

11. Pneumatické proporcionální řízení

Mimo řízení technologických procesů binárními – dvojkovými signály (0/1) umožňují proporcionální technická zařízení řízení analogovými signály. Tato zařízení dovolují rychlou a plynulou změnu tlaku, nebo objemu při řízení technologického procesu. Již dlouho se používají klasické regulační systémy pro regulaci tlaku a množství (objemu) vzduchu a plynů. Řadu hydraulických obvodů si již nelze představit bez proporcionálních ventilů pro řízení množství protékajícího oleje a tím i rychlosti pohybu pístnice hydraulického válce. V pneumatických obvodech se proporcionální technika v širším měřítku začala uplatňovat od počátku osmdesátých let.

Proporcionálně řízená pneumatická zařízení se používají v řadě přístrojů a zařízení určených pro zdravotnictví, pro měřicí a kontrolní přístroje, pro lakování a povrchové úpravy. Jejich použití rozdělujeme na oblasti:

- **pro řízení technologických procesů**

pro spojitou regulaci: - tlaku
- množství (objemu)
- teploty
- hladiny

pro ovládání: - kulových kohoutů - klapek
- ventilů

Použití je v chemickém a petrochemickém průmyslu, tepelných elektrárnách, teplárnách, v potravinářském průmyslu a v řadě dalších oborů.

- **pro ovládání pohonů**

pro spojitou regulaci: - rychlosti pohybu (např. pneumatického válce)
- tlaku jako technologické funkce (např. síly pneumatického válce)

Použití je u zařízení pro válcování oceli, výrobu celulosy, u textilních strojů atd.

Úvod do techniky řízení a regulace

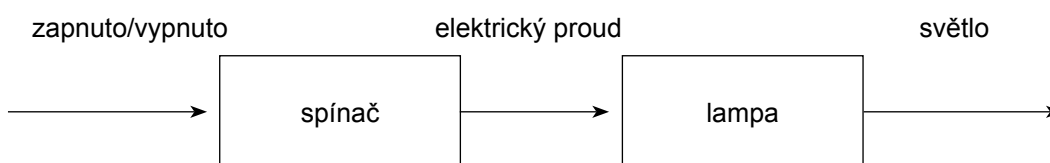
Aby bylo možno lépe pochopit chování proporcionálního pneumatického řízení, budou v této kapitole vysvětleny některé základní pojmy z techniky řízení a regulace.

Každý systém je v podstatě buď řízen nebo regulován. Úkolem regulační techniky je přivést určenou veličinu, např. teplotu, tlak, objem protékajícího proudu média vzduchu atd. na zadanou hodnotu a tuto hodnotu držet i při působení rušivých vlivů. Člověk se také chová podle principu regulace. Reaguje na podněty a podle svých zkušeností a dané situace přizpůsobuje své chování tak, aby navzdory rušivým vlivům dosáhl stanoveného cíle. Na jednoduchých příkladech vysvětlíme rozdíly mezi řízením - ovládáním a regulací.

Řízení - ovládání

Zapnutí - rozsvícení lampy

V tomto případě se jedná o jednoduchý příklad řízení. Lampa představuje technický systém, jehož výstupní veličinou je intenzita světla. Pro řízení - ovládání výstupní veličiny slouží vypínač, který buď sepně přívod elektrického proudu do lampy nebo jej přeruší.



Obr. 11.1 Zapnutí - rozsvícení lampy

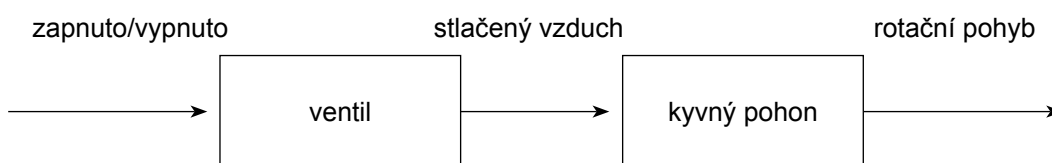
V závislosti na vstupní veličině může být spínač buď ve stavu sepnutém (I) nebo rozepnutém (O), a z toho vyplývají stavy výstupní veličiny:

spínač sepnut (I) → lampa svítí

spínač rozepnut (O) → lampa nesvítí

Řízení - ovládání pohybu pneumatického kyvného pohonu

Poloha pneumatického kyvného pohonu se řídí - ovládá příslušným (4/2 nebo 5/2) ventilem. Pneumatickým kyvným pohonem je možno dosáhnout pouze dvou základních poloh, které odpovídají buď úhlu 0° nebo úhlu 90° . Dosažení poloh, které odpovídají hodnotám úhlů mezi těmito krajními polohami je s prvky pro řízení - ovládání velmi těžko proveditelné.



Obr. 11.2 Řízení - ovládání pohybu pneumatického kyvného pohonu

ventil v poloze I → hřídel v poloze 90°

ventil v poloze O → hřídel v poloze 0°

Charakteristické znaky řízení - ovládání

- otevřený obvod řízení - ovládání
- neexistuje zpětná vazba, výstupní veličina není odměřována a kontrolována (kyvný pohon)
- neexistuje možnost porovnání zadané a skutečné veličiny

Klady: - známe-li procesy a na ně působící rušivé vlivy, je řízení - ovládání velmi účinné a rychlé.

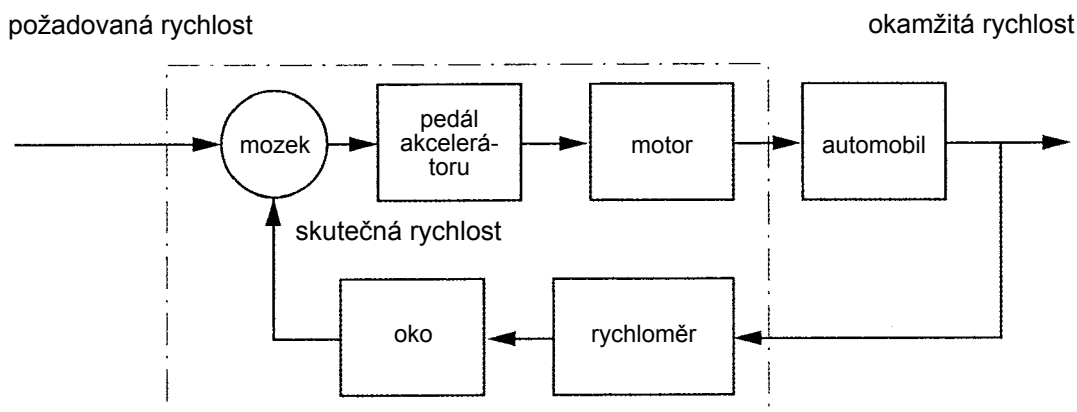
Zápory: - neexistuje možnost kompenzace působení neznámých poruch a poruch způsobených kolísáním hodnot vstupních parametrů.

Regulace

Úkolem procesu regulace je dosažení určité hodnoty zadané veličiny (např. teploty, otáček, tlaku apod.) a udržení této hodnoty i při působení rušivých vlivů. Také člověk, respektive jeho tělo, se chová podle základních principů procesu regulace. Je vybaveno inteligentními regulačními systémy, které reagují na změny prostředí. Např. je-li velké horko, začne tělo vylučovat pot a jeho odpařováním se tělo ochlazuje.

Obvod regulace rychlosti jedoucího automobilu

Na tomto příkladu bude objasněn vztah mezi řidičem a ovládáním - regulací rychlosti jedoucího automobilu. Požadovaná rychlost je omezena buď dopravními předpisy nebo konstrukcí automobilu. Jede-li např. řidič stálou rychlostí 50 km/hod udržuje tuto rychlost polohou pedálu akceleračního, kterým reguluje přívod paliva do motoru. Na rychloměru odečítá okamžitou rychlost automobilu. Regulační obvod respektive řidič okamžitě reaguje, jakmile tato rychlost stoupne nad nebo poklesne pod požadovanou rychlost. Změnou polohy pedálu akceleračního se zmenší nebo zvětší přívod paliva do motoru tak, až je opět dosaženo požadované rychlosti.



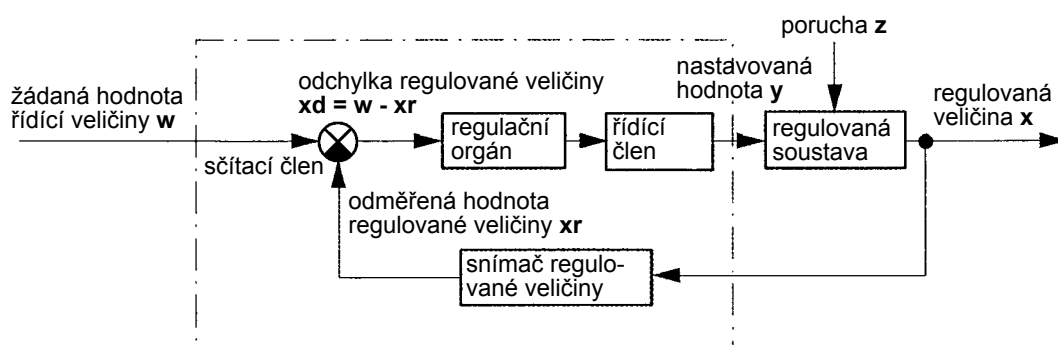
Obr. 11.3 Obvod regulace rychlosti jedoucího automobilu

Důležité pojmy v regulační technice

V blokových schématech regulačních obvodů jsou jednotlivé pojmy označovány obecně platnými symboly.

název	symbol	popis funkce
regulátor	–	obsahuje zařízení pro snímání a vyhodnocování regulované veličiny, komparátor, ústřední člen regulátoru, zesilovač, regulační orgán a rozvod
řídící veličina	w	řídícímu členu zadaná požadovaná hodnota např. proudu, napětí, tlaku apod.
regulovaná veličina	x	ovlivňovaná hodnota dynamického systému, např. tlaku, napětí, teploty apod.
odměřená hodnota regulované veličiny	xr	hodnota zpětné vazby
regulovaná soustava	–	dynamický systém jehož výstupní hodnoty mají být regulovány např. kyvný pohon, klapka, válec atd.
sčítací člen	–	porovnává zadanou a skutečnou hodnotu
odchylka regulované veličiny	xd	výstup sčítacího členu $xd = w - xr$
ústřední člen regulátoru	–	určuje vstupní hodnotu pro regulátor
zesilovač	–	generuje výstupní signál y
nastavovaná akční veličina	y	vstupní signál do regulované soustavy
porucha	z	veličina, jejíž změna (např. napětí, teploty, tlaku atd.) v průběhu procesu působí na regulovanou soustavu
snímač a měřicí člen	–	snímá a vyhodnocuje regulovanou veličinu

Tabulka 11.4 Pojmy a zkratky používané v regulační technice

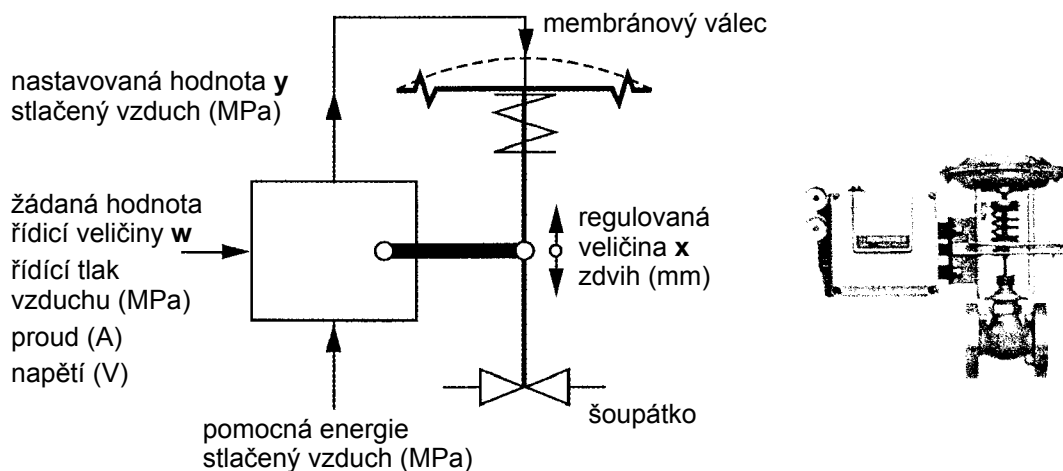


Obr. 11.5 Regulační obvod

11. Pneumatické proporcionální řízení

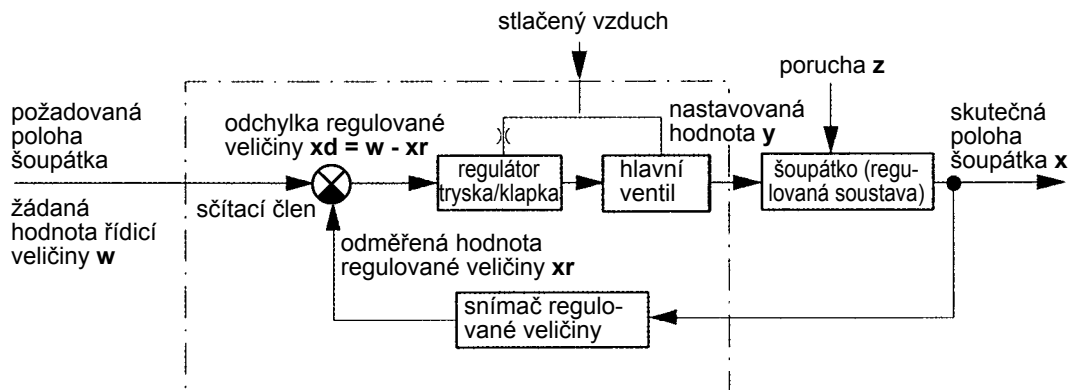
Regulace polohy šoupátka

Na příkladu bude uvedeno řízení průtoku změnou průřezu, realizovanou regulací polohy šoupátka. Zjednodušené schéma regulátoru polohy, který ve spojení s jednočinným membránovým pneumatickým válcem ovládá polohu šoupátka, je na obr. 11.6.



