastnosti jsou mezi jednovidovými a mnohovidovými. Jejich výroba je náročná a tím jejich cena je vysoká. Nejsou téměř používána.

Plastová vlákna mají průměr kolem 1 mm (patří mezi mnohovidová) a jsou využitelná pouze na krátké vzdálenosti (mají velký útlum). Kromě přenosu signálu mohou sloužit pro přenos světelného toku do opticky nepřístupných míst. Plastové spoje patří mezi nejlevnější.

Výhody 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, explozní imunita, snazší a lacinější instalace, malé rozměry a hmotnost, vysoká kvalita přenosu.

Nevýhody optických přenosových vláken:

- vliv radiace: optické vlákno vlivem radiace nevratně tmavne a zvětšuje se jeho útlum,

- vliv vodíku: absorpce vodíku z ovzduší a vlhkosti způsobuje křehnutí a praskání skla,
- nevodivost: nelze přenášet el. napájecí energii,
- vysoká cena: pro malý přenosový výkon a pro krátké vzdálenosti se investice nevyplatí,
- obtížné spojování vláken: drahá svářecí technika, konektory.

Zesilovače, tvarovače a filtry

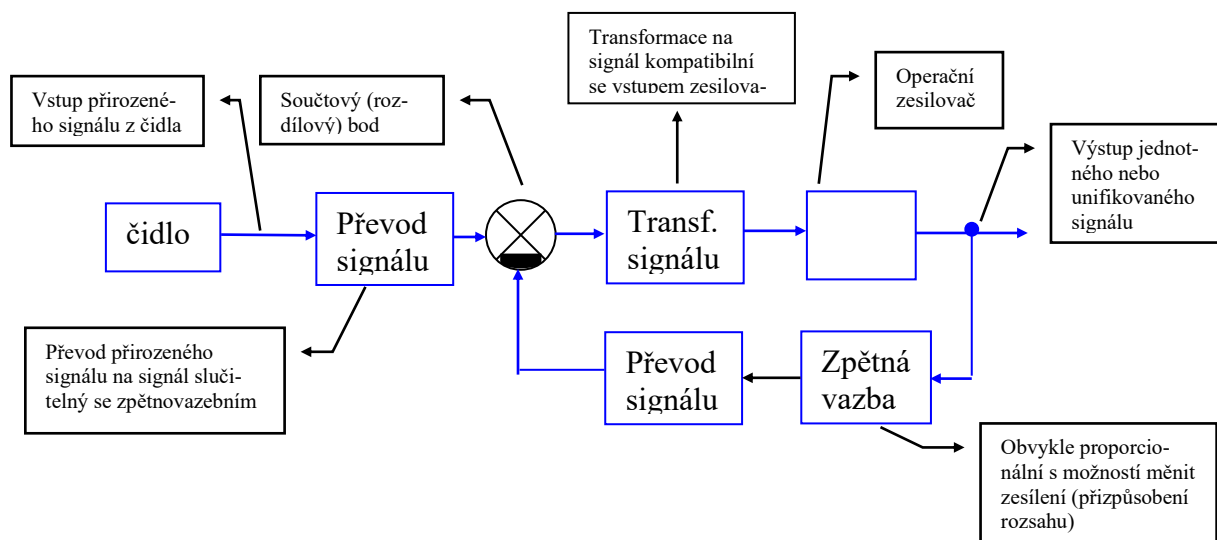
Při přenosu signálu na větší vzdálenosti dochází k útlumu signálu, a proto je třeba obnovit energii, popř. i tvar signálu. Proto se na dlouhá analogová vedení musí zařazovat zesilovače.

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

5.3.2 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.



Obr. 94. Princip převodu na jednotný nebo unifikovaný signál

5.3.3 Analogově-číslicové převodníky

A/Č (angl. A/D) převodníky jsou 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:

- **přímé převodníky** s kvantováním měřené veličiny jejichž výstupem je přímo počet kvant, patří sem převodníky kompenzační a komparační,

- **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.

Pro výhodné vlastnosti se v měřicí technice používají především převodníky s dvojitou integrací, které jsou sice pomalé (umožňují jen jednotky měření za sekundu), ale nevyžadují použití drahých, přesných součástek.

5.3.4 Číslicově-analogové převodníky

Č/A (angl. D/A) převodníky se používají k převodu vstupní číselné hodnoty vyjádřené v binárním kódu na odpovídající výstupní hodnotu spojitého 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. Nejužívanější jsou převodníky s váhovými odpory a s odporovou sítí R-2R.

5.4 Prvky pro zpracování informace

Způsob zpracování signálu závisí na druhu signálu a na druhu energie, která je nositelkou příslušné informace.

5.4.1. 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 a nespojitě (stykač), podle energie na elektrické, pneumatické a hydraulické, podle statických vlastností na lineární a nelineární, podle dynamických vlastností na stejnosměrné, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a širokopásmové, podle vlastností výstupu na symetrické a nesymetrické, podle funkce na zesilovače operační, výkonové a oddělovací a podle konstrukce na 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).

Protože většina signálů, které vystupují ze snímačů se nedá použít k přímé regulaci a signál se musí zesílit, požadavkem je, aby zesílení signálu bylo nezkreslené a mělo co největší účinnost, zesilovače se vyskytují v různých konstrukčních provedeních. Nejčastěji v těchto: elektronické, elektromechanické, hydraulické, pneumatické, magnetické, točivé atd. Zesílení některých zesilovačů je 1:10000 i více.

Pneumatické zesilovače – jsou používány ve výbušném prostředí a existuje celá řada jejich provedení: ventilové, pístové, ladička-tryska zesilovač. Tyto zesilovače obecně zesilují 1:50.

