

Automatizace 2

Ing. Jiří Vlček

Soubory At1 až At4 budou od příštího vydání (podzim 2008) součástí publikace Moderní elektronika. Slouží pro výuku předmětu automatizace na SPŠE.

3. Pneumatické řízení

Technická disciplína s názvem **pneumatika** je technika používání **stlačeného vzduchu**. Většinou je využíváno **přetlaku**, někdy též podtlaku. Pneumatické řízení se skládá z řídicí jednotky a výkonové jednotky.

Oblasti použití stlačeného vzduchu:

- točivé pohony (pneumatické motory) pro šroubování, vrtání a broušení,
- lineární pohony (tlakové válce) pro přísun, upnutí, přesun a odsunutí předmětu,
- vibrační pohony např. pneumatických kladiv a sbíječek pro vysekávání, rozbíjení, udusávání zeminy, lisování a nýtování,
- tryskové vyfukování např. člunku v textilních strojích nebo pilin při čištění obrobků,
- povrchová úprava výrobků pískováním a stříkáním barev,
- pneumatické měřicí a zkušební přístroje pro měření délky,
- doprava sypkých materiálů např. potrubím.

Vlastnosti pneumatických pohonů

Nejdůležitějšími vlastnostmi stlačeného vzduchu a pneumatických mechanismů jsou:

- Stlačený vzduch lze **dopravovat vedením a uchovávat v zásobnících**.
- Pojízdne kompresory jsou mobilními zdroji energie stlačeného vzduchu.
- Stlačený vzduch není citlivý na kolísání teploty a může být bez nebezpečí používán v prostorách se zvýšeným požárním nebezpečím a s nebezpečím výbuchu.
- Rychlost pístů v pneumatických válcích dosahuje až 3 m/s.
- Pneumatické motory dosahují otáček až 30 000 min⁻¹ a malé turbíny až 450 000 min⁻¹.
- Náradí i přípravky, např. pneumatické upínače mohou být stále zatíženy, jsou odolné proti přetížení (nezničí se při zablokování pohybu) a mají velkou počáteční sílu nebo moment síly.
- Pneumatické pohony mají vzhledem k výkonu **malou hmotnost, jsou robustní a lehce opravitelné**.

V řídicí jednotce jsou přijímány a zpracovány řídicí signály. Ve **výkonové jednotce jsou zesílenými řídicími signály nastavovány nastavovací členy** (válce, motor), které pohybují částmi pracovních strojů. Možnosti používání stlačeného vzduchu k řízení jsou vzhledem k potřebné přesnosti omezeny stlačitelností vzduchu a omezením použitelného tlaku.

Pneumatické pohony mají tyto **nevýhody**:

- Kompresory a vypouštěcí ventily stlačeného vzduchu jsou velmi **hlučné**.
- Velké **ztráty netěsnostmi** prodražují náklady.
- **Olejová mlha** ve vypouštěném vzduchu zatěžuje okolí pracoviště.
- Nelze dosáhnout velkých sil na pístech pneumatických válců (ve srovnání s hydraulickými válci), protože je možné používat tlak do 10 barů (1 Mpa).
- Dynamika pohybu pohonů je velmi závislá na zatížení.
- Není možné dosáhnout rovnoměrného pomalého přímého nebo rotačního pohybu poháněného mechanismu.

Konstrukce pneumatického zařízení

Pneumatické zařízení zahrnuje **výrobu a úpravu stlačeného vzduchu, rozvod stlačeného vzduchu, pneumatické pohony a pneumatické ovladače**.

3. 1 Výroba stlačeného vzduchu - kompresory

Kompresory **stlačují** nasávaný atmosférický **vzduch** na požadovaný tlak. **Sací filtr** oddělí prach a jiná pevná tělesa z nasávaného vzduchu. Podle způsobu stlačování vzduchu rozlišujeme objemový (statický) princip a proudový (dynamický) princip.

Objemový kompresor zmenšuje objem daného množství vzduchu a tím zvětšuje jeho tlak. Objem je zmenšován v tvarově proměnném prostoru.

Pístové kompresory jsou pro tlaky do 10 bar **jednostupňové** a používají se pro výkony do 100 m³/h nasávaného vzduchu.

Objemový výkon kompresoru je udáván vždy pro objem nasávaného vzduchu za běžného atmosférického tlaku.

Pro výrobu stlačeného vzduchu s tlakem 7 až 10 bar se většinou používají **dvoustupňové** pístové kompresory s **chlazením** mezi prvními a druhým stupněm komprese. Vzduch je přitom **po prvním stupni stlačení ochlazován** pokud možno na okolní teplotu atmosférického vzduchu a pak je **stlačován ve druhém stupni** kompresoru. Objem vzduchu se zmenšuje pohybem pístu ve válci.

Membránové kompresory stlačují vzduch pohybem pružné membrány a na rozdíl od pístových kompresorů **nemusí být mazány**, proto mohou být používány v potravinářském průmyslu. Dosahují tlaku do 10 bar, dodávají stlačený vzduch bez olejové mlhy a jsou nenáročné na údržbu.

Kompresory s **rotačními písty** pracují tiše a pro tlak nad 7 barů jsou konstruovány jako dvoustupňové s chladicím mezistupněm. Při vstřikování oleje, který zlepšuje těsnost, je možné s jednostupňovým komorovým rotačním kompresorem nebo šroubovým kompresorem dosáhnout tlaku přes 10 bar. Olej slouží kromě utěsnění i k mazání a chlazení kompresoru.

Rotační komorové a šroubové kompresory pracují většinou trvale a pokrývají základní potřebu stlačeného vzduchu. Při špičkovém krátkodobém odběru je doplňkově zapínán ještě pístový kompresor.

Šroubové kompresory se skládají ze dvou do sebe zapadajících šroubových válců. Šrouby do sebe zapadají a přitom posunutí vzduch podél stěn skříňe, ke kterým těsně přiléhají, od sacího přívodu k výfuku.

Vícekomorové rotační kompresory nasávají vzduch přes **filtr** a **zpětnou uzavírací klapku**. Během stlačování je do vzduchu vstřikován olej pro mazání, těsnění a chlazení kompresoru. Stlačený vzduch se shromažďuje v zásobníku, který je společný i pro olej. Před vyvedením vzduchu do rozvodů je vzduch v olejovém filtru zbaven oleje a pak veden přes přetlakový zpětný ventil. Mezi zásobníkem a rozprašovací tryskou prochází olej chladičem a čistícím filtrem.

Proudové nebo též turbínové kompresory nasávají pomocí lopatkového kola nebo vrtule atmosférický vzduch, který uvádějí do rychlého pohybu. Pohybová energie pohybujícího se vzduchu se pak mění v potenciální energii stlačeného vzduchu v tlakovém zásobníku.

Regulace kompresorů.

U malých kompresorů je běžná **dvoupolohová regulace přerušující provoz** kompresoru. Při dosažení maximálního přípustného tlaku v zásobníku je např. vypnut elektromotor pohánějící kompresor. Při poklesu tlaku (o 0,2 až 0,4 bar) pod dolní provozní tlak je kompresor uveden opět do činnosti. Pro hospodárny provoz by nemělo být přerušování příliš časté, např. u elektromotoru méně než 20krát za minutu.

Větší kompresory běží kvůli velkým setrvačným hmotám **nepřetržitě** a střídají provoz naprázdno, při kterém nedoplňují při dostatečném tlaku zásobník. Při provozu naprázdno může být sací ventil uzavřen nebo vypouštěcí ventil otevřen do ovzduší. Při zpožděné dvoupolohové regulaci může být po nastavené době běhu naprázdno kompresor zastaven.

Využití ztrátového tepla.

Protože při stlačování získává vzduch kromě potenciální tlakové energie i energii tepelnou (adiabatická reakce), je třeba toto teplo odvádět pomocí chladicích mezistupňů i pomocí chladiče stlačeného vzduchu. Přes 90 % této energie bývá využito jako **teplo při vytápění**.