Obr. 11.6 Zjednodušené schéma regulátoru polohy spojeného s pohonem a šoupátkem

Blokové schéma ovládání polohy šoupátka je na obr. 11.7. Požadovaná hodnota regulované veličiny w (poloha šoupátka = průtok) je zadána do komparátoru elektrickým proudem, napětím nebo tlakem ovládacího média (vzduchu, kapaliny). Snímač regulované veličiny vyhodnotí skutečnou polohu šoupátka a této poloze odpovídající signál x_r přivede do komparátoru, ve kterém se porovná s požadovanou hodnotou w a jako odchylka regulované veličiny x_d upraví polohu ovládání regulátoru tryska/klapka. Výstupní signál y (tlak vzduchu) z hlavního ventilu regulátoru upraví polohu mechanismu (membránového pneumatického válce) a tím také polohu šoupátka. Tím je obvod regulace uzavřen. Také při působení poruchy z , (tlaku vzduchu nebo kapaliny) na šoupátkem limitovaný průřez, musí regulační obvod udržet požadovanou hodnotu regulované veličiny w . Hodnota regulované veličiny w odpovídá proporcionálně skutečné poloze šoupátka x .



Obr. 11.7 Blokové schéma regulačního obvodu šoupátka

Charakteristické znaky regulace

- obvod regulace výkonného členu tvoří vždy uzavřenou smyčku (má zápornou zpětnou vazbu)
- regulovaná veličina je během procesu průběžně měřena
- průběžně se porovnává hodnota zadané veličiny s naměřenou veličinou

Klady: - možnost vyrovnání vlivu neznámých poruch a kolísání zadaných parametrů

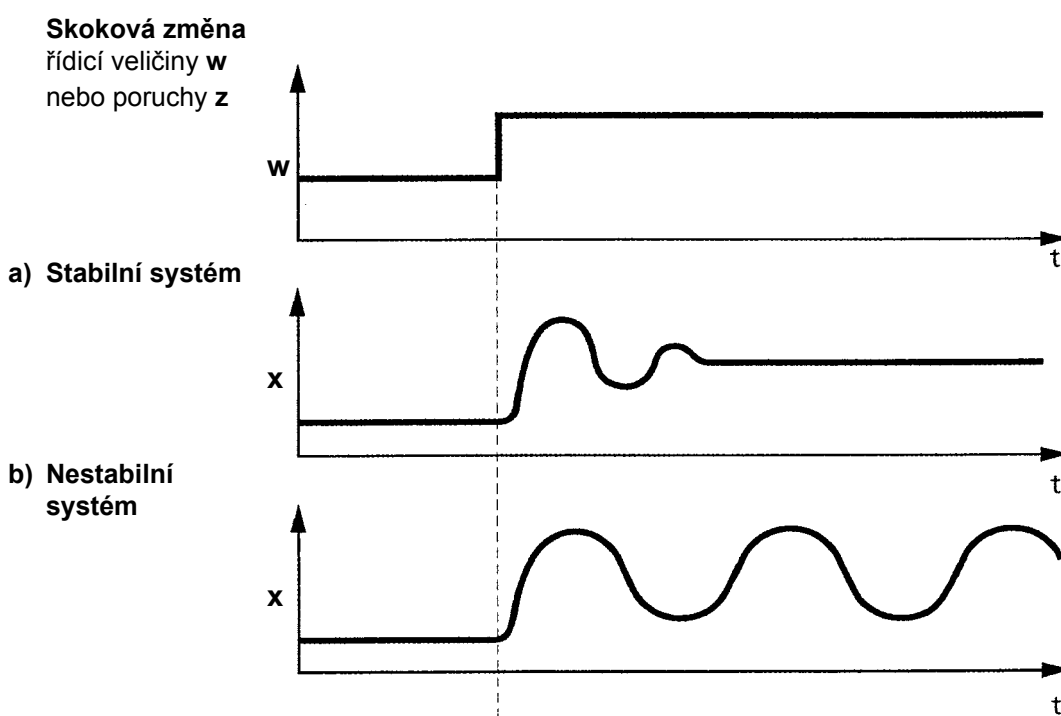
Zápory: - při špatném návrhu regulace může dojít k problémům se stabilitou regulované veličiny
 - ve srovnání s ovládáním může být regulace pomalejší
 - je nákladnější než řízení

Hlavní požadavky na průběh regulačního pochodu

Je důležité splnit tři hlavní požadavky, aby regulačního pochodu bezvadně pracoval:

1. Stabilita

Stabilita je nejdůležitější vlastností regulačního pochodu. Pokud se regulovaná veličina x po přivedení skokové změny řídicí veličiny w na vstup systému ustálí, pak je *systém stabilní*. Pokud se regulovaná veličina x rozkmitá s konstantní nebo rostoucí amplitudou, pak je *systém nestabilní*.



Obr. 11.8 Stabilita regulačního pochodu

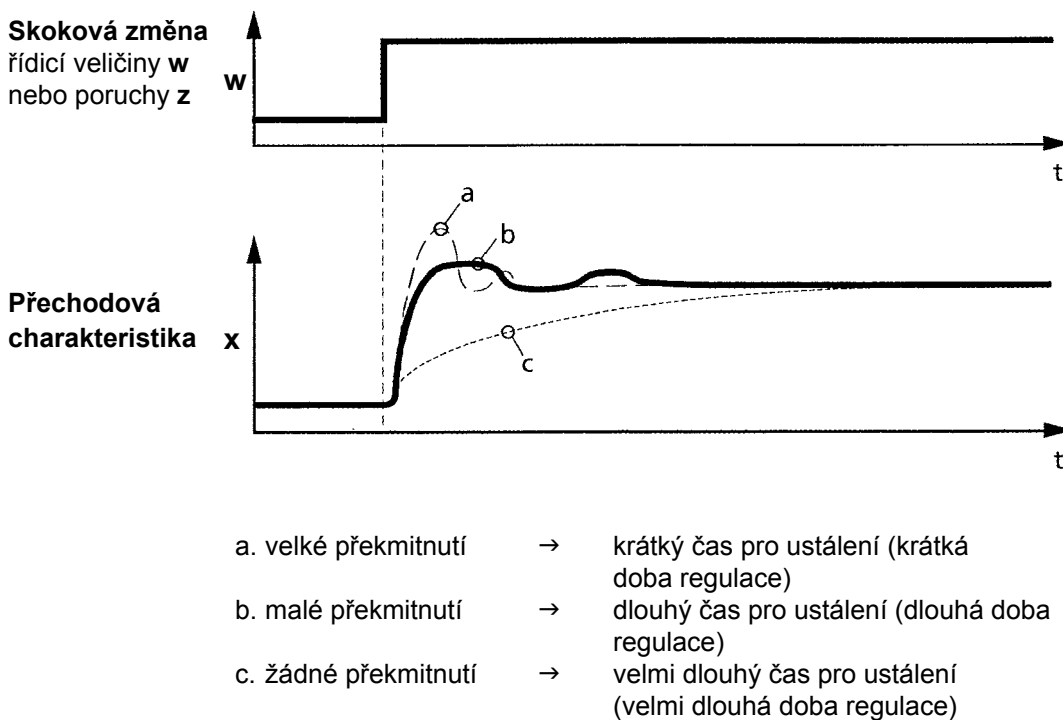
11. Pneumatické proporcionální řízení

2. Statická přesnost

Je-li hodnota změny řídicí veličiny (zadání) nebo poruchy konstantní, nesmí dojít v závislosti na čase ke změně regulované veličiny.

3. Dostatečné tlumení

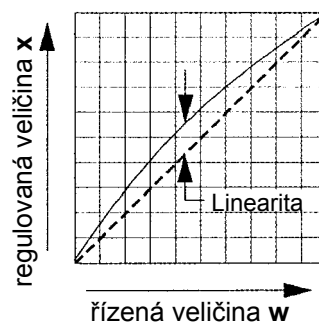
Tlumení ovlivňuje přesnost a dynamiku regulačního pochodu. Velké tlumení (obr. 11.9c) brání při skokové změně překročení hodnoty řídicí veličiny (zadání) nebo poruchy, ale prodlužuje čas potřebný pro ustálení (regulaci). Malé tlumení (obr. 11.9a) zkracuje čas potřebný pro ustálení, ale je možná velká odchylka od zadané hodnoty. U nestabilního regulačního pochodu se tyto odchylky neustáli a regulace pochodu není možná.



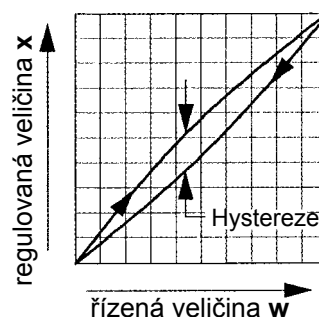
Obr. 11.9 Přechodová charakteristika při různém působení tlumení

Další základní pojmy používané v regulační technice

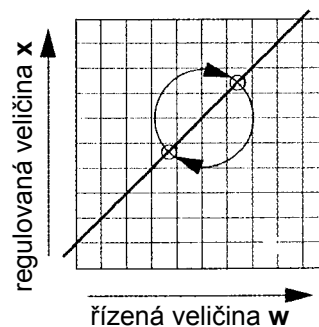
Linearita vyjadřuje proporcionální poměr mezi hodnotou řízené veličiny w a hodnotou regulované veličiny x . Maximální odchylka od konečné hodnoty se vyjadřuje v procentech.



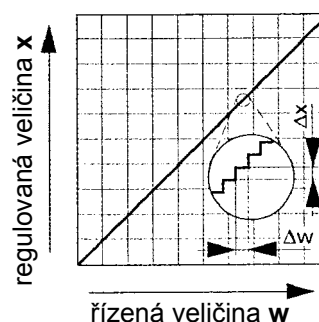
Hystereze vyjadřuje v procentech rozdíl mezi hodnotou řízené veličiny w a hodnotou regulované veličiny x při nastavení regulátoru od nulového bodu na maximum a z maxima na nulový bod.



Opakovatelná přesnost vyjadřuje v procentech, s jakou odchylkou od koncového bodu je možno opakovaně nastavit hodnotu regulované veličiny x , odpovídající koncovému bodu.

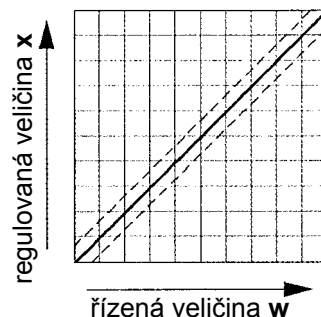


Citlivost udává, při jaké změně hodnoty řízené veličiny w , nebo změně hodnoty regulované veličiny x reaguje mechanismus proporcionálního ventilu, nebo regulátoru.

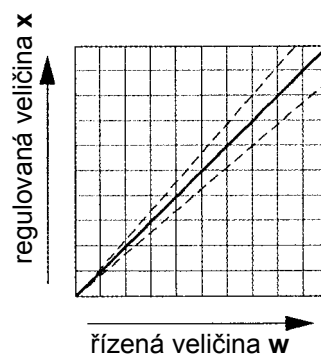


11. Pneumatické proporcionální řízení

Nastavení nulového bodu umožňuje jeho posunutí do pole kladného i záporného rozsahu. Křivka, vyjadřující charakteristiku přístroje, se posouvá rovnoběžně se základní křivkou.