Hydraulické zesilovače – jsou používány v mobilní technice, v hutnictví, energetice, chemickém průmyslu apod. kde se požadují velké síly.

Točivé zesilovače – jsou určeny pro řízení těžkých ss motorů. Mezi ně patří:

- **soustrojí Ward-Leonard:** skládá se z asynchronního motoru, který pohání dynamo konstantní rychlostí otáček, z dynamu se přivádí napětí na stejnosměrný motor a tím provádíme současně regulaci rychlosti motoru, i jeho výkonu. Dynamo má cizí buzení. Zesílení je 10 až 100krát.
- **Rotor:** zesílení se podstatně zvýší díky proudu vedeným sériovým vinutím na statoru, kladným směrem, aby podporoval účinek budícího proudu.

- **Regulex:** je stroj s přibuzovacím derivačním vinutím, tzn. se smíšeným sérioparalelním buzením, které zesiluje přibuzovací signál.
- **Amplidin:** nejrozšířenější dvojstupňový točivý zesilovač. Zesílení 700 až 10 000krát, předností je malá časová konstanta oproti jiným točivým zesilovačům.

Magnetické zesilovače (transduktory – přesytky) – činnost je založena na změně permeability feromagnetu při stejnosměrné magnetizaci. U přesytky dochází každý půlcykl k přesycování uzavřeného železného jádra. Zesilovací účinek spočívá v tom, že indukční odpor tlumivky se mění v závislosti na mg. indukčnosti jádra. Velikost mg. indukce lze předem ovlivňovat předmagnetizací stejnosměrným proudem. Předností je neomezená životnost, malá spotřeba energie a nepatrné nároky na údržbu. Nevýhodou je že při rychlých změnách dochází k určitému zpoždění mezi vstupním a výstupním signálem. Zesílení je zhruba 1 000krát.

Elektronické – jsou nejpoužívanější. Mají dobré vlastnosti, rychlý přenos a používají integrované obvody. Zesílení je zhruba 10 000krát.

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). Celou dynamiku a přenos zesilovače s operačními zesilovači určuje zpětná vazba.

5.4.2. Členy pro logické operace

a) Elektrické prvky pro logické operace

Nejstaršími prvky pro logické operace jsou relé, popřípadě stykače. Slouží k mechanickému propojení elektrické cesty. Stykače jsou určeny pro spínání větších výkonů. Relé dělíme na elektromagnetická, jazýčková polarizovaná a magnetoelektrická.

Napětí, při kterém relé zapíná, je vždy větší než napětí, při kterém relé odpadne a vypne. Poměr obou napětí se nazývá přídržný poměr (bývá kolem 0,8) a zamezuje vypínání zapnutého relé při malém kolísání napětí na cívce. Elektromagnetické relé má značné zesílení, ale je ve srovnání s elektronickými prvky rozměrné, hmotné a jeho kontakty trpí opalováním. Výrobce udává i hodnotu počtu sepnutí relé za 1 hodinu, při kterém má relé zaručenou životnost.

b) Elektronické prvky pro logické operace

V současné době jsou logické úlohy řešeny převážně elektronicky s použitím polovodičové techniky (bipolární/unipolární tranzistory, tyristory, triaky). Jednodušší pracovní logické obvody mohou být realizovány pomocí logických prvků na základě RTL, DTL, TTL nebo pomocí logických integrovaných obvodů. Složitější úlohy, především s proměnným programem, se řeší pomocí programovatelných automatů a PC.

c) Pneumatické prvky pro logické operace

V šedesátých letech proběhl bouřlivý rozvoj tzv. fluidiky. Vznikalo mnoho principů, pomocí kterých bylo možno realizovat i složité logické funkce. Všechny typy nezávisle na materiálu, ze kterého byly vyrobeny, byly necitlivé na elektromagnetické a radiační rušení (využití ve vojenské a letecké technice). Při malých rozměrech však byly citlivé na čistotu napájecího plynu (kapaliny). Fluidické prvky využívají 2 základní principy činnosti: směřování proudu média a přísávání proudu k pevnému povrchu.

V současné době již tato technika má pouze okrajový význam, neboť rozvoj elektroniky umožnil dostatečnou integraci i dostatečnou odolnost obvodů proti rušení. Pneumatické logické prvky se používají jen ve speciálních případech tam, kde se nevyplatí transformovat pneumatický signál na elektrický. Pomocí nich jsou realizovány pouze jednodušší logické funkce.

5.5 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.

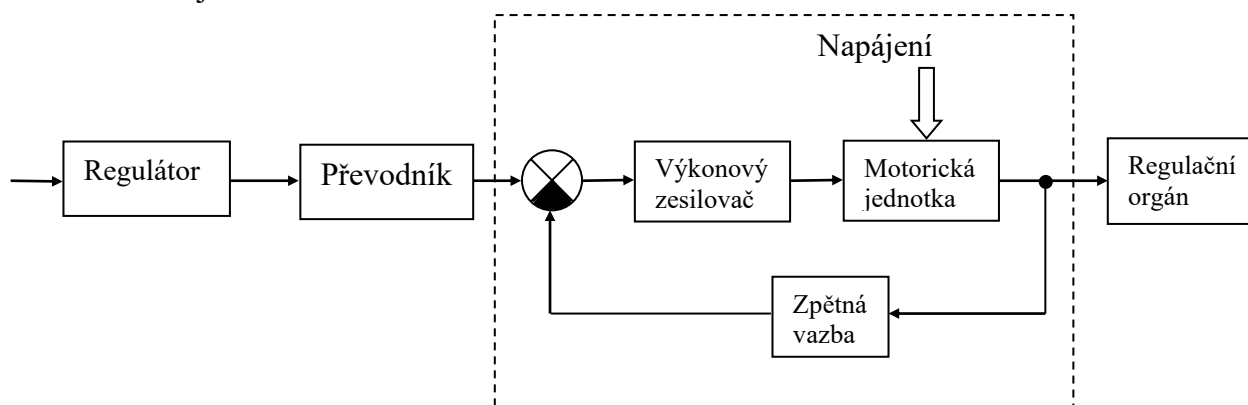
Pohony jsou zařízení, která převádějí signály z členů pro zpracování informace na výchylku konající požadovanou práci s požadovaným výkonem.