Kondenzační voda v chladiči překročí většinou relativní vlhkost vzduchu 100 %, tj. dostane se v diagramu absolutní vlhkosti nad křivku nasycení. (Při větším tlaku a stejné teplotě se pára mění ve vodu, při vyšším tlaku roste bod varu kapaliny – viz Papénův hrnec). **Voda** kondenzující na chladných stěnách chladiče **musí být odvedena**. Vlhkost obsažená ve stlačeném vzduchu představuje pro pneumatické pohony velkého **nebezpečí koroze**.

3. 2 Zásobník stlačeného vzduchu

- Zásobník uchovává zásobu stlačeného vzduchu, která zaručuje **plynulou dodávku i při kolísavém či nárazovém odběru**.
- Vyzařováním tepla pláštěm zásobníku se stlačený vzduch **ochlazuje**.
- Teplota klesne pod rosný bod, tj. nasycení vodní parou překročí 100 % relativní vlhkosti a **kondenzační voda** steče po chladných stěnách na dno zásobníku, odkud je odváděna.

Velikost (objem) zásobníku je volen podle průměrné spotřeby a režimu (rovnoměrnosti) odběru stlačeného vzduchu. Objem by však měl být v každém případě větší než 10 % minutové dodávky kompresoru.

Zásobník stlačeného vzduchu je opatřen **přetlakovým** bezpečnostním **ventilem**.

Vysoušeč stlačeného vzduchu (dle ČSN ISO 1219-1: sušička vzduchu), v tlakovém zásobníku i v rozvodech je stlačený vzduch nasycen vodou na 100 % (relativní vlhkosti) a voda kondenzující při každém poklesu teploty vymývá mazivo z mechanismů pneumatických pohonů, což vede k většímu tření a opotřeбенí, a způsobuje korozi. Nové pneumatické systémy jsou proto vybavovány sušičkami vzduchu.

Vysoušeče jsou založeny na podchlazení vzduchu, absorpci (pohlčení) vody a adsorpci (zachycení na povrchu) oleje.

3. 3 Rozvod stlačeného vzduchu

Stlačený vzduch je rozváděn od kompresorové stanice na místa spotřeby sítí **trubek a tlakových hadic**. Používají se především trubky ocelové bezešvé, měděná a PVC. Hlavní rozvod je zpravidla kruhový. **Ztráty tlaku** v rozvodech (trubkách, obloucích a armaturách) by neměly při provozním tlaku 8 barů přesáhnout 0,1 baru.

Vnitřní **průměr trubek** hlavního rozvodu stlačeného vzduchu závisí na **procházejícím minutovém objemu, odporu proudění v rozvodech, délce vedení, provozním tlaku a přípustném poklesu tlaku**. Je možné jej určit z nomogramů v odborné literatuře.

Odpor jednotlivých armatur se zohledňuje **převodem na přímé vedení s ekvivalentním aerodynamickým odporem**.

Hlavní (kruhový) rozvod stlačeného vzduchu by měl mít ve směru proudění vzduchu **spád** alespoň 1 % a v nejnižším místě pak **výpustný ventil** na vypouštění shromážděné **kondenzační vody**.

Kvůli stékající kondenzační vodě musí být odbočky připojeny k trubce hlavního rozvodu na její horní straně.

Netěsnosti v rozvodu stlačeného vzduchu způsobují velké **ztráty energie**. Rozvodná síť stlačeného vzduchu musí být proto pravidelně kontrolována a netěsnosti musí být odstraňovány.

Úpravy stlačeného vzduchu

Drobné částičky zkorodovaného povrchu kovových trubek a armatur, unášené proudem stlačeného vzduchu, mohou narušit funkci pneumatických motorů i řídicích a regulačních jednotek. Proto musí být zachycovány **filtry**. Tlak vzduchu musí být udržován (regulován) v požadovaných mezích a při potřebě **mazání poháněných jednotek** musí být stlačený vzduch sycen **olejovou mlhou**.

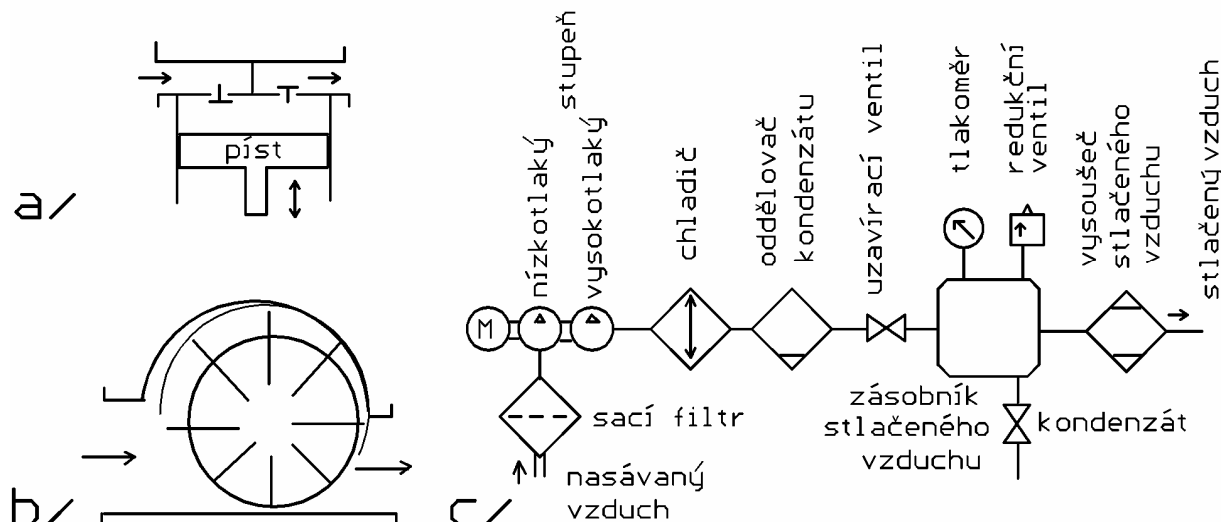
Jednotka úpravy stlačeného vzduchu většinou obsahuje **vzduchový filtr, regulační tlakový ventil a olejovač** (rozprašovač oleje).

Do válcového vzduchového filtru vstupuje stlačený vzduch bočním vstupním otvorem a **víří v jeho vnitřním prostoru**. **Větší nečistoty**, jako částičky rzi nebo kapičky vody a oleje jsou při víření vzduchu vrženy a mohou být **vypouštěny výpustným ventilem** ve dně nádoby filtru. **Jemnější nečistoty** ulpí (v závislosti na jemnosti otvorů) na stěnách **válcové filtrační vložky** tvořené

bronzovým, mosazným nebo ocelovým **sítem**, nebo při větších nárocích na jemnost filtru spěkaným kovovým, plastovým nebo keramickým materiálem.

Úlohou **regulačního tlakového ventilu** je **udržování** provozního **tlaku** v rozvodech v požadovaných mezích. Regulace se uskutečňuje pomocí **dvoupístového** (dvoutalířového) **ventilu**. Na větší píst působí provozní tlak vzduchu a proti němu stavitelná pružina z druhé stany pístu. Poklesne-li provozní tlak pod nastavenou hodnotu, stlačí pružina níže větší a tím i menší píst, který otevře více otvorů pro vzduch s vyšším neregulovaným tlakem. Dosáhne-li provozní tlak nastavené hodnoty, přepouštěcí otvor se opět uzavře. Jednotka úpravy vzduchu má na vstupu ruční uzavírací otočný ventil, kterým může být přívod vzduchu uzavřen. Jednotka je dále vybavena **ručním odvzdušňovacím ventilem**, který je možné při výpadku energie pomalu odvzdušnit (snížit tlak) pneumatický systém a zabránit případnému prudkému snížení tlaku v systému.