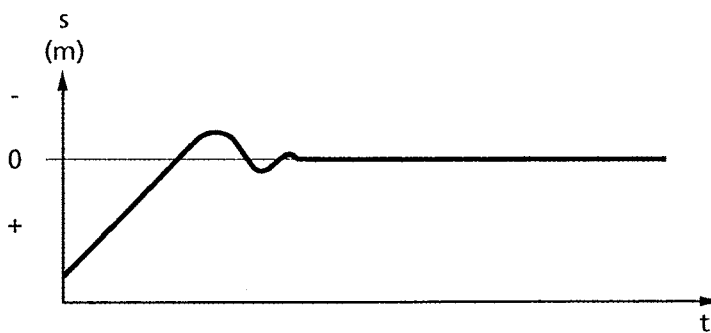


Nastavení rozsahu regulace dovoluje změnit strmost základní charakteristické křivky. Konečná hodnota regulované veličiny x může být snížena, nebo zvýšena a tak přizpůsobena požadavkům technologického procesu.



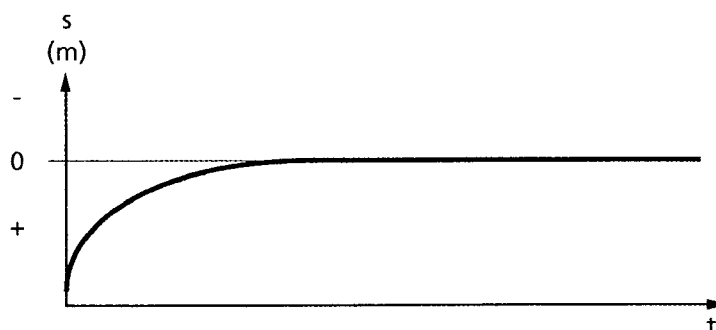
Chování různých regulačních obvodů

Chování různých regulačních obvodů můžeme přirovnat k řidiči automobilu, který chce zastavit svůj automobil přesně u určené značky STOP, vyznačené čarou na vozovce (obr. 11.10). Řidič jede ustálenou rychlostí až k čáře STOP a porovnává skutečnou hodnotu (okamžitou rychlost) s požadovanou hodnotou (nulovou rychlostí), respektive vzdálenost mezi autem a značkou. Jakmile bude rozdíl mezi vzdáleností auta a čáry roven nule (kola se dotknou čáry STOP), zabrzdí. V závislosti na rychlosti auto čáru přejede o menší nebo větší vzdálenost. Řidič zařadí zpátečku a pokusí se zastavit na čáře. Pokud přejede, opakuje několikrát pojezd vpřed a vzad, až se konečně na STOP čáře zastaví. Z obr. 11.10 je zřejmé záporné i kladné překmitnutí požadované hodnoty (nulové vzdálenosti od čáry).



Obr. 11.10 Překmitnutí a stabilizace regulované hodnoty v závislosti na čase

Zkušený řidič bere také v úvahu, jakou rychlostí se pohybuje k čáře STOP. Nejede konstantní rychlostí ke značce a pak zabrzdí, ale dojíždí setrvačností s plynule snižující se rychlostí k čáře, u které auto zastaví. Z obr. 11.11 je zřejmé, že čím menší bude rozdíl mezi požadovanou hodnotou (nulovou vzdáleností od čáry) a skutečnou hodnotou (okamžitou rychlostí), tím nižší bude rychlost auta, tím kratší bude vzdálenost mezi autem a čarou STOP. Prodloužením času se prodlouží tzv. přechodová charakteristika a zabrání se překmitnutí dráhy.



Obr. 11.11 Dosažení regulované hodnoty v závislosti na čase

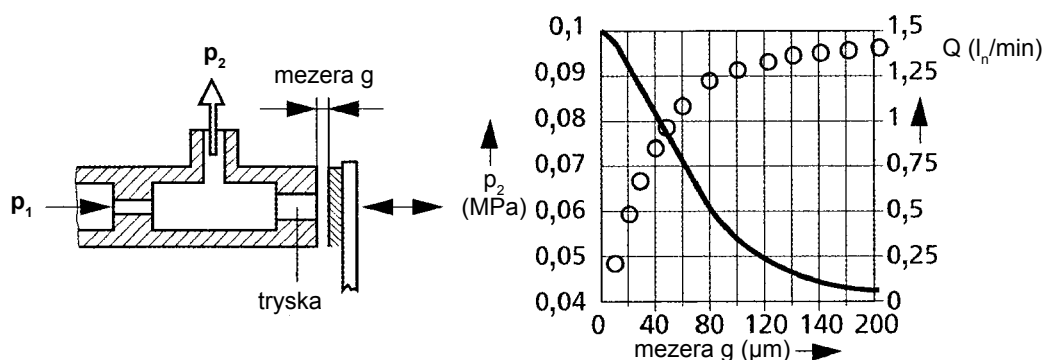
Pro podrobnější výklad tématu regulace odkazujeme zájemce na odbornou literaturu.

Regulátor polohy

Základní princip funkce systému tryska/klapka

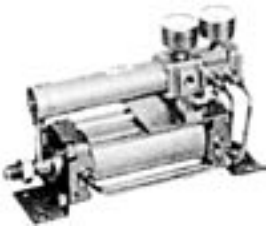




Základem většiny regulátorů polohy je prvek, který tvoří tryska a klapka. Tento prvek tvoří ústřední člen regulátoru. Jak je zřejmé z obr. 11.12, tlak vzduchu p_2 se mění proporcionálně s velikostí mezery „g“ mezi tryskou a klapkou, ale pouze v určitém, výrobcem určeném rozsahu. Změna hodnoty řídící veličiny (tlaku, teploty, elektrického proudu nebo napětí) změny polohy klapky vůči trysce a tím také velikost mezery „g“ mezi tryskou a klapkou. Zvětšení mezery „g“ se projeví snížením tlaku p_2 . Nemá-li mezi tryskou a klapkou žádná mezera ($g = 0$), je tlak vzduchu na vstupu p_1 roven tlaku na výstupu p_2 ($p_1 = p_2$). Při konstrukci regulátoru polohy je důležité určit optimální rozměr mezery „g“.

Výstupní tlak p_2 se v zesilovači zpracuje tak, že např. kyvný pohon pootočí regulační klapkou o určitý úhel. Regulátory, pracující se systémem tryska-klapka, mají trvalou vlastní spotřebu stlačeného vzduchu. Proto se jejich použití nedoporučuje pro regulaci při provozu se vzácnými plyny nebo při provozu s nízkým tlakem (do 0,005 MPa).



Obr. 11.12 Princip funkce systému tryska/klapka a průběh tlaku p_2 v závislosti na velikosti mezery „g“

Pneumatické a elektropneumatické regulátory polohy

provedení	řídící signál	zpětná vazba	oblast použití	aplikace
	pneumatický: 0,02 - 0,1 Mpa	pístnice	pro dvojčinné pneumatické válce se zdvihem max. 300 mm použitelné do prostředí s nebezpečím výbuchu	pneumatické válce se zdvihem do 300 mm
	pneumatický: 0,02 - 0,1 Mpa	páka: úhel výkyvu $\pm 15^\circ$	pro dvojčinné a jednočinné pohony a pro kyvné pohony použitelné do prostředí s nebezpečím výbuchu	pro pneumatické válce s krátkým zdvihem; pro kyvné pohony
	pneumatický: 0,02 - 0,1 Mpa	pastorek: úhel výkyvu 0 - 90°	pro dvojčinné a jednočinné pohony	pro kyvné pohony
	elektrický: 4 - 20 mA	páka: úhel výkyvu $\pm 15^\circ$	pro dvojčinné a jednočinné pohony	pro pneumatické válce s krátkým zdvihem; pro kyvné pohony
	elektrický: 4 - 20 mA	pastorek: úhel výkyvu 0 - 90°	pro dvojčinné a jednočinné pohony	pro kyvné pohony

Tabulka 11.13 Přehled pneumatických a elektropneumatických regulátorů polohy

11. Pneumatické proporcionální řízení

Lineární pneumatický pohon (pneumatický válec) s integrovaným regulátorem polohy

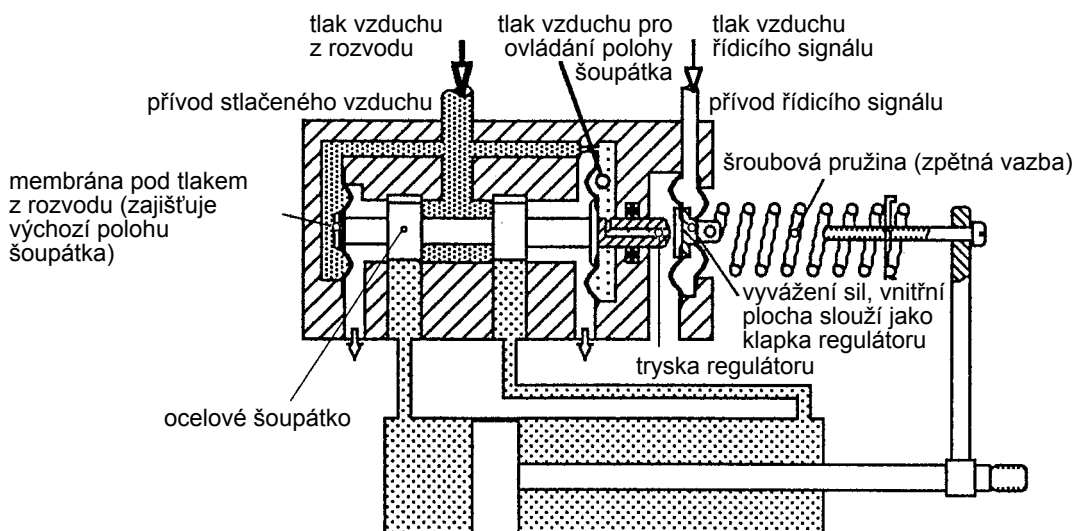
Pneumatický regulátor pracující na principu tryska/klapka umožňuje řízení polohy pístnice pneumatického válce. Tyto polohovací jednotky je možné použít pro dálkové ovládání klapek, dávkovačů apod. a také v prostředí s nebezpečím výbuchu. Umožňují nastavování poloh s velkou opakovatelnou přesností v celém rozsahu zdvihu válce. Vysunutí pístnice se chová proporcionálně k řídicímu signálu (0,02 až 0,1 MPa). Regulátory polohy tvoří kompaktní jednotku, která může být namontována přímo na pneumatický válec.



Obr. 11.14 Regulátor polohy namontovaný na pneumatický válec

Princip funkce

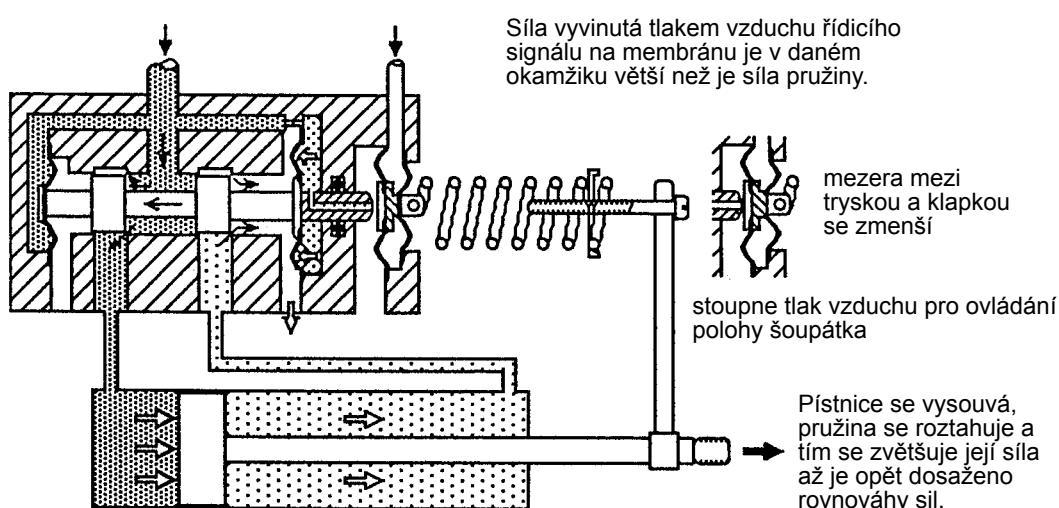
Podélný řez na obr. 11.15-1 představuje zjednodušený regulátor polohy. Ocelové šoupátko odpovídá provedení s tzv. nulovým krytím, tj. že jeho kanály s výstupy k válci jsou uzavřeny pouze hranou šoupátka. Na membránu vlevo působí trvale tlak vzduchu přiváděný z rozvodu do regulátoru polohy, na membránu vpravo působí trvale tlak vzduchu generovaný řídicím signálem. Pístnice válce se nepohybuje, když je šoupátko ve střední poloze (kanály s výstupy k válci jsou uzavřeny), tj. když na obě membrány působí stejný tlak vzduchu.