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

5.5.1 Pohony

Pohony můžeme 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.

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



Obr. 95. Blokové schéma pohonu

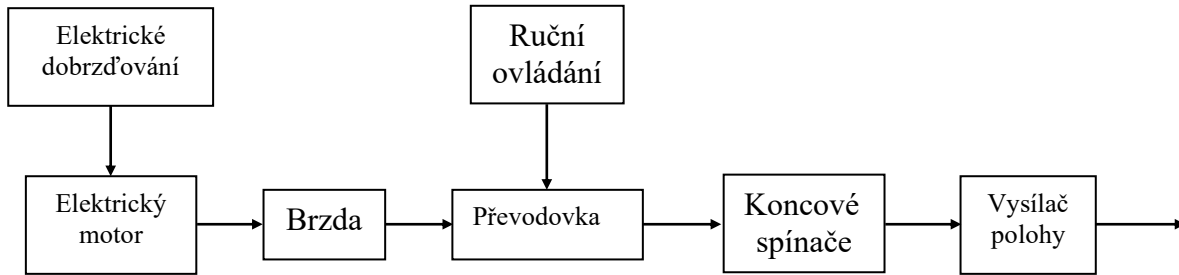
Pro řízení procesů jsou na pohony kladeny tyto požadavky:

- přímočarý pohyb pro ovládání polohy regulačních ventilů a šoupátek v rozsahu 10^0 až 10^2 mm při silách 10^2 N až 10^2 MN,
- úhlové vychýlení mechanismu pro ovládání škrťacích klapek, žaluzií, kohoutů atd.,
- otáčivý pohyb (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 (spojité měření polohy výstupního mechanismu pro ruční ovládání nebo pro vytvoření zpětné vazby),
- koncové spínače (polohové nebo momentové) u elektrických pohonů,
- převodovka může být v provedení samosvorném (s vysokým převodovým poměrem nebo konstrukčně uspořádaná tak že není možný zpětný přenos pohybu – šneková), nebo nesamosvorném (lze ji zpětně rozpohybovat – ozubená kola s menším převodem),
- brzda motoru může být doplněna o momentovou spojku s prokluzem při nastaveném maximálním kroutícím momentu.

5.5.1.1 Elektrické pohony



Obr. 96. Základní části elektrického pohonu

Elektrické motory

Základní vlastnost elektrického motoru, která rozhoduje o jeho použití je určena jeho mechanickou charakteristikou – závislost zatěžovacího momentu na otáčkách. Dále rozhoduje, zda má konstantní nebo proměnné otáčky a způsob a rozsah jejich ovládání. Z hlediska praktického nasazení pohonu nás pak zajímá 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 s dynamem, tzn. že musí mít 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.

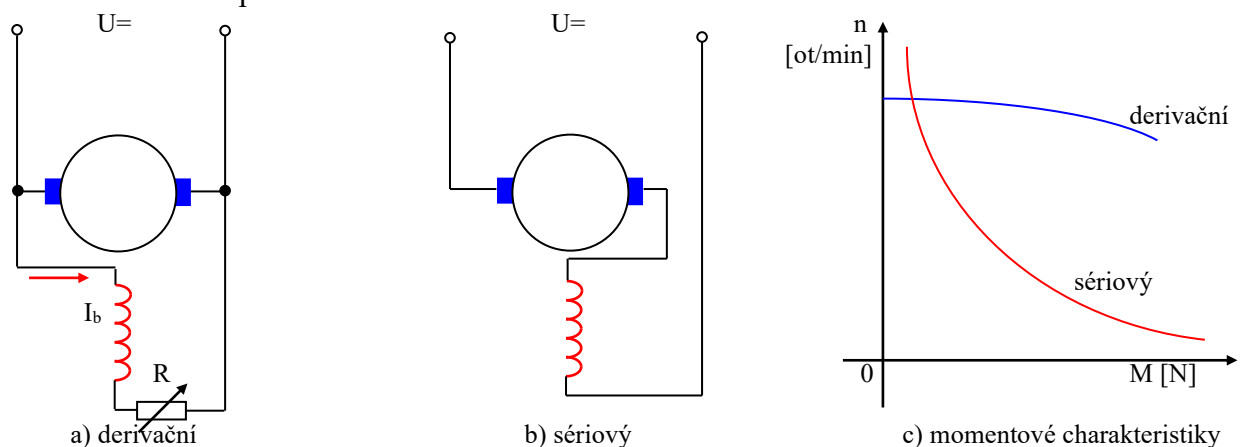
Derivační motor – budící vinutí je zapojeno paralelně k rotoru,

- otáčky můžeme měnit změnou budícího proudu,
- nastavené otáčky se mění se zatížením jen málo a lze využít rekuperaci,

Sériový motor – budící vinutí je zapojeno do série s vinutím rotoru,

- se zatížením klesají otáčky a vzrůstá hnací moment (výhodné pro startér automobilu, trakční pohony tramvají, lokomotiv atd.), při odlehčení rotoru nebezpečně narůstají otáčky,

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 brzdít rekuperací.