Olejovač, nebo též rozprašovač oleje, sytí stlačený vzduch mazivem. Rozprašovač využívá principu Venturiho trubice, v jejímž **zúženém místě proudí vzduch rychleji**, má menší statický a větší dynamický tlak (podle Bernoulliho rovnice). Menší statický tlak na stěny je relativní **podtlak**, který **nasává z boční trysky olej**, který se pak rozprašuje (jako benzín v karburátoru). Kuželovou **škrticí jehlou** lze pomocí šroubu (pod krytkou) **nastavit průtok** oleje trubičkou trysky.



Obrázek 3.0

a/ pístový kompresor b/ vícekomorový rotační kompresor c/ výroba stlačeného vzduchu

3. 4 Pneumatické pohony

Pneumatické pohony **mění energii stlačeného vzduchu v mechanickou energii**. Rozlišují se nepřetržitě pracující pohony s **točivým** pohybem (pneumatické motory) a kmitavé pohony s vymezeným pracovním pohybem **kyvným** (vahadlový motor) nebo **přímým** (pneumatické válce).

Pneumatické motory jsou pro **malou hmotnost** vzhledem k výkonu a **snadnou obsluhu** používány jako pohony pro různé druhy nářadí a zdvihací mechanismy.

U pneumatických motorů je možné **snižováním** provozního **tlaku** a snižováním minutového **objemu** stlačeného vzduchu stupňovitě **přestavovat výkon, otáčky a točivý moment**.

Pneumatické motory mají velký rozběhový moment, jsou přetížitelné, bezpečné v prostředí s nebezpečím exploze, robustní a nenáročné na údržbu a opravy. Směr otáčení lze rychle a jednoduše měnit. Otáčky jsou však velmi závislé na zatížení motoru. Nejčastěji používané pneumatické motory jsou **pístové** motory, **lamelové** motory a **turbínové** motory.

Pneumatický válec mění energii stlačeného vzduchu na posuvný pohyb a dělí se na **jednočinné** válce s **pohonem v jednom směru** a **dvočinné** válce s pneumatickým **pohonem v obou směrech**.

Lineární pohony pomocí pneumatických válců se používají k přemístování, zvedání nebo podávání polotovarů, výrobků nebo nástrojů (pomocí posuvných válců) nebo k sevření či rozevření upínačů pomocí napínacích či otevíracích válců.

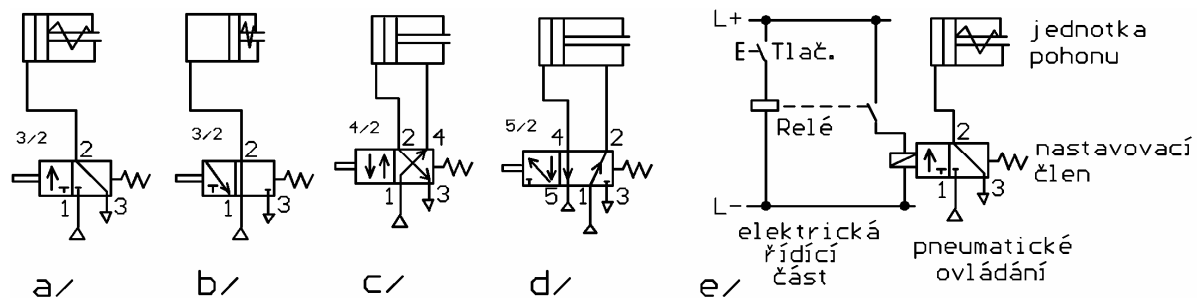
Jednočinné pneumatické válce jsou konstruovány buď jako **membránové**, nebo jako **pístové**. Tlak vzduchu může působit jen na jednu stranu membrány nebo pístu, proto může být **práce konána** je při **jednom směru pohybu**, např. při upínání, přisunu, odsunu nebo lisování.

U membránového válce je tlakem vzduchu prohýbána membrána. Průhyb membrány se přenáší na lineární pohyb pístnice. **Zpětný pohyb** zajišťuje buď napružení membrány, vnější síla nebo **vratná pružina**. Výška zdvihu rovných membrán bývá do 40 mm a u vlnitých membrán až 80 mm.

Ve **dvojjčinném** pneumatickém válci **působí stlačený vzduch střídavě na opačné strany pístu**. Pracovní pohyb je možný v **obou směrech**.

Dvojjčinné válce mají oproti jednočinným válcům několik podstatných předností: dosahují zdvihu až 2 m, pracovní pohyb není ovlivňován vratnou pružinou a zpětný chod je rychlý a rovnoměrný. Kromě toho je možné nastavit rychlosti pohybu pístu v obou směrech. Rozsah pohybu se většinou vymezuje **zarážkami pístu** ve válci. Škody vznikající opotřebením prudkými nárazy do zarážek je možné omezit např. pomocí pružných podložek tlumících nárazy.

Nastavitelné **tlumení** umožňuje měkké zastavení v koncových polohách.



Obrázek 3.1

a/ 3/2cestný ventil v klidu uzavřený (jednočinný válec)

b/ 3/2cestný ventil v klidu otevřený (jednočinný válec)

c, d/ řízení dvojjčinného válce

e/ elektropneumatické řízení

3. 5 Ventily a základní principy řízení

Ventily **řídí rozběh** (start), **zastavení** (stop), **směr proudění** i **tlak** a procházející **množství** tlakového média.

Cestné ventily mění cesty tlakového média propojováním dílčích cest a přitom mění rychlost proudění média v těchto cestách.

Ve zkráceném označování ventilů je uváděn počet řízených (propojovaných) přívodů (cest) a počet poloh ventilu např. cestný ventil se 3 ovládanými vývody (pro tlakové médium) a 2 polohami (stavy) se označuje jako 3/2- cestný ventil a nazývá se třícestný dvoupolohový ventil.

Má-li pneumatický cestný ventil více odvzdušňovacích vývodů, mohou být všechny odpovídající vývody označeny jako jediný vývod jediným číslem.

Rozdělení cestných ventilů podle funkce

2/2-cestné ventily jsou používány jako **průchozí ventily**, **uzavírací ventily** a jako odvzdušňovací spouštěče impulsu. **3/2-cestné ventily** mohou ve 2 polohách střídavě plnit a odvzdušňovat provozní vedení.

Pomocí **3/2-cestných ventilů** jsou **řízeny jednočinné válce** a zdroje impulsů.

Je-li ventil při činnosti déle ve stavu klidovém než v aktivovaném, používá se 3/2-cestný ventil s aretací v klidové poloze. Je-li doba klidu mnohem kratší než doba aktivovaného stavu, používá se ventil, který je v klidovém stavu průchozí.

Pomocí **4/2**-cestných ventilů a **5/2**-cestných ventilů jsou **řízeny dvojčinné válce**.

Při použití **5/2**-cestných ventilů má každý z obou pracovních vývodů vlastní odvodušňovací vývod. Pomocí **4/3**-cestného, případně **5/2**-cestného ventilu je možné udržovat dvojčinný válec pod tlakem nebo bez tlaku v libovolné mezipoloze mezi krajními polohami, ve které je možné válec pneumaticky aretovat nebo jej udržovat v plovoucí poloze bez aretace. Ve stavu plovoucí polohy může být válec např. při seřizovacích pracích ručně přestavován.

Pomocí **šoupátkového ventilu** je možné řídit malou silou velké průtoky tlakového média.

Průtokové ventily

Průtokové ventily **změnami průtočného průřezu řídí** (mění) **průtok vzduchu** (nebo kapaliny) pro pohon válců nebo motoru (redukce pracovního tlaku) nebo při řízeném odvodušňení (omezení rychlosti poklesu tlaku). tím je možné řídit rychlosti válců nebo otáčky motorů.

Průtokové ventily se dělí na **škrťací ventily** (s dlouhým zúženým vedením) a **clonové ventily** (s velmi krátkým zúžením). Zúžení může být neměnné nebo s nastavitelným průřezem.

Blokovací ventily

Blokovací ventily jsou jednosměrně uzavírající ventily, propouštějící tlakové médium jen v jednom směru a blokují (uzavírající průtok v opačném směru). Patří k nim zpětné ventily, ventily pro rychlé odvodušňení, přepínací ventily a dvoutlakové ventily.