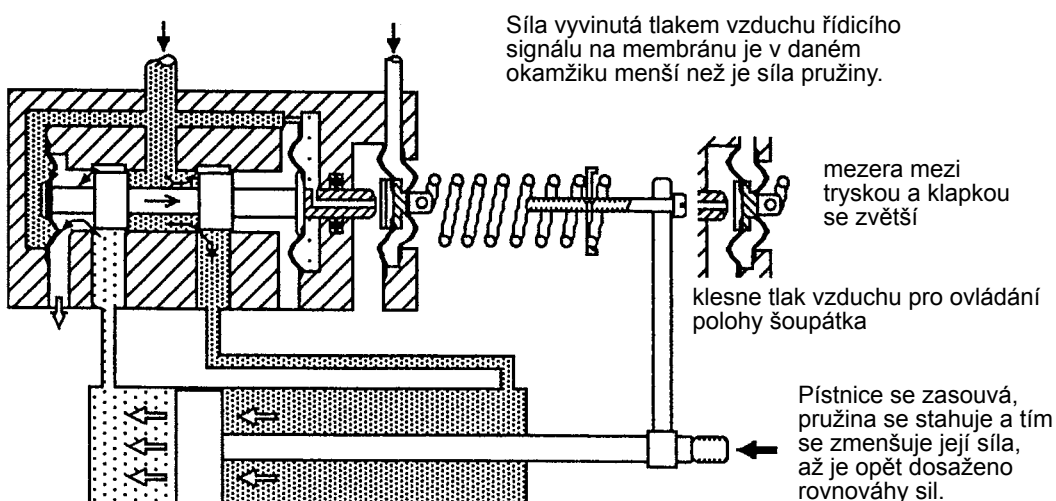
Obr. 11.15-1 Regulátor polohy v klidovém stavu

Regulátorem, pracujícím na principu tryska/klapka, se generuje tlak vzduchu pro ovládání polohy šoupátka. Klapku tvoří plocha kotouče, upnutého mezi dvě tvarované membrány a spojeného s pružinou s funkcí zpětné vazby. Vnitřní plocha kotouče spolu se šroubovou pružinou jsou prvky mechanismu k vyvážení síly tlaku vzduchu pro ovládání polohy šoupátka se silou šroubové pružiny.

Zvýšením tlaku vzduchu řídicího signálu se přiblíží klapka k ústí trysky. Tím stoupne tlak vzduchu pro ovládání polohy šoupátka, který působí na membránu vpravo a šoupátko se posune doleva. Posunutím šoupátka se otevřou kanály ventilu k pneumatickému válci a pístnice se začne vysouvat až do doby, kdy síla pružiny oddálí klapku od ústí trysky (obr. 11.15-2). Tlak pro ovládání polohy šoupátka klesne na hodnotu, která odpovídá rovnováze sil, vyvozených tlakem vzduchu řídicího signálu a silou pružiny. Šoupátko se posune vpravo do výchozí polohy a pohyb pístnice se zastaví do doby, než se změnou řídicího signálu nebo poruchou (změnou polohy pístnice) poruší rovnováha sil, působících na klapku regulátoru polohy.



Obr. 11.15-2 Chování regulátoru polohy po zvýšení tlaku vzduchu řídicího signálu



Obr. 11.15-3 Chování regulátoru polohy po snížení tlaku vzduchu řídicího signálu

11. Pneumatické proporcionální řízení

Regulátory polohy s pákou nebo hřídelí

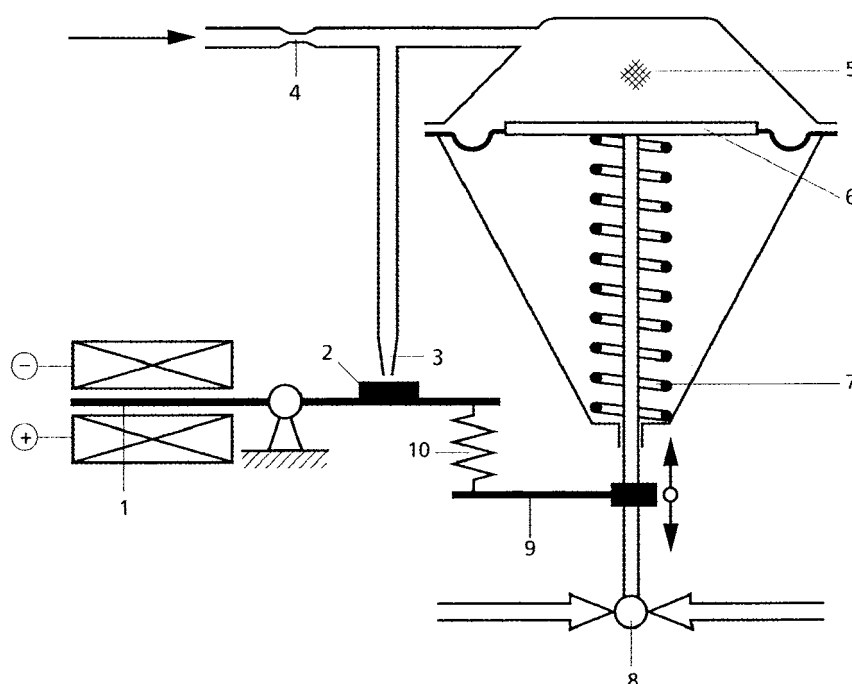
Regulátory polohy umožňují s využitím pneumatických nebo elektrických řídicích signálů analogové (spojité) nastavování pneumatických lineárních nebo kyvných pohonů. Regulátory polohy se zpětnou vazbou realizovanou pákou nebo hřídelí jsou často používány v různých výrobních odvětvích. Nastavením polohy šoupátek, ventilů klapek apod. je možné regulovat objemy a tlaky plynů nebo kapalin.



Obr. 11.16 Regulátory pro řízení a regulaci - (a) polohy ventilu; (b) motýlové klapky

Elektropneumatický regulátor polohy

Pro popis funkce elektropneumatického regulátoru polohy bylo vybráno šoupátko ovládané jednočinným membránovým pneumatickým válcem. Existují také regulátory polohy, u kterých jako pohon výkonného členu slouží dvojčinné pneumatické válce nebo pneumatické kyvné pohony.



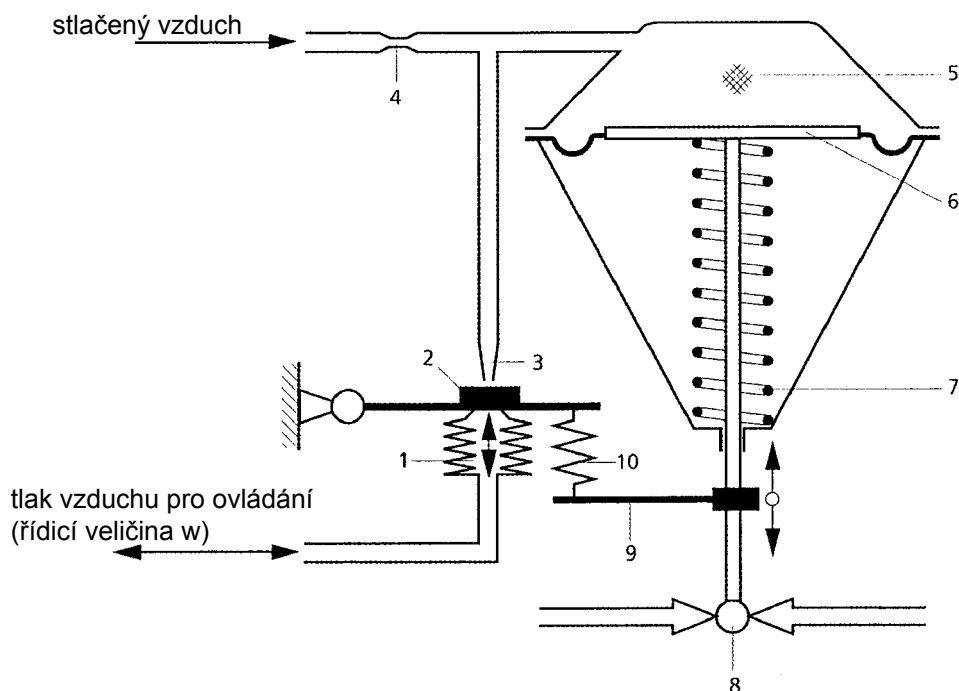
Obr. 11.17 Schéma šoupátka v potrubí, ovládaného jednočinným membránovým pneumatickým válcem, řízeným elektropneumatickým regulátorem.

Signálem pro větší průtok média je zvýšení hodnoty proudu protékajícího do cívky elektromagnetu (1). Elektromagnet (1) přiblížením klapky (2) k ústí trysky (3) zmenší mezeru pro průtok stlačeného vzduchu pro ovládání pohybu membránového pneumatického válce, který protéká tryskou (4). Vlivem zmenšení průřezu stoupne statický tlak v komoře membránového pneumatického válce (5), který prohne membránu (6) směrem dolů proti síle pružiny (7) a šoupátko (8) se otevře.

Pohyb pístnice membránového pneumatického válce se přenáší pákou (9) a šroubovou pružinou (10) na klapku regulátoru (2). Při pohybu směrem dolů pružina (10) odtahuje klapku (2) od ústí trysky (3), a tím snižuje tlak vzduchu v komoře membránového pneumatického válce (5). Po dosažení rovnovážného stavu se pohyb pístnice zastaví a šoupátko zůstane otevřené v poloze, která je definovaná hodnotou elektrického proudu (řídící veličinou w).

Pneumatický regulátor polohy

Elektropneumatické i pneumatické regulátory polohy pracují na stejném principu. U pneumatického regulátoru polohy se jako řídicí veličiny w používá stlačený vzduch místo elektrického proudu nebo napětí.



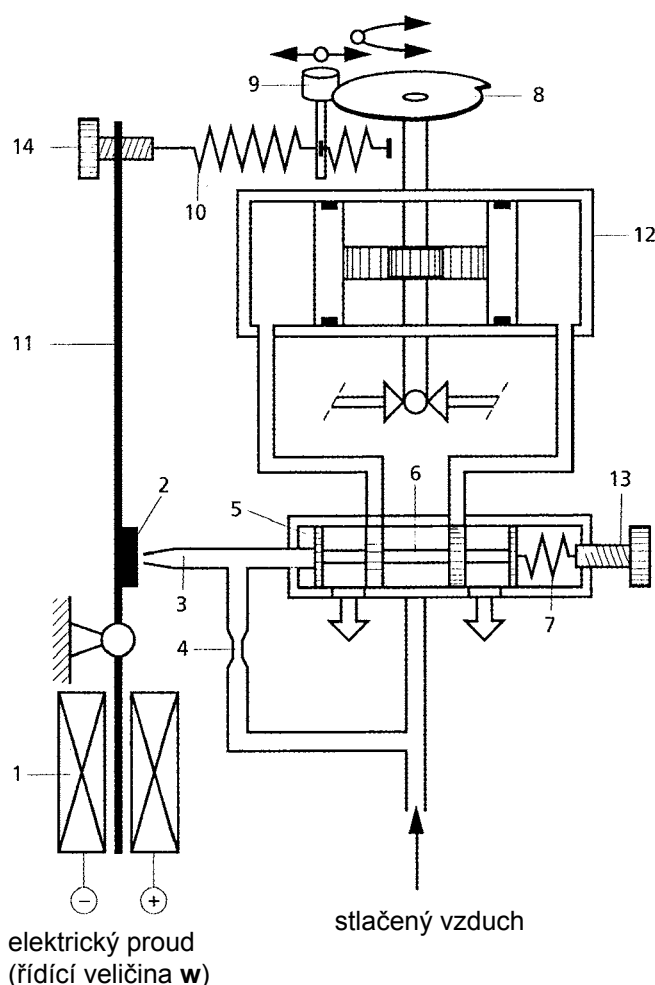
Obr. 11.18 Schéma šoupátka v potrubí, ovládaného jednočinným membránovým pneumatickým válcem řízeným pneumatickým regulátorem.

Zvýšením tlaku vzduchu pro ovládání se vlnovec (1) prodlouží a přiblíží klapku (2) k ústí trysky (3), a tím zmenší mezeru pro průtok stlačeného vzduchu pro ovládání pohybu membránového pneumatického válce, který protéká tryskou (4). Vlivem zmenšení průřezu stoupne statický tlak v komoře membránového pneumatického válce (5), který prohne membránu (6) směrem dolů proti síle pružiny (7) a otevře šoupátko (8).