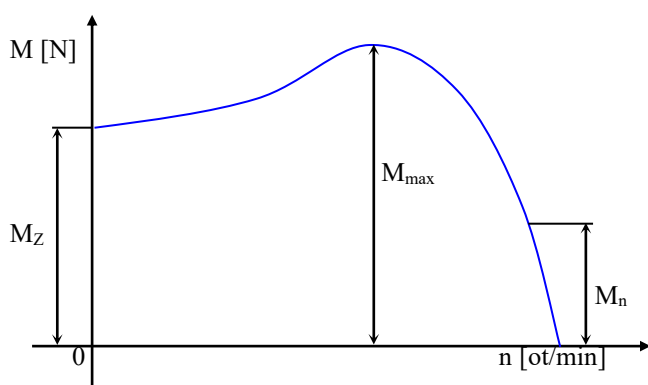
Obr. 97. Stejnosměrné motory a jejich charakteristiky

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 sériové zapojení. Liší se pouze tím, že mají magnetické obvody rotoru i statoru skládané z plechů. 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 výboje odrušit (odrušovací kondenzátory).

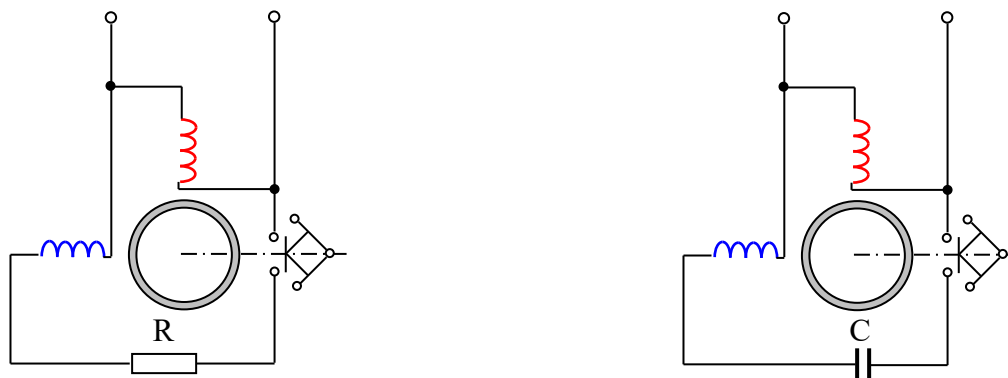
Asynchronní třífázové motory – tři fáze napětí a proudu přivedené do tří statorových vinutí motoru vytvoří kruhové točivé pole, jehož směr je určen sledem jednotlivých fází. Přehození dvou fází způsobí změnu smyslu otáčení točivého pole a tím i hřídele motoru.



Obr. 98. Momentová charakteristika asynchronního motoru

Rotor motoru nemá žádné vinutí, ale pouze vodivě propojenou klec – rotor nakrátko. Regulaci otáček můžeme provést stupňovitě, je-li motor vybaven přepínatelnými póly, nebo změnou frekvence pomocí frekvenčního měniče.

Jednofázové 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 vřazením odporu nebo kapacity do série s pomocnou fází. Zjednodušenou konstrukcí dostaneme jednofázový asynchronní motor s hlavní a pomocným vinutím. Tyto motory jsou jednoduché, nenáročné a nevyžadují třífázový rozvod.



Obr. 99. Střídavé jednofázové motory

Motorek 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 motorka se stíněným polem používá jen na nejmenší výkony (desítky wattů) – 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. Základní vlastností těchto motorů je pevně daná poloha při práci i v klidu.

Krokové motory s pasivním rotorem – jako u všech krokových motorů je vinutí pouze na statorové části motoru. Rotor je v případě pasivního rotoru tvořen svazkem plechů nalisovaných na hřídel. Plechy mají tvar, který tvoří pólové nástavce. Motory s pasivním rotorem mohou být tří a vícefázové. Prakticky se používá čtyř nebo pěti fází.

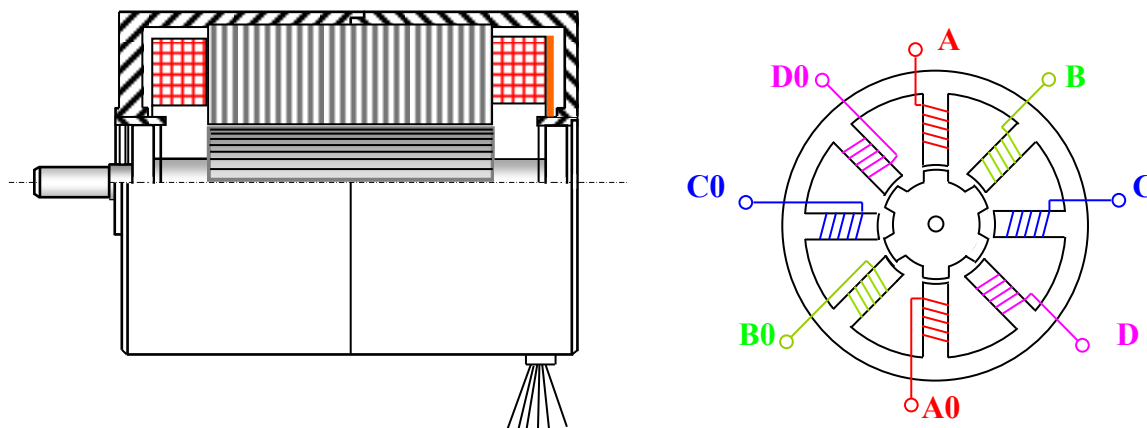
Krokové motory s aktivním rotorem – jejich rotor obsahuje magneticky aktivní část – permanentní magnet. Podle uspořádání pólů magnetu rozlišujeme:

- **motory s radiálně polarizovaným magnetem** – obvykle čtyř a vícepólovým, někdy označovány jako PM,
- **motory s axiálně polarizovaným permanentním magnetem** – vždy dvojpólový magnet, jsou nejvíce rozšířené, obsahují prvky konstrukce motorů jak s pasivním, tak s aktivním rotorem, jsou obvykle označovány jako **hybridní**.