3. 6 Elektropneumatické řízení

Elektropneumatické řízení se používá k **elektrickému řízení strojů** a zařízení s **pneumatickými pohony**. Elektropneumatická jednotka spojuje např. elektrickou řídicí jednotku s pneumatickou výkonovou jednotkou.

Elektrická řídicí jednotka přijímá **elektrické signály** signálních jednotek (tlačítek, spínačů a snímačů). Signály jsou **zpracovány** (logicky, časově, výkonově) pomocí logických jednotek, časových relé a stykačů a jsou vedeny na **elektromagneticky ovládané 2/2, 3/2, 4/2 nebo 5/2-cestné ventily**, pneumatické válce a motory pohánějící mechanismy strojů a zařízení. Elektromagnetické ventily jsou ovládány buďto elektromagnetem a zpětnou pružinou nebo v obou směrech elektromagneticky. K přeměně pneumatických signálů na elektrické signály slouží **pneumaticko-elektrické (PE) měniče** nebo **tlakové spínače**. PE měnič obsahuje elektrický přepínač, jehož pohyblivý kontakt je jedním směrem ovládán přes píst stlačeným vzduchem a druhým směrem vratnou pružinou. Větší plochou membrány je možné získat větší přepínací sílu. Je-li možné u PE měniče nastavit přepínací tlak, nazývá se tlakový spínač.

4. Hydraulické řízení

Do oblasti hydrauliky patří pohony, řídicí jednotky a regulační jednotky strojů, které využívají **k přenosu sil tlaků kapalin**.

Hydraulika je používána především v těžkém strojírenství, u lisů, na jeřábech a na mobilních stavebních strojích. Další důležitou oblastí použití jsou obráběcí stroje a linky používající hydraulické upínání a hydraulické mechanismy pro manipulaci s výrobky při transportu.

Fyzikální základy

Přenos síly a energie se uskutečňuje v hydraulice buď **hydrostaticky kapalinou v klidu**, nebo **hydrodynamicky proudící kapalinou**.

Je-li kapalina v klidu v uzavřeném prostoru vystavena tlaku prostřednictvím např. pohyblivého pístu na který působí síla F , **šíří se tlak rovnoměrně všemi směry** (Pascalův zákon). Působí-li síla F_1 na píst o ploše A_1 , vzniká **hydrostatický tlak**

$$p = F_1/A_1$$

Tento tlak může držet v rovnováze mnohem větší sílu F_2 , je-li zvolena odpovídající plocha pístu A_2 .

Platí totiž

$$p = F_1/A_1 = F_2/A_2 \text{ nebo } F_1/F_2 = A_1/A_2$$

Při stejném tlaku kapaliny jsou síly úměrné plochám pístů.

Vlastnosti hydrauliky:

- prostorově malé konstrukční jednotky přenášející velké síly,
- rychle, jemně a stupňovitě přestavitelné rychlosti pohybů válců a motorů,
- jednoduché zabránění přetížení omezením tlaku,
- viskozita hydraulického oleje je závislá na teplotě,
- vznikají ztráty prosakováním,
- náchylnost ke kmitání a hlučnosti.

Ke zvednutí zátěže reprezentované silou F_2 musí být **kapalina** pod pístem **uvedena** pod tlakem **do pohybu**. K vyvolání pohybu pístu zvedáku vytlačí píst čerpadla kapalinu objemu V potrubím do válce zvedáku a kapalina zvedne jeho píst. Stlačená kapalina vytváří ve válci zvedáku sloupec průřezu A a výšky l . Objem tohoto sloupce V prochází po dobu t potrubím s objemovým průtokem Q .

$$Q = \nabla V / \nabla t = A \cdot \nabla l / \nabla t = A \cdot v$$

Objemový průtok je v uzavřeném systému ve všech místech stejný, proto je rychlost proudění v větší v místech menších průřezů A a menší v místech většího průřezu (např. ve válci zvedáku). Platí tedy:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \text{ nebo } v_1/v_2 = A_2/A_1.$$

Rychlosti pohybů válců jsou tedy v opačném poměru než jejich průřezy.

Proudící hydraulická kapalina musí být tlačena ve směru působení síly F_2 a proti odporu proudění kapaliny ve vedení a ostatních částech zařízení silou, působící na píst čerpadla. K síle překovávající hydrostatický tlak $p_{\text{start}} = F_2/A_2$ je třeba přidat ještě sílu překovávající hydrodynamický odpor (tření a dynamické síly uvádějící kapalinu do pohybu). Aby kapalina proudila, musí být v čerpadle stlačována tlakem p .

Tlaková diference p mezi válci vznikající jen při proudění kapaliny narůstá s druhou mocninou rychlosti proudění. Část energie potřebné pro proudění, která není využita jako pohybová energie kapaliny se mění v teplo, které ohřívá kapalinu a celé zařízení.

Čím rychleji proudí kapalina potrubím, nebo čím menší jsou průřezy potrubí, tím větší jsou ztráty (ztrátová energie) a tím více se systém zahřívá.

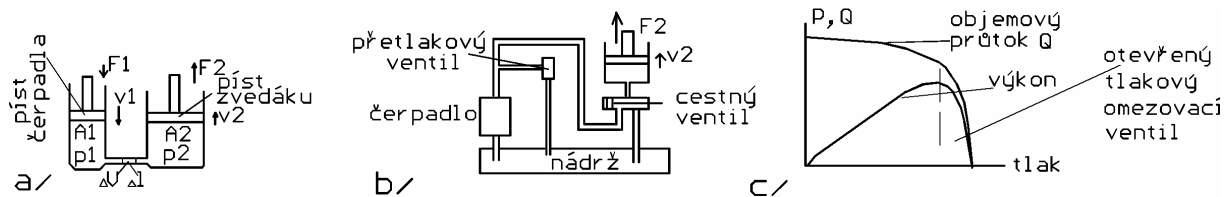
Energie předaná hydraulickým zařízením pístu zvedáku **je rovna součinu síly a délky pohybu** (zdvihu pístu) a odpovídá součinu tlaku a zdvihového objemu.

$$W = F_2 \cdot s_2 = p_2 A_2 s_2$$

Pro výkon zvedáku pak platí:

$$P = W/t = p V/t = p Q$$

tlak a objemový průtok určují výkon hydraulického zařízení.



Obrázek 40 a/ šíření tlaku v kapalině

b/ vytváření a omezování tlaku kapaliny

c/ charakteristika čerpadla

Hydraulické kapaliny

Hydraulická kapalina **přenáší síly**, zlepšuje **mazáním** vzájemný **skluz** mechanických částí, chrání kovy před **korozí**, **odvádí ztrátové teplo a odplavuje nečistoty**. Používají se většinou **minerální oleje** vyhovující svými vlastnostmi pro požadovanou aplikaci.

Požadujeme minimální stlačitelnost a rozpínavost

Skladba hydraulických řídicích systémů

Přenos energie (spojený s přenosem signálů) začíná u **čerpadla**, které přenáší elektrickou, resp. mechanickou energii na tlakovou kapalinu stálým vytlačováním tlakové kapaliny ze sacího potrubí do tlakových rozvodů.

Tlakové **ventily**, cestné ventily a průtokové ventily **ovlivňují objemový průtok**. Energie hydraulického média je v závěru opět přeměněna v mechanickou energii v hydraulických **válcích** nebo v **hydraulických motorech**.

V různých oblastech hydraulického přenosu energie mohou přenos ovlivňovat (řídit) mechanické, elektrické, pneumatické nebo hydraulické **signály**, které mohou např. **měnit** výstupní objemový **průtok** (objemový výkon) **čerpadla** a tím **řídit rychlosti válců**. Pomocí cestných ventilů mohou být měněny cesty proudění hydraulické kapaliny nebo pomocí redukčních ventilů mohou být omezovány síly válců.