Pohyb pístnice membránového pneumatického válce se přenáší pákou (9) a šroubovou pružinou (10) na klapku regulátoru (2). Při pohybu směrem dolů pružina (10) odtažuje klapku (2) od ústí trysky (3), a tím snižuje tlak vzduchu v komoře membránového pneumatického válce (5). Po dosažení rovnovážného stavu se pohyb pístnice zastaví a šoupátko zůstane v otevřené poloze, která je definovaná tlakem vzduchu pro ovládání (řídicí veličinou w).

Elektropneumatický regulátor polohy ovládaný šoupátkem

Některé regulátory polohy používají přetlaku, vyvolaného v systému tryska/klapka k přestavování 5/2 šoupátka k ovládání polohy pneumatického válce nebo kyvného pohonu. Tyto regulátory jsou vhodné k nastavování prvků pro regulaci velkých výkonů, sil a rychlostí. Většinou vykazují kvalitu regulace a jsou nastavitelné vstupními signály malé hodnoty.



Obr. 11.19 Schéma klapky v potrubí, ovládané dvojčinným pneumatickým kyvným pohonem řízeným elektropneumatickým regulátorem.

Signálem pro větší průtok média je zvýšení hodnoty proudu, protékajícího do cívky elektromagnetu (1). Elektromagnet (1) přiblížením klapky (2) k ústí trysky (3) zmenší mezeru pro průtok stlačeného vzduchu, který protéká tryskou (4). Zmenšením průřezu se zvýší statický tlak v komoře (5) a šoupátko (6) se posune z nulové polohy doprava proti síle šroubové pružiny (7). Otevře se přívod stlačeného vzduchu do pravé komory kyvného pohonu a otevře se odvětví levé komory kyvného pohonu (12). Píst s ozubenou pístnicí se pohybuje doleva a pastorek pohonu otáčí hřídel klapky proti směru hodinových ručiček.

11. Pneumatické proporcionální řízení

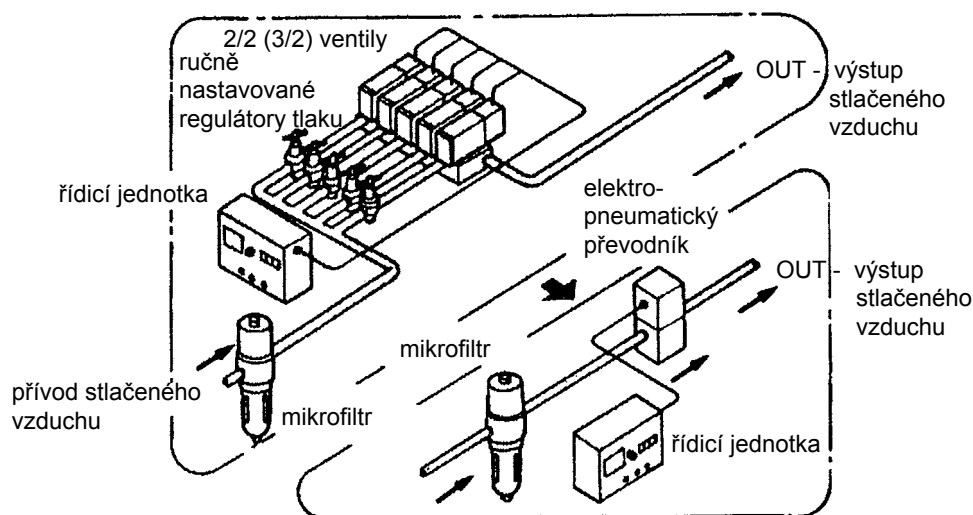
Rotační pohyb výstupní hřídele je vačkou (8), převodní pákou s kladkou (9) a vratnou pružinou (10) přenášen na páku (11). Píst kyvného pohonu (12) se pohybuje tak dlouho, až je dosaženo rovnováhy síly elektromagnetu (1), definované hodnotou elektrického proudu (řídící veličinou w) a síly vratné pružiny (10). Tím se zvětší mezera mezi klapkou (2) a ústím trysky (3) na přívodní hodnotu a šoupátko se zastaví ve výchozí poloze, tj. oba výstupy ze šoupátka ke kyvnému pohonu se uzavřou.

K nastavení výchozí polohy šoupátka (6) slouží šroub (13). K nastavení úhlu otáčení výstupní hřídele kyvného pohonu slouží šroub (14), kterým se mění předpětí vratné pružiny (10).

Elektropneumatické proporcionální převodníky

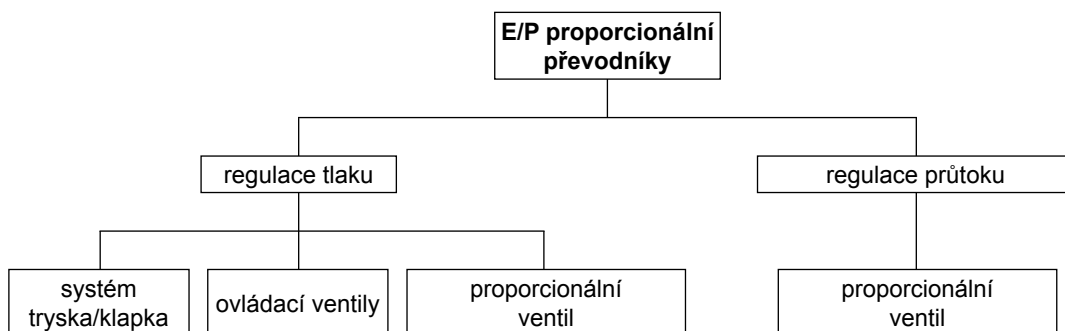
Zařízení, která převádí elektrický signál na vstupu (proud nebo napětí) na výstupu na tlak nebo objem protékajícího média, známe pod názvy elektropneumatické převodníky nebo elektropneumatické proporcionální ventily. Praktické použití je v celé řadě průmyslových oborů a odvětví, jak je zřejmé z obr. 11.24 až 11.28 a obr. 11.43 až 11.45.

Při provozu s měnícími se hodnotami řídicí veličiny w a poruchy z elektropneumatické převodníky zjednodušují regulaci tlaku a objemu protékajícího média. Ve srovnání s vícecestnými analogovými řídicími systémy je jejich použití jednodušší a cenově výhodnější.



Obr. 11.22 a) vícecestné analogové řízení různých výstupních tlaků
b) zjednodušené řešení řízení různých výstupních tlaků použitím E/P převodníku

Použití je určeno pro dvě základní oblasti. Buď se reguluje tlak nebo se reguluje objem protékajícího média. Převod změny elektrického signálu (proudu nebo napětí) na vstupu na změnu tlaku nebo objemu média na výstupu, se realizuje buď systémem tryska/klapka, ovládacími ventily nebo proporcionálním regulačním elektromagnetem.



Obr. 11.23 Přehled elektropneumatických převodníků a principy jejich funkce

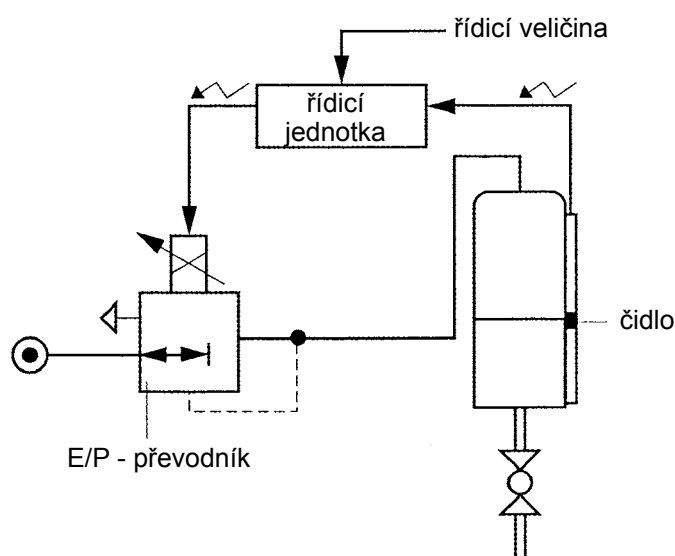
Elektropneumatický převodník pro regulaci tlaku vzduchu

Pro regulaci tlaku vzduchu je možno využít všech tří funkčních principů řízení proporcionálních elektropneumatických převodníků, a to:

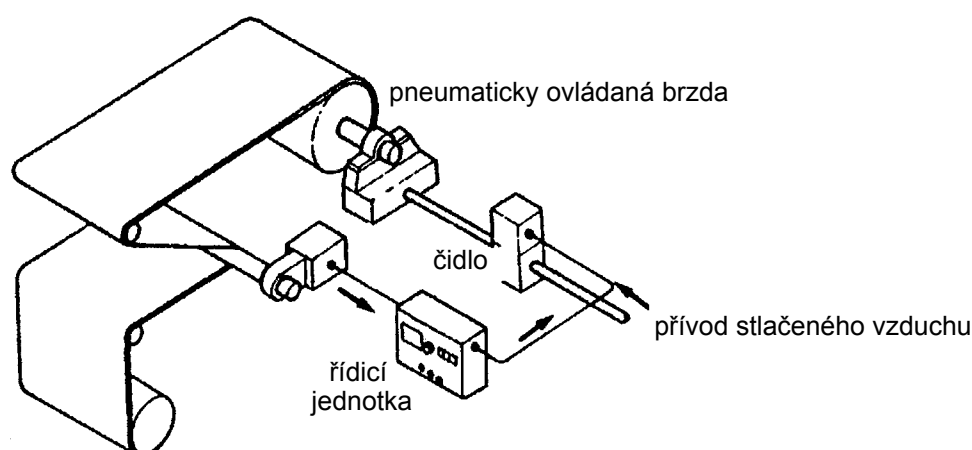
- s tryskou / klapkou
- s ovládacími ventily
- s proporcionálním regulačním elektromagnetem

Dříve než budou funkce jednotlivých principů podrobněji popsány, představí následující obrázky několik typických příkladů proporcionální regulace tlaku v praxi.

Příklady proporcionální regulace tlaku vzduchu

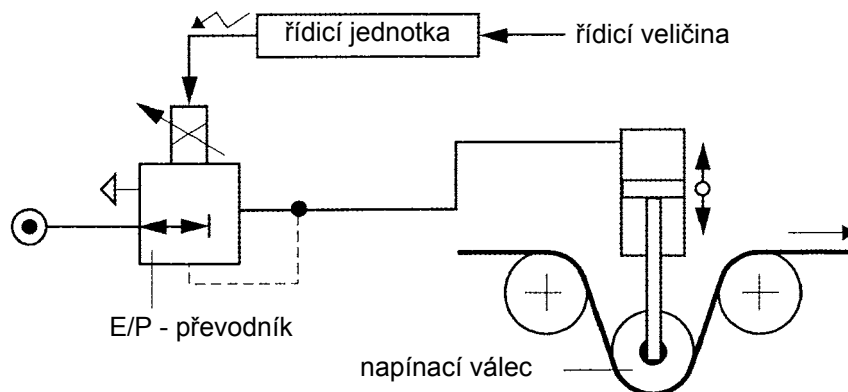


Obr. 11.24 Kompenzace rozdílu hydrostatického tlaku vzniklého poklesem hladiny v zásobníku (např. při plnění nápojů apod.).