Vlastnosti krokových motorů

U krokových motorů s pasivním rotorem je typická relativně malá velikost kroku (většinou 1 až 5°, výjimečně 15 až 22,5°). Provozní momenty od jednotek mNm 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 permanentním magnetem mají složitější magnetický obvod a jsou tudíž dražší. Mají širší pásmo provozních kmitočtů. Motory s radiálně polarizovaným magnetem mají



Obr. 100. Konstrukce krokového motoru s pasivním rotorem

velikost kroku větší než 15°, obvykle 30°, 45° i 60°. Motory s axiálně polarizovaným magnetem jsou v současné době nejrozšířenějším druhem krokových motorů. Konstruuji se s velikostí kroku od 0,36 do 5°, nejčastěji 0,9° a 1,8°. 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. U motorů s odvalujícím se rotorem se dosahuje nejlepších hodnot ukazatele – poměr provozního momentu k objemu motoru – 2krát větší než u motorů s axiálně polarizovaným permanentním magnetem. Jsou vhodné pro realizaci velmi malých kroků (zlomky stupně). Mají vyšší provozní kmitočet (10¹ kHz) a velkou přesnost krokování při příznivých dynamických vlastnostech.

Ovladače krokových motorů

Časové posloupnosti přepínání fází krokových motorů je nutno realizovat s kmitočtem řádu 10^0 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. Typická sekvence ovládání pro nejčastější typ krokového motoru, kterým je 4fázový unipolární krokový motor, je daná postupným zapnutím jeho cívek (A, B, C, D atd.) se označuje jako 4taktní řízení. Pokud se mezi samotné jednotlivé cívky vloží další takt, kdy se zapnou 2 sousední cívky (A, A+B, B, B+C, C, C+D, D, D+A atd.) vzniká 8taktní řízení. Pokud se ještě řídí velikost proudu cívek (např. v 8 stupních) je možné postupně vytvářet řadu 8 mezikroků a dosáhnout jemnější krokování a plynulý běh (tzv. vektorové řízení).

Ovladač krokového motoru 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.

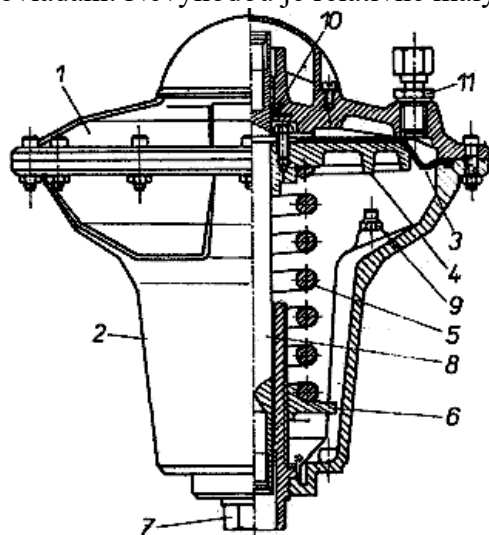
5.5.1.2 Pneumatické pohony

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 dvojitě** a podle dráhy výstupního prvku na **posuvné, kyvné a rotační** a podle signálu na **spojité** (proporcionální) a **nespojité**.

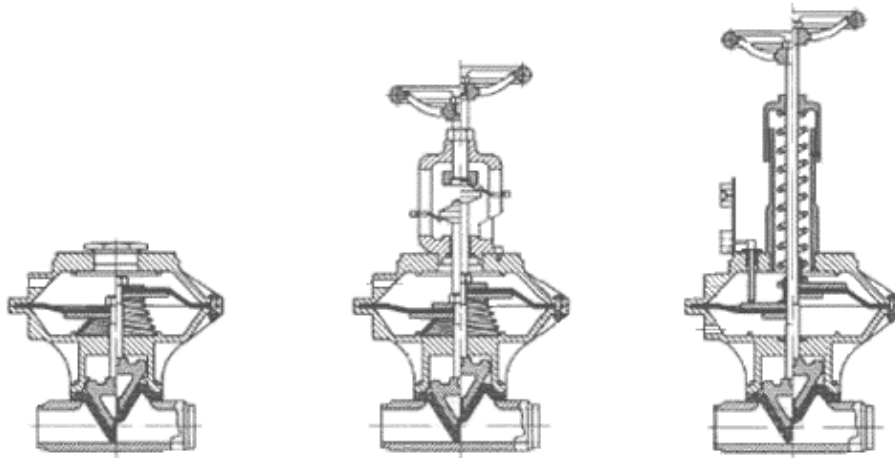
a) Membránové pohony

Můžeme je rozdělit na pohony pro proporcionální činnost a pohony pro nespojitou činnost (dvoupolohové). Membránové pohony pro proporcionální činnost se používají především v oblasti spojité regulace pro pohon regulačních orgánů. Vyrábí se ve velkých sériích a ve stavebnicovém uspořádání. Jejich výhodou je dokonalá těsnost, dosažení potřebné síly (tlak \times plocha membrány), volba klidové polohy (stav bez tlaku) – otevření nebo zavření ventilu a možnost ručního ovládání. Nevýhodou je relativně malý zdvih.