Hydraulické zásobníky

Energie hydraulické kapaliny může být dočasně přeměněna na energii napnuté pružiny nebo energii zvednutého břemene a v případě potřeby předána zpět kapalině. Tímto způsobem může být energie uchována. Ve většině případů je však uchování energie dosaženo stlačením určitého objemu plynu. Jedná se o **expanzní nádobu**, která **obsahuje kapalinu i plyn**, které jsou od sebe **odděleny nepropustnou pružnou membránou**. Kapalina je prakticky nestlačitelná. I malé změny objemu způsobené kolísáním teploty by vyvolaly velké změny tlaku, které by potrubí roztrhly. Plyn je dobře stlačitelný, tyto změny objemu převede na malé změny tlaku. Expanzní nádoby se používají také v systémech ústředního topení a rozvodu pitné vody k **udržování stálého tlaku**

Hydraulické zásobníky mají tyto funkce:

- uchování energie,
- tlumení kmitů (výkyvů tlaku),
- vyrovnávání nerovnoměrného odběratelského objemového průtoku,
- doplňování ztrát únikem hydraulické kapaliny,
- uchování rezervy energie pro případ nouze.
-

Jednotky hydraulických pohonů

K hydraulickým pohonným jednotkám patří **válce, kyvné motory a hydraulické motory**. Jejich úlohou je převádět energii hydraulické kapaliny na mechanickou energii lineárních, kývavých nebo rotačních pohybů.

Hydraulické ventily

Ventily přestavují cesty hydraulické kapaliny, mění objemové průtoky a tlaky kapaliny v tlakových rozvodech a tím mění směry pohonů, rychlosti i síly a moment hydraulicky poháněných válců a motorů.

Tlakové ventily slouží k omezení tlaku, k připojování a odpojování akčních členů, např. hydraulických válců a k udržování konstantního pracovního tlaku.

Pomocí **cestných ventilů** jsou měněny cesty a tím i směry proudění kapaliny, směry pohybů pístů ve válcích a pomocí signálů start a stop jsou nastavovány velikosti pracovních zdvihů (viz předchozí kapitola Pneumatické řízení).

Blokovací ventily se přestavuje tlakem proudící kapaliny a nejsou řízeny vnějšími signály. Jejich úlohou je uzavírat průtok v jednom směru. Nejdůležitějším blokovacím ventilem je **zpětný ventil**. Jeho funkce je podobná funkci diody v elektrotechnice.

Průtokové ventily zmenšují objemový průtok tlakové kapaliny zmenšením průtočného průřezu. Tímto způsobem je možné zmenšit rychlost pohybu akčních členů. Podle konstrukce rozlišujeme škrťací ventily a clonové ventily, podobně jako u pneumatických ventilů.

Spojité ventily odstraňují rozjezdové a dojezdové rázy a nastavit libovolnou rychlost řízeného válce nebo motoru. Spínací hydraulika (binární hydraulické řízení) přepíná totiž skokově rychlosti pohonů a způsobuje tím rázy, které působí nepříznivě na zařízení.

Pomocí **proporcionálních ventilů** je možné ovládat **řídícím elektrickým proudem I** intenzity několika miliampérů hydraulické nebo pneumatické veličiny.

Proporcionální ventily patří ke spojitým ventilům (společně s servoventily). Pro možnost plynulého nastavování jsou proporcionální ventily používány stále častěji a **řídící elektronika** je díky integraci a miniaturizaci **montována** stále častěji přímo **na ventil**.

Proporcionální elektromagnety jsou ovládané stejnosměrným proudem. Mění vstupní elektrický proud na proporcionální sílu přenášenou z kotvy (pohyblivého jádra) na tyčku zdvihátka elektromagnetu.

5. Digitální řízení

Při binárním řízení jsou **snímány z řízeného** procesu binární signály (zapnutí a vypnutí spotřebičů, překročení mezních hodnot), jsou **uloženy do paměti** řídicího systému, jsou **zpracovány** a na základě výsledků zpracování **vysílá** řídicí systém řídicí binární **signály**.

Zpracování binárních signálů je možné popsat pomocí **Booleovy algebry**.

Při číslicovém (digitálním) řízení mají snímané signály podobu binárně kódovaných čísel. Mezi řídicím systémem a řízeným procesem dochází k výměnám skupin binárních impulsů.

Zpracování číselných údajů je založeno na aritmetických výpočtech skládajících se z aritmetických operací, jako např. sčítání a násobení, které probíhají v aritmetických jednotkách mikroprocesorů.

5.1 Binární logické operace, kombinační obvody

U **kombinačních obvodů** jsou **stavy výstupů funkcí okamžitých hodnot vstupních proměnných**.

Řídicí binární systém realizuje **logické operace mezi snímanými binárními signály**, a to **přímo** nebo **nepřímo** po **převedení signálů** na **jinou úroveň** nebo jiný typ binárních logických proměnných. Při zpracování několika málo signálů je možné vystačit s jednoduchým přímým řízením. **Při složitějším řízení** s mnoha vstupními a výstupními signály probíhá logické zpracování na úrovni logických proměnných pomocí počítačového **programu** zpracovávaného **mikroprocesorem**, programovatelným automatem nebo počítačem.

Nezávisle na tom, jaké jsou **prvotní signály** (mechanické, pneumatické, elektrické), jsou při binárním řízení zpracovávány jako **logické proměnné** pomocí **logických operací** logického součinu **AND**, logického součtu **OR**, **negace** (invertování), případně dalších operací (NAND, XOR, ...). Výpočet výstupních logických proměnných ze vstupních logických proměnných je popisován pomocí logických rovnic, které jsou upravovány s využitím pravidel Booleovy algebry.

Na výstupu dvouvstupového logického členu **AND** je logická **1** (signál odpovídající logické jedničce) tehdy a jen tehdy, jsou-li **na obou vstupech** logické **1**. Forma signálů může být **elektrická**, **mechanická** nebo **pneumatická**.

Vztah mezi výstupní proměnnou x a vstupními proměnnými a , b je označován operátorem logické **konjunkce** $x = a \wedge b$ a říkáme, že x je rovno konjunkci a , b . Funkci můžeme realizovat např. **sériovým zapojením spínačů a a b** Pokud jsou oba sepnuty, obvodem teče proud.

Na výstupu dvouvstupového logického členu **OR** je logická **1** (signál odpovídající logické 1) tehdy, je-li **alespoň ne jednom vstupu** logická **1**. Na výstupu je logická **0** tehdy a jen tehdy, jsou-li **na obou vstupech** logické **0**. Forma signálů může být různá.

Vztah mezi výstupní proměnnou x a vstupními proměnnými a , b je označován operátorem logické **disjunkce** $x = a \vee b$ a říkáme, že x je rovno disjunkci a , b . Funkci můžeme realizovat např. **paralelním zapojením spínačů a a b** Pokud je alespoň jeden (nebo oba) sepnut, obvodem teče proud.

Člen logické **negace** způsobuje **invertování** signálu. **Negací** logické **1** je logická **0** a **negací** logické **0** je logická **1**. Negace funkce jedné logické proměnné a označuje se pruhem nad proměnnou. Zápis $x = \bar{a}$ čteme: x je negací a . Označení negovaných logických funkcí jsou tvořena písmenem N, např. **AND = NAND**, **OR = NOR**, tj. $a \text{ AND } b = a \text{ NAND } b$, $a \text{ OR } b = a \text{ NOR } b$.

Realizace těchto funkcí pomocí diod a tranzistorů (DTL – diodo – tranzistorová logika) je uvedeno v kapitole Číslicová technika.

Následující tabulka udává pravdivostní tabulku funkcí OR, AND, NOR a NAND pro dvě vstupní proměnné **a** a **b**. Napište tuto tabulku také pro 3 proměnné.

a	b	OR	NOR	AND	NAND
0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0

Spojování logických funkcí

Hradla realizující logické funkce AND, OR (i jiné) mohou být vícevstupová a jednotlivé vstupy nebo výstupy mohou být opatřeny invertorem. Negace (inverze) signálu je na schématické značce označena malým kroužkem. Hradlo NAND je tedy na rozdíl od hradla AND označeno kroužkem na výstupu.