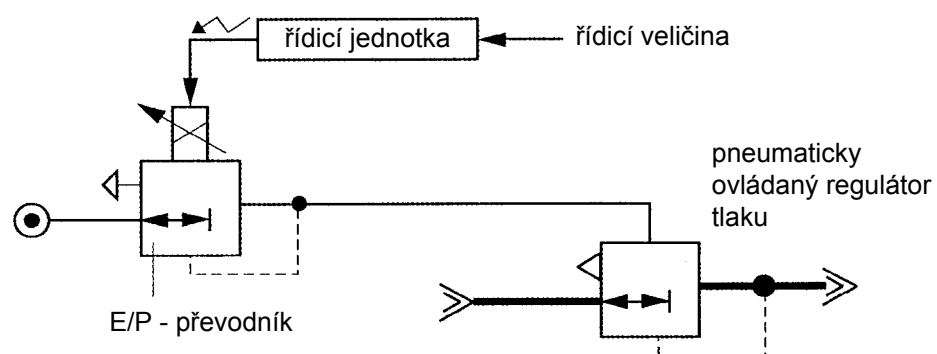


Obr. 11.25 Regulace napětí textilního pásu pneumaticky ovládanou brzdou

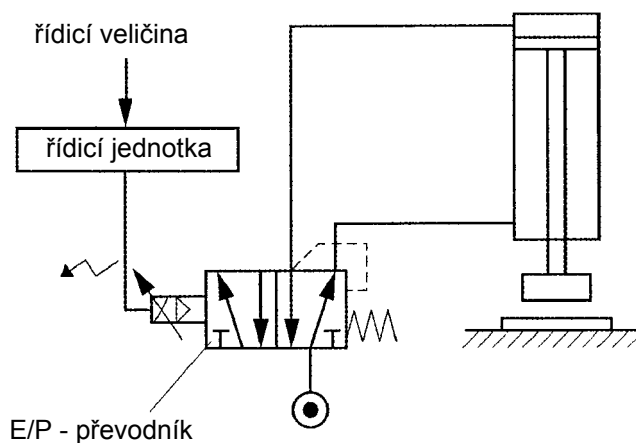
11. Pneumatické proporcionální řízení



Obr. 11.26 Regulace napětí pásu (např. papíru) řízením polohy válce tanečníku



Obr. 11.27 Regulace tlaku při průtoku velkého objemu vzduchu

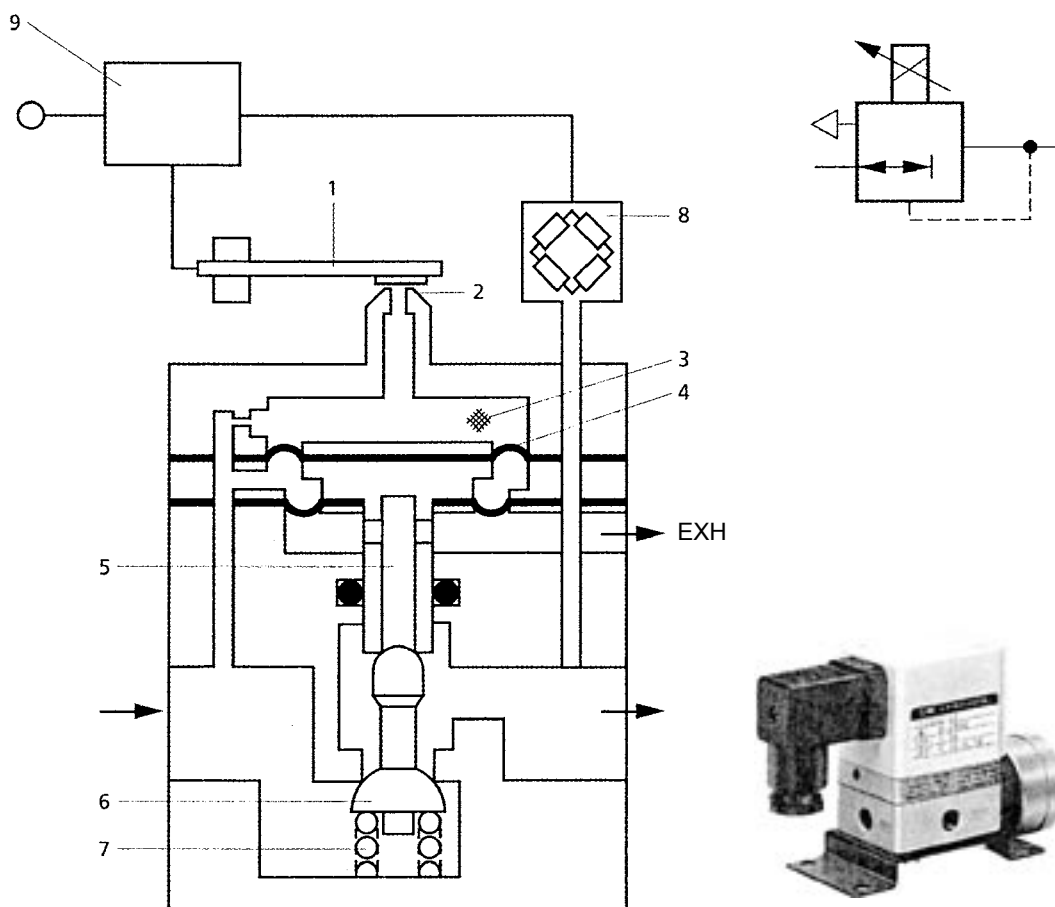


Obr. 11.28 Řízení pohybu pístnice pneumatického válce a plynulá regulace lisovací síly

Elektropneumatický převodník s tryskou/klapkou

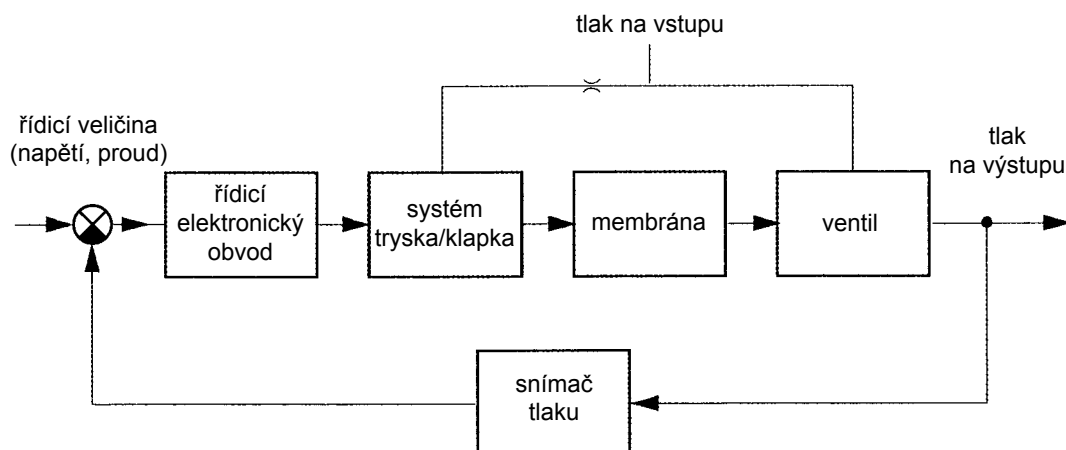
Základním prvkem tohoto principu je dvouvrstvá piezoelektrická destička, která má funkci klapky. Elektrický signál (změna napětí nebo proudu) pro zvýšení tlaku z řídicí jednotky (9) přiblíží klapku (1) k ústí trysky (2). V předkomoře (3) stoupne tlak, který prohne membránu (4) směrem dolů. Uzavře se ventil odvodu vzduchu (5) a hlavní ventil (6) se stlačením proti pružině (7) otevře.

Zvýšení tlaku na výstupu z převodníku je snímáno piezoelektrickým snímačem (8), který tlak převede na elektrický signál, který je přiveden na vstup komparátoru řídicí jednotky (9), ve kterém se porovná hodnota zadané řídicí veličiny se skutečnou hodnotou regulované veličiny. Je-li skutečná hodnota regulované veličiny (tlaku vzduchu) větší než hodnota zadané řídicí veličiny, klapka (1) se oddálí od ústí trysky (2). V předkomoře (3) poklesne tlak vzduchu a membrána (4) se prohne směrem nahoru. Otevře se odvodušňovací ventil (5) a odpuštěním části vzduchu výfukem (EXH) do atmosféry se sníží tlak vzduchu na výstupu na hodnotu, která odpovídá hodnotě zadané řídicí veličiny (např. řídicímu signálu o napětí 5 V odpovídá tlak vzduchu na výstupu $p_2 = 0,3 \text{ MPa}$).



Obr. 11.29 Schéma E/P převodníku s tryskou/klapkou

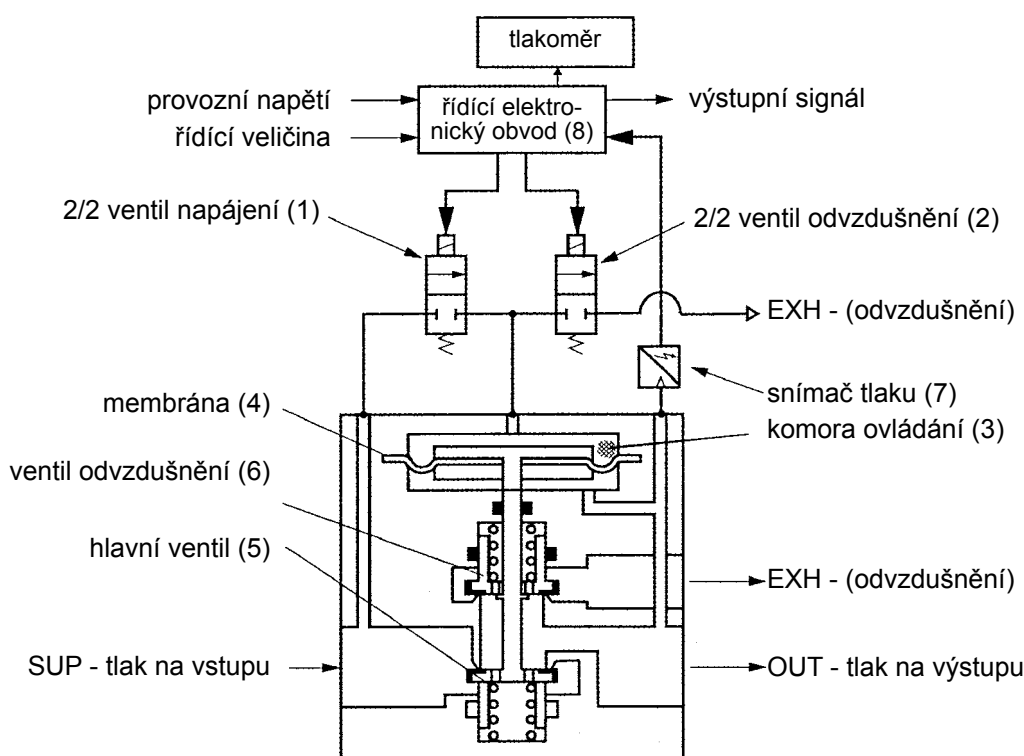
11. Pneumatické proporcionální řízení



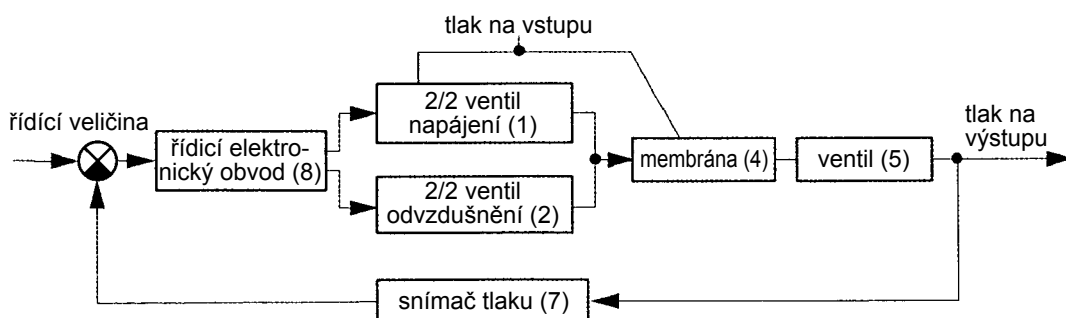
Obr. 11.30 Blokové schéma elektropneumatického převodníku s tryskou/klapkou

Elektropneumatický převodník s ovládacími ventily

Elektrický signál z řídicí jednotky pro zvýšení tlaku aktivuje elektromagnet 2/2 ventilu napájení (1) a současně stlačený vzduch prochází ventilem (1) do komory ovládání (3), ve které stoupne tlak, který prohne membránu (4) směrem dolů a hlavní ventil (5) se otevře. Zvýšení tlaku na výstupu z převodníku převede snímač (7) na elektrický signál, který je přiveden do řídicí jednotky. V řídicí jednotce se porovná hodnota zadané řídicí veličiny se skutečnou hodnotou regulované veličiny, registrovanou snímačem tlaku (7). Odpovídá-li tlak požadované hodnotě, ventil (1) se uzavře. Je-li tlak v obvodu za regulátorem vyšší jak je požadováno, pak se elektrickým signálem z řídicí jednotky (9) otevře 2/2 ventil odvodu (2). Tlak v komoře ovládání (3) poklesne, membrána (4) se prohne směrem nahoru, až se otevře ventil odvodu (6) a část vzduchu se vypustí do kanálu výfuku (EXH), až hodnota tlaku ve výstupním kanálu (OUT) odpovídá požadované hodnotě tlaku.



Obr. 11.31 Schéma E/P převodníku s ovládacími ventily.

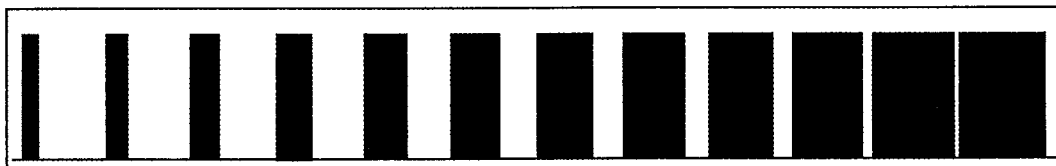


Obr. 11.32 Blokové schéma elektropneumatického převodníku s ovládacími ventily

11. Pneumatické proporcionální řízení

Princip funkce řídicího elektronického obvodu

Řídicí elektronický obvod zabrání překmitnutí regulované soustavy i při rychlé reakci ventilů. Elektromagnety ovládacích 2/2 ventilů napájení a odvzdušnění jsou řízeny tzv. pulzně-šířkovou modulací (PWM) a pulzně-frekvenční modulací (PFM).