- 1 – víko pohonu
- 2 – těleso pohonu
- 3 - membrána
- 4 - kotouč
- 5 - pružina
- 6 - podpěra pružiny
- 7 - šroub pro nastavení předpětí pružiny
- 8 - táhlo
- 9 - doraz membrány
- 10 - těsnící kroužek
- 11 - šroubení pro vstupní signál

Obr. 101. Řez membránovým pohonem



Obr. 102. Typy ovládání membránových pohonů



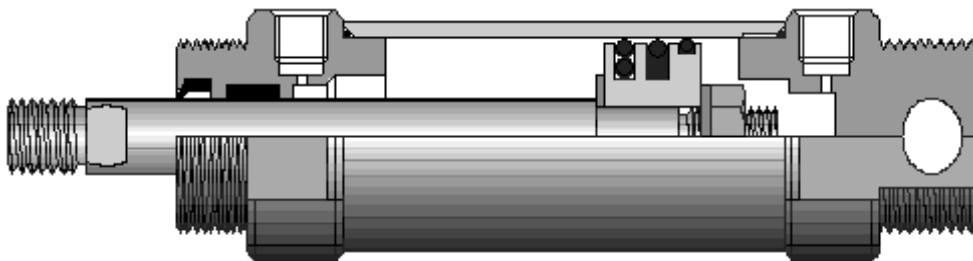
Obr. 103. Vzhled membránových pohonů

b) Pístové pohony

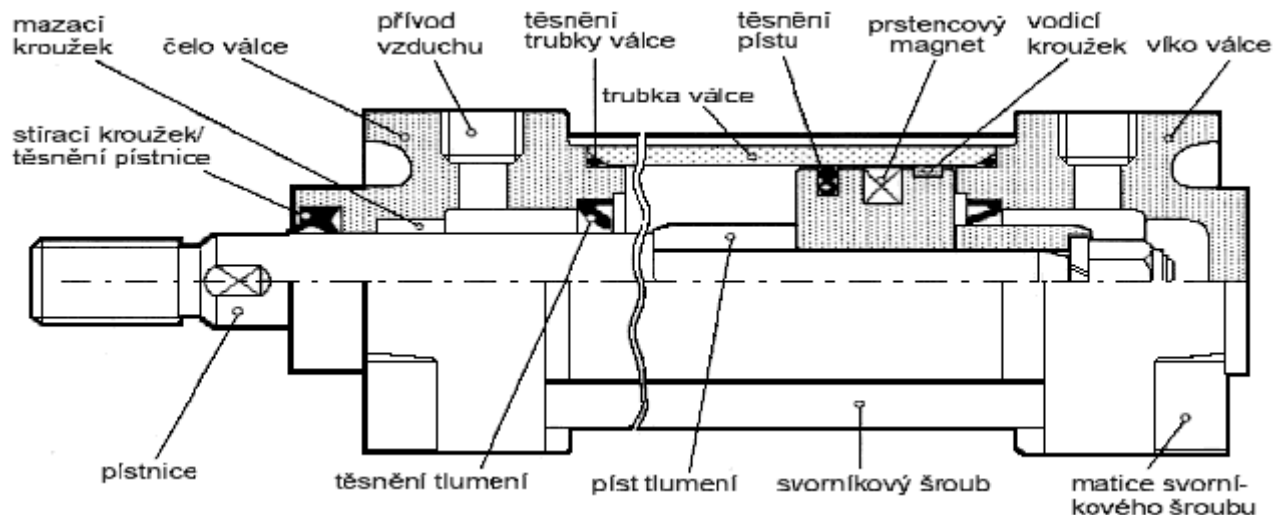
Předností pneumatických pístových pohonů je jejich možný velký zdvih (řádově až metry), robustnost a spolehlivost konstrukce, značné síly (desítky kN) nebo momenty (stovky Nm), malý zastavěný prostor a relativně nízká cena. Jejich nevýhodou je značné tření při pohybu, a možná netěsnost. Životnost pneumatických 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.



Obr. 104. Pístový pohon



Obr. 105. Řez pístovým pohonem

V ovládací technice se s výhodou používají motory s kyvným pohybem, pohony s odvalovací membránou, vlnovcové pohony a další speciální pohony.

Obr. 106. Další typy pneumatických pohonů

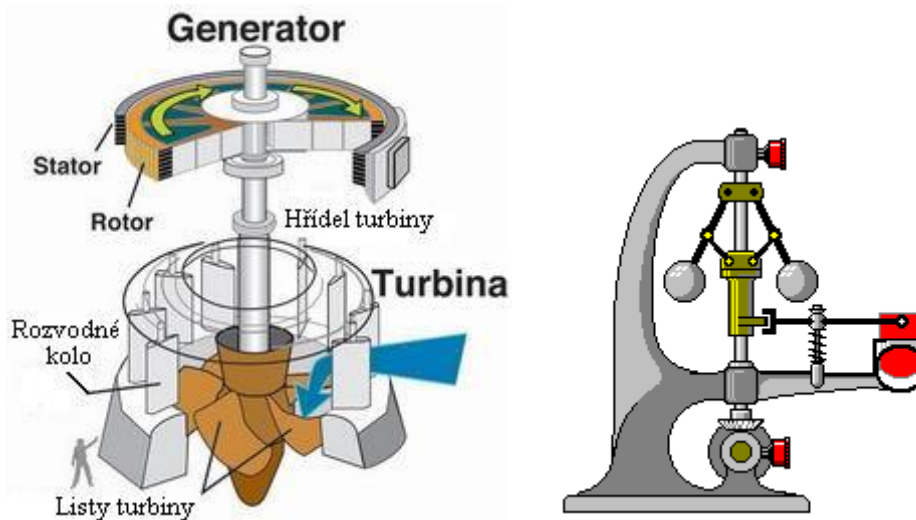
5.5.1.3 Hydraulické pohony

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 vozidla, lodě, letadla atd. Pracují obvykle s elektronickým zařízením. Principem se hydraulické pohony celkem neliší od dvojčinných pneumatických 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 velké délce vznikají, díky nestlačitelnosti a setrvačným silám, velké tlakové rázy.