Booleova algebra je soubor definic a pravidel týkajících se logických proměnných a početních pravidel pro logické operace s logickými proměnnými. Smysl některých pravidel lze ilustrovat a vysvětlovat pomocí interpretací v oblasti kontaktových nebo logických obvodů, resp. jejich schémat. K nejdůležitějším pravidlům Booleovy algebry patří

Komutativní zákony $a \vee b = b \vee a$ $a \wedge b = b \wedge a$. Při operacích AND a OR můžeme zaměnit pořadí jednotlivých členů.

Asociativní zákony $a \wedge b \wedge c = (a \wedge b) \wedge c$ $a \vee b \vee c = (a \vee b) \vee c$. Operandů spojené stejným typem operace je možné sdružovat pomocí závorek.

Distributivní zákony $a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$ $a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$ Operaci před závorkou je možné aplikovat postupně na operandů v závorce.

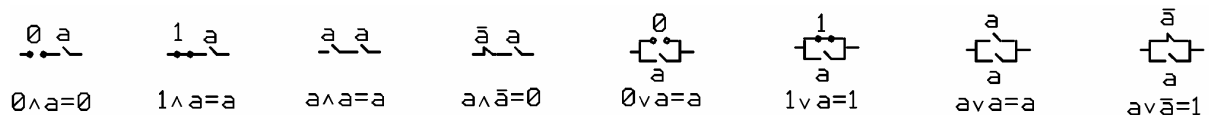
De Morganovy zákony

Negace logického součinu (konjunkce) je rovna logickému součtu (disjunkci) negací.

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

Negace logického součtu (disjunkce) je rovna logickému součinu (konjunkci) negací.

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



Obrázek č. 50 Pravidla Booleovy algebry znázorněná pomocí spínačů

Příklady:

V následujících úlohách sestavte logické funkce výstupu a navrhnete odpovídající logické zapojení

Úloha 1:

Motor pohonu vřetena má být zapnut signálem $x = 1$, je-li současně stisknuto spínací tlačítko (signál $a = 1$), běží mazací čerpadlo ($b = 1$) a pohon upínače stojí ($c = 0$).

Řešení: logická funkce: $x = a \wedge b \wedge \overline{c}$

Úloha 2:

Výstražné světlo má svítit ($x = 1$), sepne-li přetlakový spínač tlaku oleje ($a = 1$), sepne-li spínač překročení otáček vřetena ($b = 1$), nebo je-li v činnosti pohon upínače ($c = 1$) aniž by byla současně zapnuta spojka brzdy ($d = 0$).

Řešení: logická funkce : $x = a \vee b \vee (c \wedge \overline{d})$

Úloha 3

Převeďte logickou funkci $x = (a \cdot b) \vee (c \cdot d)$ na funkci, která používá jen operaci NAND.

$\bar{x} = \overline{ab + cd} = \overline{ab} \cdot \overline{cd}$ (podle De Morganova zákona, místo znaku pro konjunci můžeme psát znak pro násobení, místo znaku pro disjunci můžeme psát +)

$$x = \bar{\bar{x}} = \text{neg}(\overline{ab} \cdot \overline{cd})$$

Řešení: viz obr. 5.1a, k realizaci vystačíme s jedním typem integrovaného obvodu (hradla NAND)

Úloha 4 :

Převeďte logickou funkci $x = (a \cdot \bar{b}) + c$ na funkci složenou z negovaných výrazů.

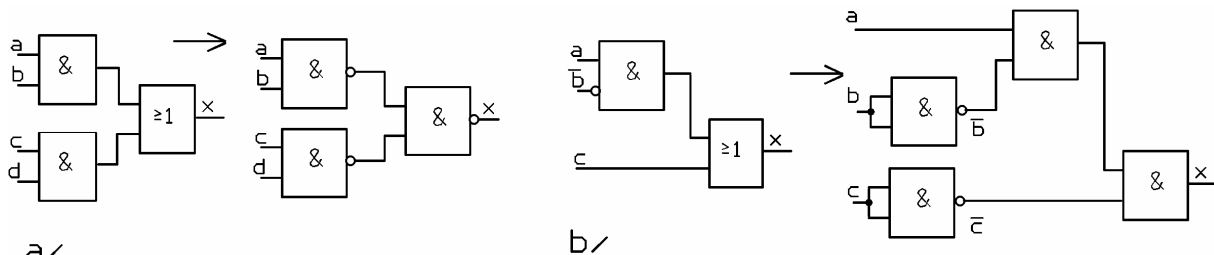
$$\bar{x} = \text{neg}((a \cdot \bar{b}) + c) = \text{neg}(a \cdot \bar{b}) \cdot \bar{c}$$

$$x = \bar{\bar{x}} = \text{neg}(\text{neg}(a \cdot \bar{b}) \cdot \bar{c})$$

Řešení: viz obr. 51b

Negace proměnných lze realizovat obvody NAND s propojenými vstupy, protože platí

$$\bar{b} = \overline{b \cdot b} \quad \bar{c} = \overline{c \cdot c}$$



a/
Obrázek č. 5.1a, b Řešení úloh 3 a 4

Úplná **pravdivostní tabulka** obsahuje **stavy výstupů** odpovídající všem **2ⁿ variacím s opakováním n vstupních binárních proměnných**.

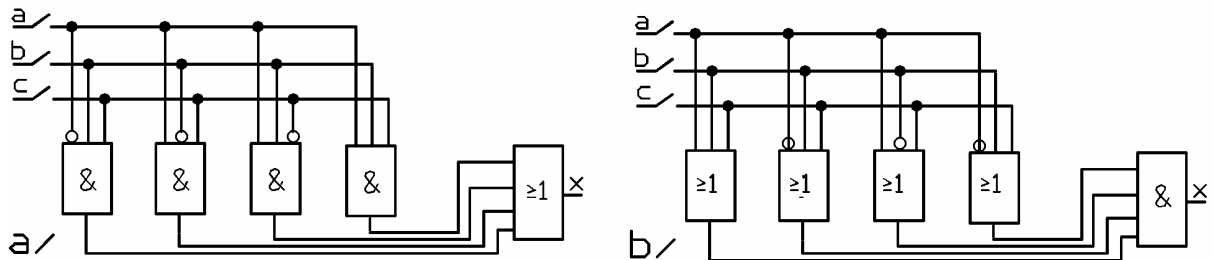
Úloha 5: Kovací lis vyžaduje obsluhu 3 lidí, minimálně však obsluhu 2 lidí. Jsou zde 3 rovnocenná obslužná místa a, b, c, obsluhovaná pomocí klíčového spínače. Aby se stroj zapnul signálem $x = 1$, musí být zapnuta obsluha nejméně 2 klíči nebo všemi 3 klíči. Vytvořte úplnou pravdivostní tabulku pro funkci výstupu x.

Řešení: Při třech binárních vstupních proměnných a, b, c může mít uspořádaná trojice vstupů $2^3 = 8$ různých variací stavů. Požadovanou výstupní funkci lze realizovat pomocí 3 invertorů, čtyř 3vstupových hradel OR a jednoho 4vstupového hradla AND

Disjunktivní (součtová) normální forma uvádí všechny logické funkce, které mohou být řešením úlohy. Obsahuje logické součiny všech vstupních proměnných z těch řádků pravdivostní tabulky, ve kterých je výstupní proměnná $x = 1$.

Konjunktivní (součinová) normální forma je sestavena z logických funkcí, které úlohu neřeší. Negací takové funkce vznikne funkce, která úlohu řeší. Negací vznikne disjunktce výrazů, ve kterých jsou konjunktce všech vstupních funkcí nebo jejich negací.