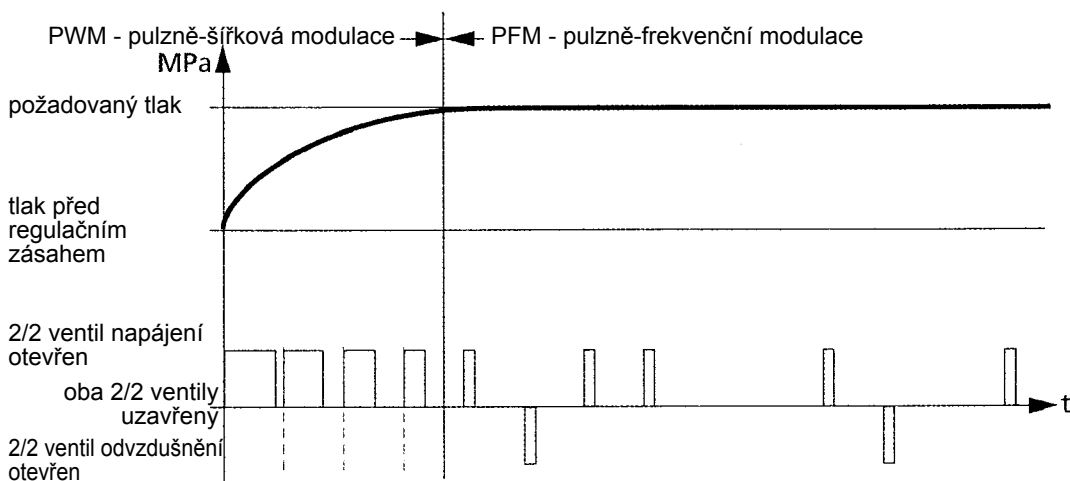
Obr. 11.33 Pulzně-šířková modulace (konstantní frekvence)



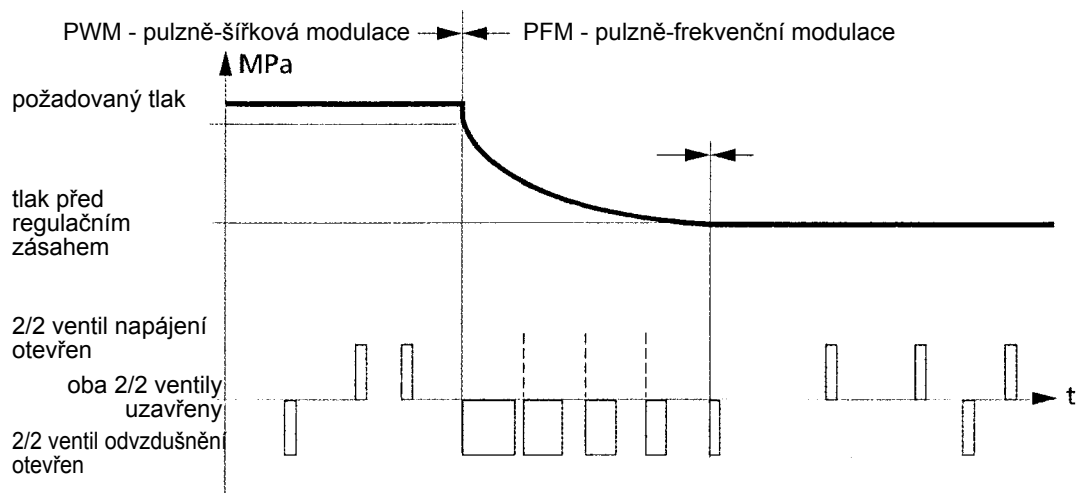
Obr. 11.34 Pulzně-frekvenční modulace (konstantní čas otevření)

Je-li změnou řídicí veličiny - vstupního signálu požadováno zvýšení tlaku vzduchu, pracuje řídicí elektronický obvod v režimu pulzně-šířkové modulace (PWM). Elektromagnet 2/2 ventilu napájení je aktivován a ventil je otevřen v proměnných časových cyklech. Čím více se skutečný tlak blíží k požadovanému tlaku, tím kratší je čas otevření ventilu. Je-li změnou řídicí veličiny - vstupního signálu požadováno snížení tlaku vzduchu, elektromagnet 2/2 ventilu odvzdušnění je aktivován a ventil je otevřen v proměnných časových cyklech.

Krátce před dosažením požadované hodnoty tlaku vzduchu se elektronický řídicí obvod přepne do režimu pulzně-frekvenční modulace (PFM). Elektromagnety obou ventilů jsou aktivovány a oba 2/2 ventily jsou otevřeny v konstantních časových cyklech. Jsou aktivovány pouze při dosažení určitého rozdílu tlaků ($\pm 1\%$ z rozsahu tlaků) mezi požadovanou a skutečnou hodnotou tlaku vzduchu. Je-li rozdíl tlaků větší, pak se elektronický řídicí obvod opět přepne do režimu pulzně-šířkové modulace (PWM).



Obr. 11.35 Zvýšení tlaku vzduchu (skoková změna)



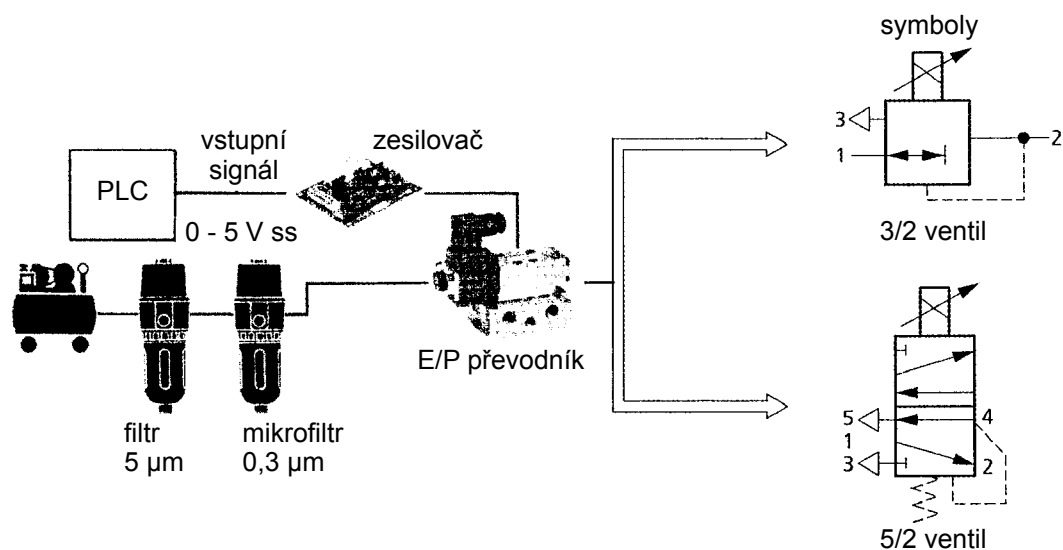
Obr. 11.36 Snížení tlaku vzduchu (skoková změna)

11. Pneumatické proporcionální řízení

Elektropneumatický převodník s proporcionálním ventilem

Elektropneumatické převodníky s proporcionálním ventilem rozdělujeme podle použití do dvou skupin, a to na E/P převodníky pro regulaci tlaku vzduchu a na E/P převodníky pro regulaci průtoku vzduchu. Podle provedení se dále rozlišují E/P převodníky s 2/2, 3/2 a s 5/2 ventily.

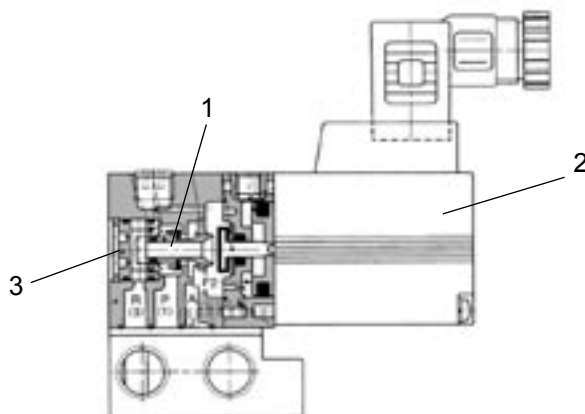
- **Elektropneumatický převodník pro regulaci tlaku vzduchu**



Obr. 11.37 3/2 a 5/2 ventily pro regulaci tlaku vzduchu

Princip funkce:

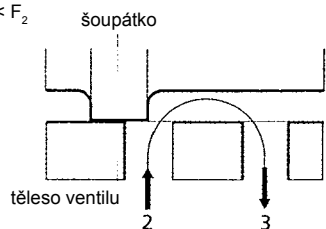
Základem tohoto typu E/P-převodníku je ventil s ocelovým šoupátkem (1), jehož poloha je ovládaná proporcionálním elektromagnetem (2). Aby bylo šoupátko zajištěno v poloze, která odpovídá požadovanému tlaku vzduchu, musí být síly, které na něj působí, tj. síla vyvinutá elektromagnetem proti síle pružiny (3) a tlaku vzduchu, v rovnováze.



Obr. 11.38 Podélný řez E/P-převodníkem, tvořeným proporcionálním elektromagnetem a 3/2 ventilem

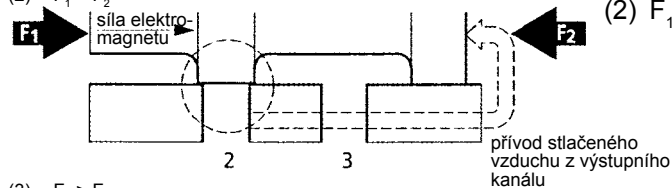
a.) funkce 3/2 ventilu

(1) $F_1 < F_2$



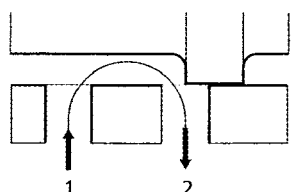
(1) $F_1 < F_2$ výstupní kanál 2 je spojen s kanálem odvodu vzduchu 3 až je dosaženo rovnováhy sil, tj. $F_1 = F_2$

(2) $F_1 = F_2$



(2) $F_1 = F_2$ výstupní kanál 2 je uzavřen, protože bylo dosaženo požadované hodnoty tlaku vzduchu

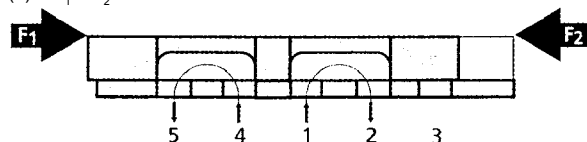
(3) $F_1 > F_2$



(3) $F_1 > F_2$ stlačený vzduch proudí vstupním kanálem 1 do kanálu 2, až je dosaženo rovnováhy sil, tj. $F_1 = F_2$

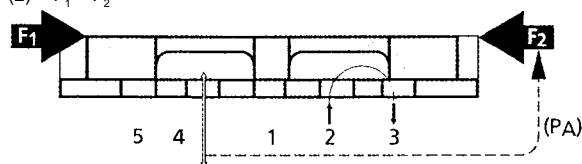
b.) funkce 5/2 ventilu

(1) $F_1 < F_2$



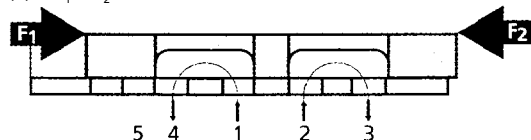
(1) $F_1 < F_2$ stlačený vzduch proudí vstupním kanálem 1 do výstupního kanálu 2. Výstupní kanál 4 je spojen s kanálem odvodu vzduchu 5, až je dosaženo rovnováhy sil, tj. $F_1 > F_2$.

(2) $F_1 = F_2$



(2) $F_1 = F_2$ vstupní kanál 1 a kanály odvodu vzduchu 3 a 5 jsou uzavřeny, protože bylo dosaženo požadované hodnoty tlaku vzduchu

(3) $F_1 > F_2$



(3) $F_1 > F_2$ stlačený vzduch proudí vstupním kanálem 1 do výstupního kanálu 4. Výstupní kanál 2 je spojen s kanálem odvodu vzduchu 3, až je dosaženo rovnováhy sil, tj. $F_1 = F_2$.