5.5.2 Regulační orgány

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

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



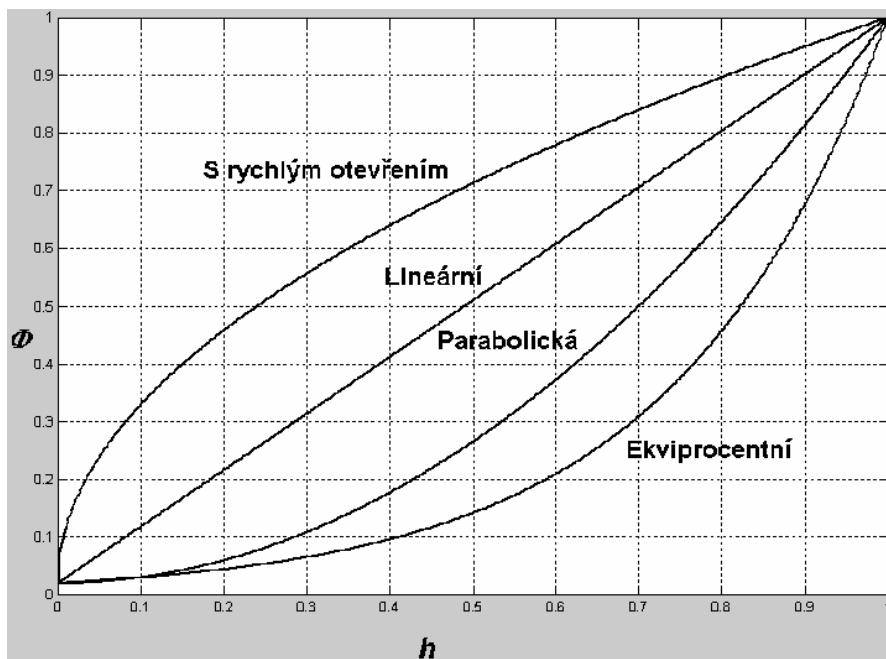
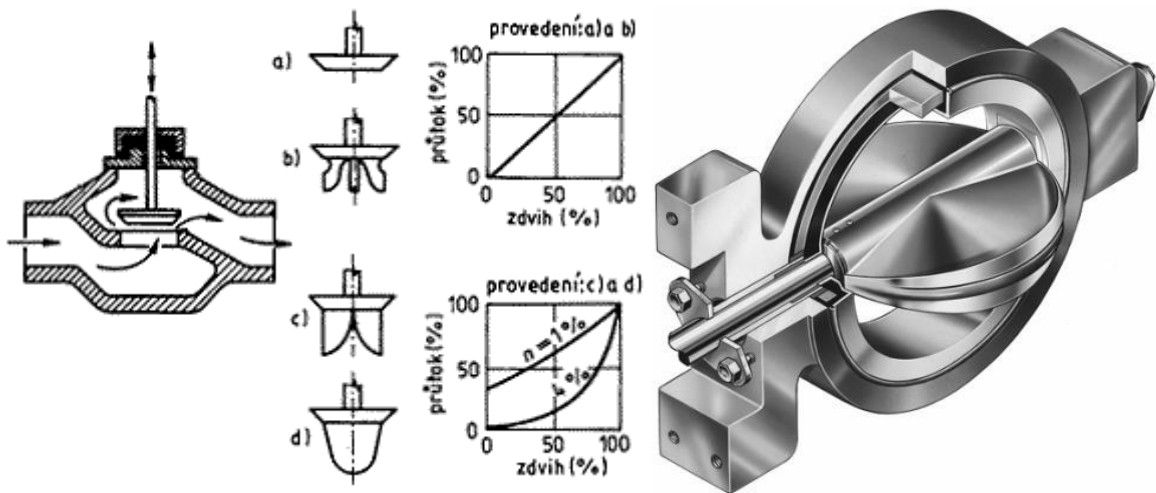
Obr. 107. Příklad speciálních regulačních orgánů

Regulační orgány **pro všeobecné použití** jsou určeny pro ovládání průtoků plynů, par a kapalin. Podle konstrukce je můžeme rozdělit na ventily (mají značné ztráty, ale jsou vhodné pro regulaci), kohouty (mají vysokou těsnost – slouží jen k uzavírání potrubí), šoupátka (mají malou ztrátu tlaku, ale jsou nevhodné pro regulaci), klapky (mají jednoduchou konstrukci, dělí se na jednoduché, dvojité souběžné a dvojité protiběžné) a žaluzie (více jak 2 protiběžné klapky). Každý regulační orgán musí být dimenzován na jmenovitý pracovní tlak p_n , jmenovitou světlost d_n a tlakový spád. Současně musí vyhovovat i svou tepelnou a korozivní odolností případně dalšími parametry protékajícímu médiu.