Konjunktivní normální formě dáváme přednost před disjunktivní normální formou v případech, má-li výstupní proměnná x v pravdivostní tabulce častěji hodnotu 1 než hodnotu 0. Výstupní funkce pak obsahuje méně výrazů.



Obrázek č. 5.2 Řešení úlohy 5

a/ *disjunktivní formou (součet součinů)*

b/ *konjunktivní formou (součin součtů)*

(Pozn. Úlohu 5 by bylo možné řešit i analogově. K signálům a, b, a c by stačilo připojit stejné rezistory a spojit jejich vývody do jednoho uzlu. Při současném stisknutí 2 tlačítek by v tomto uzlu byly 2/3 napájecího napětí, při stisknutí 3 tlačítek plné napájecí napětí. Při stisknutí jednoho tlačítka bude na výstupu třetina. Nakreslete schéma obvodu, aby toto platilo – pro a, b, c = 0 musí být jejich vodiče spojeny se zemí. Navrhněte způsob vyhodnocení – s tranzistorem, s operačním zesilovačem, se Schmittovým obvodem.)

Zjednodušování (minimalizace) logických funkcí

Logické výrazy je možné upravovat a zjednodušovat pomocí pravidel a zákonů Booleovy algebry. Při těchto úpravách však nelze zjistit, zda je upravovaný logický výraz minimalizován. K minimalizaci logických výrazů lze použít **Karnaughovy mapy** (čti Karnafovy), nebo též Karnaugh-Veitchovy diagramy.

5.2 Sekvenční obvody

Stav výstupů závisí nejen na stavu vstupů, ale i na vnitřním stavu obvodu. Ten obsahuje paměť, závisí tedy na sekvenci všech vstupních stavů od výchozího stavu obvodu. Např. ohýbačka začne pracovat až po vsunutí a upnutí materiálu. Signály o průchodu materiálu a o sevření spínače si musí řídicí systém zapamatovat – uložit do paměti, aby se jimi mohl dále řídit. Nejjednodušší **paměť je klopný obvod RS** (flip – flop). Tyto členy se mohou překlopit do stavu 1 nebo 0 a tento stav si zapamatovat tím, že v něm setrvají. Existují v **mechanickém, pneumatickém i elektronické** formě.

Mechanický klopný člen může mít podobu kolébkového dvoupólového přepínače. Signály R (reset a S(set) jsou tlaky na protilehlé konce kolébky.

Pneumatický klopný člen může být realizován 4/2cestným impulsovým ventilem.

Elektrický obvod mohou tvořit **dvě relé** se samopřidrznými kontakty obdobně jako u obr.2.4 d, e, f. Častěji se samozřejmě používají **integrovane obvody RS**.

Klopne členy **řízené taktovacími** (hodinovými) **impulsy** se nazývají **synchronní klopne členy**. Jsou-li vstupy **J** a **K** obvodu **různé**, jsou **taktovacím impulsem přeneseny na výstupy Q** a **neg. Q**.

Nezapojený vstup je většinou vyhodnocován jako vstup s úrovní 1. Jsou-li **na obou vstupech 1, mění se výstupní hodnoty s každým taktovacím impulsem**.

Z klopných obvodů můžeme sestavit **čítač**. Další informace viz kapitola Číslicová technika.

Jednodušší řídicí obvody realizujeme pomocí **pevné logiky** – propojením hradel, klopných obvodů, čítačů, posuvných registrů, atd. Při složitějším obvodu tvoří největší náklady výroba plošného spoje (dvouvrstvý nebo i čtyřvrstvý, prokovené otvory, nepájivá maska)

Složitější řídicí obvody realizujeme nejčastěji pomocí **mikroprocesoru**. Obvodové zapojení je výrazně jednodušší, řídicí funkce je uložena v **programu**, podle kterého mikroprocesor pracuje.

Mikroprocesory se podobně jako jiné integrovane obvody vyrábějí ve velkých sériích. Uživatelé si je naprogramují podle svých potřeb. Změny v programu se dělají snadněji, než úpravy na desce s plošnými spoji při použití pevné logiky. Některé mikroprocesory (s pamětí EEPROM) je možné vícekrát přeprogramovat. Při tomto typu paměti je možné uchovat data i po vypnutí napájecího napětí. Další možností je použití **programovaného hradlového pole**, u kterého vytvoří výrobce základní strukturu integrovane obvodu, který se skládá z hradel. Uživatel si navrhne jejich propojení tak, aby obvod vytvořil požadovanou funkci. Oproti mikroprocesorům, které jsou řízeny hodinovým kmitočtem (jednotky až stovky MHz) je zde **větší rychlost** zpracování informací. Zpoždění jednoho hradla je řádu nanosekund.

Použití **zákaznického integrovane obvodu** má význam při velkých výrobních sériích (např. hračky) od 100 000 kusů výše. Celý řídicí obvod je vytvořen na jedné křemíkové destičce. To umožní miniaturizaci řídicího obvodu, ušetří se náklady na velký plošný spoj.

5.3 Programovatelné automaty (PA)

Programovatelné automaty (PA) mají podobnou strukturu jako mikropočítače, jsou však orientované na interaktivní binární řízení v reálném čase. PA obsahuje **centrální jednotku s procesorem a operační paměť, programovou paměť, jednotky vstupů a výstupů**, napájecí zdroj a další jednotky. Na rozdíl od pevně natenených řídicích systémů (s pevně propojenými relé, hydraulickými ventily nebo elektronickými logickými obvody), jejichž řídicí algoritmus (program) je dán zapojením, je **řídicí algoritmus** PA uložen v **programové paměti** (např. EPROM), kterou je možné vyměnit za paměť s jiným programem.

PA tvoří v řídicím systému většinou část pro zpracování informací. Pro řízení malého rozsahu, tj. pro řízení s maximálně 100 DI/DO, tedy pro řízení s maximálně 100 digitálními vstupy nebo výstupy (DI, Digital Input = digitální vstup; DO, Digital Output = digitální výstup) se používají kompaktní PA. K binárnímu řízení větších výrobních zařízení, např. automatických linek se používají PA s **modulární rozšiřitelnou výstavbou**.

Často bývají jednotlivými PA řízena jednotlivá automatizovaná pracoviště a tyto PA jsou připojeny na **sběrnici** (bus), např. PROFIBUS-DP, přes kterou jsou centrálně řízeny a synchronizovány řídicím PA, označovaným jako Master PA. Podřízené PA jsou pak označovány jako Slave PA. Na sběrnici jsou pak připojeny další komponenty řídicího systému, jako např. programovací přístroj (např. PC) a ovládací panel. Na sběrnici může být také připojena jednotka rozhraní pro decentralizované zpracování dat.

Logické řízení v reálném čase může být realizováno kompaktním PA, modulárním PA, sítí PA, integrovaným PLC nebo řídicím počítačem typu PC.

Nejpoužívanějším systémem pro řízení procesů je **modulární PA**. Centrální jednotka modulárního PA obsahuje procesorovou jednotku, nejméně jednu vstupní a jednu výstupní jednotku a síťovou napájecí jednotku (síťový zdroj). Jednotky PA bývají většinou napájené stejnosměrným napětím 24 V.

K zachování dat v operační paměti při výpadku napájení slouží záložní baterie (nebo akumulátor). Pomocí sběrnice PROFIBUS-DP mohou být připojeny podřízené PA jako jednotky decentralizovaného řízení.

Na panelu PA bývají většinou **indikátory LED stavů vstupů a výstupů** a stavu CPU. Při indikaci chyby nebo je možné zjistit druh chyby podle obsahu registru diagnostiky. CPU obsahuje procesor a paměti rozdělené do několika oblastí, jako programová paměť (pro program), operační (pracovní) paměť a systémová paměť procesoru. Paměti jsou s procesorem spojeny systémovou sběrnici.