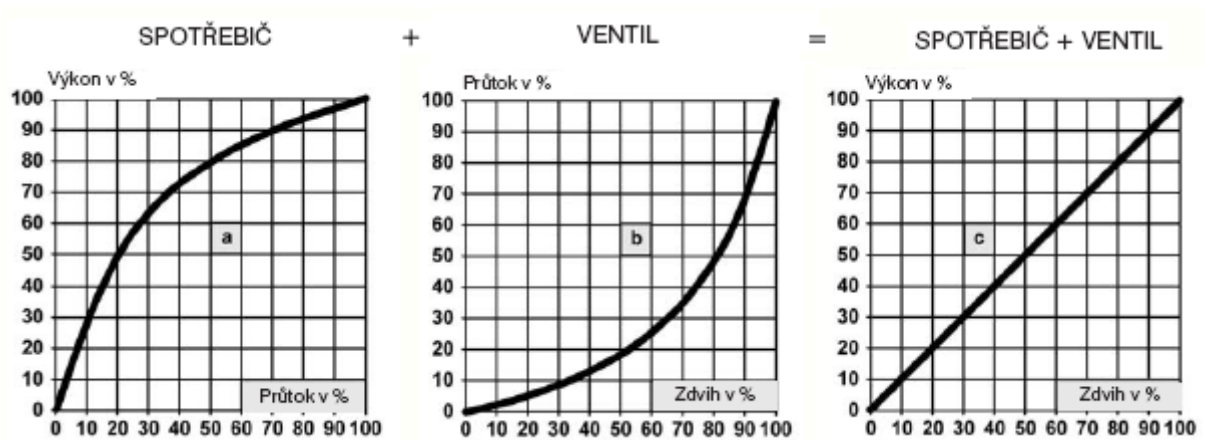
Ventily se také rozlišují podle typu statické charakteristiky, která je dána konstrukcí. Vyrábí se ventily s **rychlootvácí, lineární, kvadratická, parabolická a rovnoprocentní** (ekviprocentní) charakteristikou, které jsou uvedeny na obr. 107. Provedení ventilů se přizpůsobuje vlastnostem ovládaného média, takže vyráběný sortiment je široký a obsahuje mnoho speciálních konstrukcí pro použití k ovládání a regulaci rozličných látek (např. párou vyhřívané ventily pro ovládání toku horkého asfaltu atd.). Tvar charakteristiky ventilu je dán konstrukcí kuželky, která uzavírá průtok média. Typicky rozlišujeme kuželku **talířovou, válcovou, kónickou a jehlovou**. Dále jsou to kuželky **jednoduché**, které jsou namáhané tlakem média a **dvojité**, u kterých jsou síly vyvozené tlakem média vykompenzované. Talířová kuželka vytváří rychlootvácí charakteristiku. Kuželka válcová vytváří lineární charakteristiku. Kuželka kónická vytváří ekviprocentní charakteristiku. Kuželka jehlová vytváří charakteristiku parabolickou.

Charakteristika ventilu se volí taková, aby celková charakteristika ovládaného obvodu byla lineární jako na obr. 109. Jen tak je obvod dobře regulovatelný. Charakteristiku ventilu ovlivňuje dynamické chování celého obvodu – mluví se o tzv. autoritě ventilu. Ideální autorita ventilu = 1 tj. veškerý tlakový spád v obvodě je řízen ventilem. Tento případ však nikdy nenastane. Se zmenšující se autoritou se charakteristika ventilu mění blíže k rychlootvácí se silnou nelinearitou.

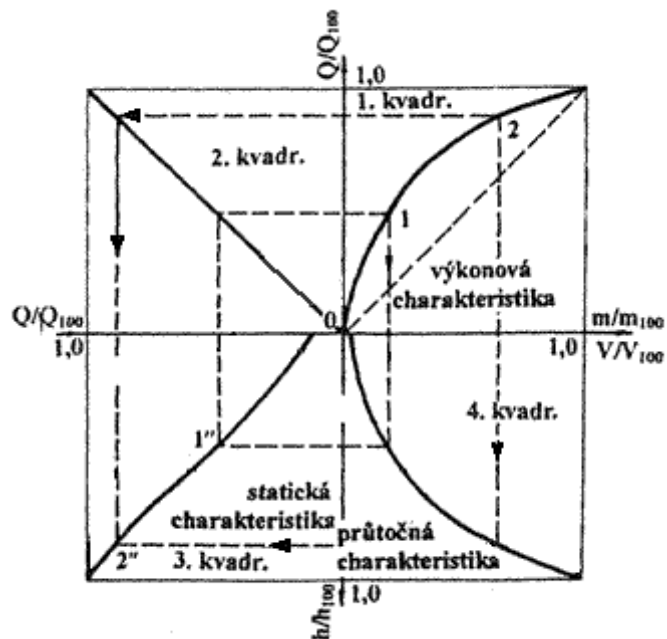
Celkovou charakteristiku lze určit grafickou metodou, kdy do souřadnicového systému se zakreslí charakteristika spotřebiče (do 1. kvadrantu), charakteristika ventilu (do 4. kvadrantu) a diagonála (do 2. kvadrantu) – viz obr. 110. Postupným vynášením bodů z charakteristiky spotřebiče se přes diagonálu a přes charakteristiku ventilu sestrojí výsledná charakteristika (ve 3. kvadrantu). Podmínkou je přepočítání charakteristik do procentuální stupnice $0 \div 100$ %.



Obr. 108. Konstrukce a charakteristiky regulačních orgánů



Obr. 109. Celková charakteristika spotřebiče a ventilu



Obr. 110. Grafická metoda určení celkové charakteristiky

Název:	Automatizace 1
Autor:	Ing. J. Madaj
Nakladatel:	SPŠ a VOŠ Chomutov
Rok vydání:	2026
Počet stran:	109
Podpis předsedy předmětové komise:	Ing. P. Kadeřábek
Podpis zástupce ředitele:	Ing. D. Žižková
Podpis ředitele:	Ing. J. Lacina