V programové paměti centrální jednotky je uložen uživatelský řídicí program. **Programová paměť** bývá typu **EPROM** nebo typu RAM se záložní baterií. Je paměť s programem vyjímatelná, může být naprogramovaná po vyjmutí z PA v programovacím přístroji. **Operační paměť** je tvořena **rychlou pamětí RAM**. Do operační paměti je po spuštění PA zaveden program a důležitá data. Systémová paměť obsahuje registry pro uložení proměnných (operandů) a její velikost závisí na použitém procesoru.

Vstupní jednotka je rozdělena na skupiny po 8 nebo 16 binárních vstupech. Vstupní jednotka obsahuje obvody pro přizpůsobení vstupních signálů, např. děliče pro snížení napětí a RC filtry pro potlačení rušení. Na stejnosměrných vstupech bývá dioda jako ochrana proti přepólování a na střídavých vstupech diodový usměrňovací můstek. Kvůli potenciálovému oddělení jsou signály dále vedeny přes optočleny. Stav vstupů jsou signalizovány na čelní panelu jednotky diodami LED. rozsvícená LED indikuje stav logické 1. V případě vstupu dat po sériové datové sběrnici jsou data rozdělena v multiplexoru řízeném dekodérem adresy na paralelní zpracování.

Výstupní jednotka je rovněž rozdělena na skupiny po 8 nebo 16 binárních výstupech (jednobitových pamětí). Výstupní jednotka obsahuje obvody budičů sběrnice, např. tranzistory pro binární stejnosměrné signály (24 V, 240 mA) nebo triaky (obousměrné elektronické spínače) k přímému řízení střídavého proudu zátěží, např. při 230 V, 50 Hz.

Zpozdí-li se vlivem nějaké poruchy pravidelný programový cyklus, vynulují se po uplynutí času pro programový cyklus výstupní paměti a nastavovací členy v řízeném procesu se uvedou do výchozího stavu. To zabraňuje vzniku nebezpečných provozních stavů.

Jednotlivé výstupy jsou procesorem nastavovány na základě svých adres. Demultiplexor řízený dekodérem adres vytvoří výstupní signál vysílaný na datovou sběrnici.

5.4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

Elektrická zařízení jsou **vzájemně kompatibilní**, tj. slučitelná nebo též snášlivá, pokud se vzájemně **neovlivňují** v tak velké míře, že by tím byla rušena jejich správná funkce. Elektromagnetická kompatibilita se týká ovlivňování elektromagnetickými poli, která zařízení vytvářejí.

Elektrická napětí v elektrických zařízeních vytvářejí **elektrická pole** a **elektrické proudy** vytvářejí **magnetická pole**. Souhrnně pak mluvíme o elektromagnetických polích. Při výměně energie mezi měnicím se elektrickým polem a měnicím se magnetickým polem dochází k vyzařování a šíření elektromagnetického vlnění. Elektrické **jiskrové výboje** jsou také zdrojem elektromagnetického vyzařování, které může vyvolat mechanické, tepelné i chemické účinky. Zdrojem rušivých polí jsou i rozvodné elektrické sítě, a to hlavně při **spínání velkých proudů**.

K dosažení EMC je nutné **omezit vlastní vyzařování** zařízení i vlivy vyzařování, cizích zdrojů na vlastní funkci.

Omezení rušivého elektromagnetického vyzařování

K velmi silným zdrojům rušivého vyzařování patří:

- všechny elektrické přístroje, motory a zařízení, ve kterých dochází k jiskření, např. spínač, stykače, komutátorové motory, obloukové svářečky,
- přírodní blesky, umělé výboje a nechtěné elektrostatické výboje,
- vysílače, radary,
- mikrovlnné trouby,
- vysokonapěťová vedení,
- elektronicky spínané zdroje.

Tvoření jisker je třeba zabránit **omezením napětí**, které vzniká mezi **rozpínanými** nebo odskakujícími **kontakty**. Nadměrné napětí může být zkratováno diodou, varistorem nebo transilem, nebo může být energie pohlcena RC členem. Elektrostatickým výbojům je možné zabránit používáním **elektricky vodivých povrchů** předmětů na pracovišti a jejich **uzemněním**. Šíření **elektromagnetického záření** lze **odstínit krytem z magneticky dobře vodivých materiálů**, ke kterým patří **železo**, ocel. Kable síťových rozvodů mohou být uloženy v ocelových trubkách nebo mohou mít plášť s ocelovým opletením. Spínací přístroje bývají umístěny v ocelových skříňkách. **Sdělovací vedení bývají kroucená po párech**, čímž se **vyruší účinky** elektromagnetického pole.

Rušení spínanými měniči proudu a napětí

Rychlé spínání výkonových polovodičových spínacích prvků (tyristorů, tranzistorů) je zdrojem **vysokofrekvenčních** (vyšších harmonických složek obdélníkových impulsů) **signálů**, které pronikají ven přes parazitní kapacity součástek a spoj vůči uzemněným částem, např. kapacity vývodů tranzistoru vůči kovové kostře. Mohou tak vznikat vysokofrekvenční elektromagnetická pole s kmitočty do 1 GHz. K omezení vyzařování z proudových vedení je třeba vedení **stínit** a **stínění uzemnit** na obou koncích vedení (jinak by mohlo stínění uzemněné jen na jednom konci vedení působit naopak jako anténa). **Stínění vedení musí vést až ke zdroji rušení**, např. spínanému měniči a **být spojeno s jeho stíněným krytem**.

Ochrana před rušením

Elektrické (elektrostatické) pole lze **odstínit kovovým krytem**, kterému se říká Faradayova klec, protože stačí skutečně drátěná klec z **elektricky vodivých, i nemagnetických**, např. hliníkových drátů. K odstínění elektromagnetických polí se používá i olovnatého skla, např. u mikrovlnné trouby nebo u rentgenového přístroje.

Střídavé magnetické pole indukuje střídavé elektrické napětí. **Vyzařování magnetického pole** lze u sdělovacích vedení **eliminovat zkroucením dvojice vodičů** sdělovacího vedení. Protisměrná indukovaná napětí se pak vyruší. Kroucenou dvojlinku (twisted pair) je možno ještě **odstínit kovovým opletením nebo kovovou fólií**. Střídavá magnetická pole indukují ve stínících krytech vířivé proudy, které vytvářejí magnetické pole protisměrné poli, které tyto proudy indukuje. Proti stejnosměrnému magnetickému poli je možné chránit přístroj krytem z feromagnetického materiálu, např. z oceli.

Kapacitnímu přenosu rušivého signálu lze zabránit tím, že citlivé vedení neklademe souběžně a **blízko vyzařujících vedení**.

Rušení přicházející po napájecí síti se zachycují **sítovými filtry** (cívky zachycují vf signály).

Ochrany proti přepětí, např. při úderu blesku jsou **několikastupňové**. Za výkonným jiskřištěm nebo svodiči přepětí následují varistory a rychlé transily.

Transily mají podobnou charakteristiku jako varistory nebo jako Zenerovy diody. Jsou schopny velmi **rychle (μs) se otevřít v případě přepětového impulsu a zkratovat** jej. V tento okamžik je na nich krátkodobě ztrátový výkon stovek wattů. Otvírají se dle typu při napětí desítek až stovek voltů.

Vyrábějí se buď **unipolární** – unidirekt (otvírají se pro jednu polaritu napájecího napětí, jako jedna Zenerova dioda) nebo **bipolární** – bidirekt (otvírají se pro obě polarity napájecího napětí obdobně jako antisériově zapojená dvojice Zenerových diod).

Galvanického oddělení rušivých signálů a odstranění **zemních smyček** je možné dosáhnout pomocí **optočlenů** nebo **oddělovacích transformátorů**. Optočlen se skládá z LED (nebo infračervené infraLED) a fototranzistoru, mezi nimiž se přenáší signál světleným nebo infračerveným zářením. Zemní smyčky jsou nepříjemné např. u elektroakustických zařízení. Vznikají, pokud je zvuková aparatura zemněna vícekrát než jednou. Pokud každý přístroj musí mít svoje zemnění (ochrana neživých částí nulováním), je nutné v signálovém propojení mezi nimi použít oddělovací transformátor.