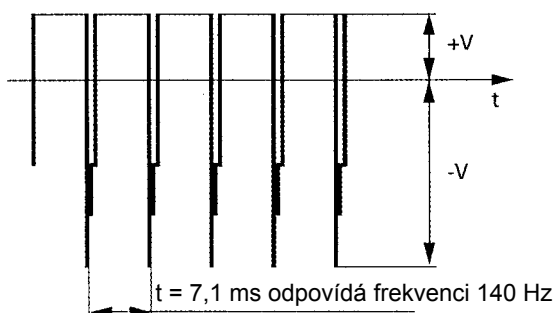
F_1 : síla vyvinutá při průchodu elektrického proudu cívkou proporcionálního elektromagnetu.

F_2 : síla vyvinutá šroubovou pružinou a zpětným tlakem (P_A) na čelo šoupátka

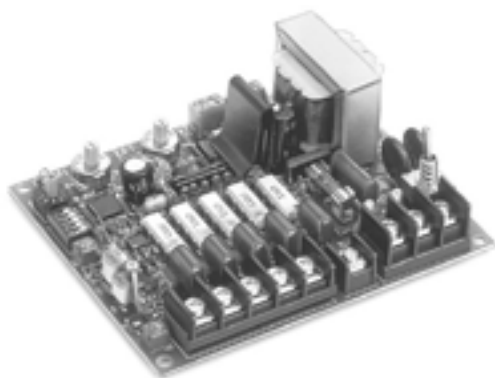
Obr. 11.39 Princip funkce E/P převodníku - (a) s proporcionálním 3/2 ventilem; (b) proporcionálním 5/2 ventilem

11. Pneumatické proporcionální řízení

Přesto, že ocelové šoupátko se pohybuje v ocelovém pouzdře s velmi malým třením, není možné ovládat jeho polohu normálním řídicím signálem. Vstupní signál (řídící veličina w - např. 0 - 10 V ss) se v zesilovači změnil na proudový signál 100 až 750 mA. Kromě toho překrývá obdélníkovým signálem střídavého napětí s malou amplitudou o frekvenci 140 až 170 Hz (tzv. kmitavým signálem - projevuje se bručením) řídicí stejnosměrný signál. Tak je šoupátko uvedeno do kmitavého pohybu, což snižuje statické tření a umožňuje rychlou reakci na vstupní signály a na signály zpětné vazby. Kromě toho se dosahuje nejmenší možné hystereze.



Obr. 11.40 Kmitavý signál zaznamenaný oscilografem

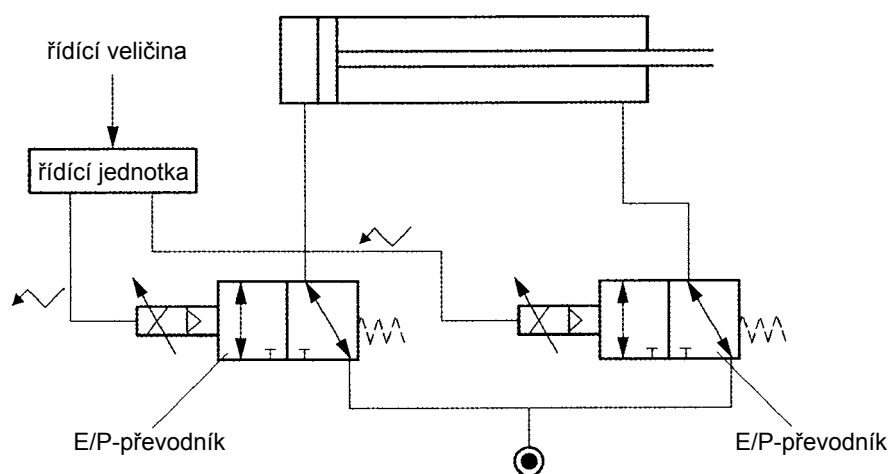


Obr. 11.41 Zesilovač pro generování kmitavého signálu

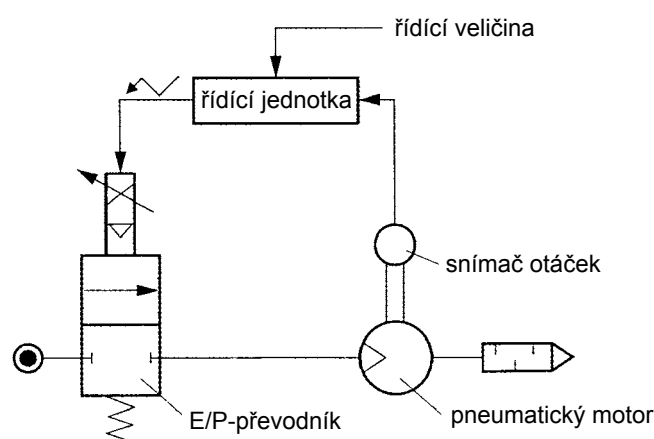
• Elektropneumatický převodník pro regulaci průtoku vzduchu

Elektropneumatické převodníky pracující na tomto principu se používají k řízení směru a k regulaci rychlosti pneumatických pohonů (např. pneumatických válců, kyvných pohonů atd.), k řízení otáček rotačních pneumatických motorů, nebo k regulaci množství vzduchu, přiváděného do trysek (např. zařízení lakoven, chladicích systémů atd.).

Příklady regulace průtoku

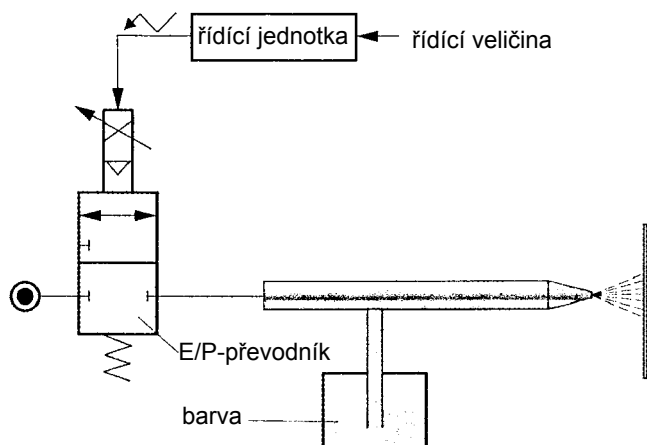


Obr. 11.42 Řízení směru a regulace rychlosti pohybu pístnice pneumatického válce



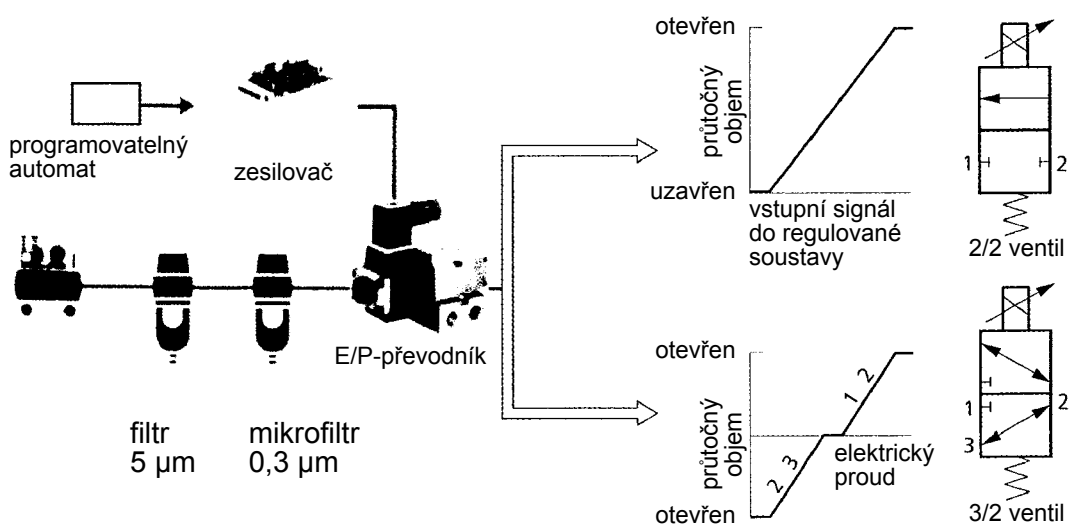
Obr. 11.43 Řízení otáček pneumatického motoru

11. Pneumatické proporcionální řízení



Obr. 11.44 Regulace množství barvy

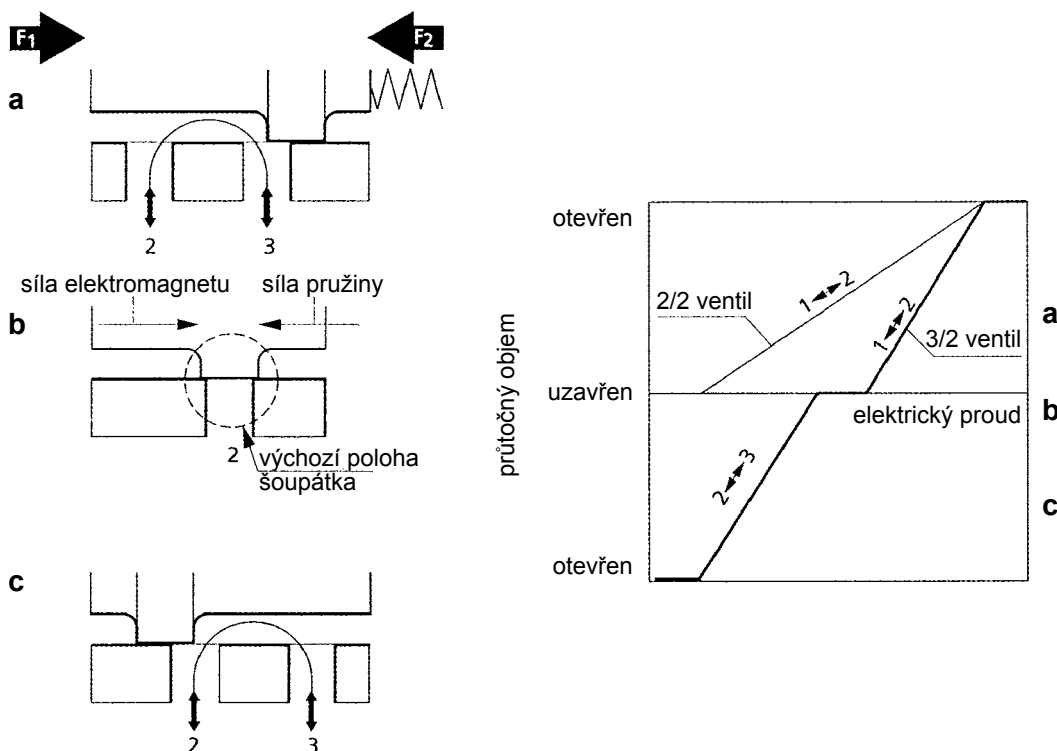
U elektropneumatických převodníků pro regulaci průtoku množství stlačeného vzduchu můžete volit mezi 2/2 proporčním ventilem a 3/2 proporčním ventilem.



Obr. 11.45 Oblasti použití proporčních 2/2 a 3/2 ventilů

Princip funkce

Princip funkce elektropneumatického převodníku k řízení průtoku vzduchu je téměř shodný s funkcí elektropneumatického převodníku s proporcionálním elektromagnetem pro regulaci tlaku vzduchu. Liší se tím, že nemá zpětnou vazbu výstupního tlaku na polohu šoupátka, takže regulační smyčka není uzavřená. Proto průtočný objem není regulován, ale řízen. Dodatečnou instalací průtokoměru do výstupního potrubí a externího komparátoru je možno realizovat regulaci průtočného objemu stlačeného vzduchu (viz obr. 11.20).



- a) $F_1 > F_2$ zvětšením síly F_1 se zvětší průřez kanálu přívodu stlačeného vzduchu **1** a kanálu výstupu **2**.
- b) $F_1 = F_2$ průřez kanálu výstupu **2** je uzavřen: 2/2 ventil není řízen
3/2 ventil zůstává ve střední poloze
- c) $F_1 < F_2$ 3/2 ventil: zmenšením síly F_1 se zvětší průřez kanálu výstupu **2** a kanálu odvodu **3**

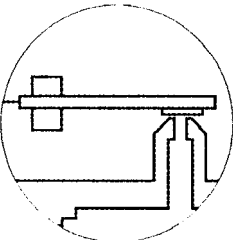
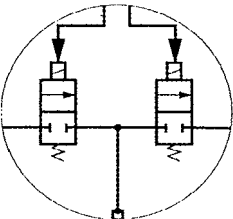
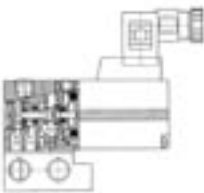
F_1 : síla vyvinutá při průchodu elektrického proudu cívkou proporcionálního ventilu

F_2 : síla vyvinutá šroubovou pružinou na čelo šoupátka

Obr. 11.46 Princip funkce E/P převodníku - (a) s proporcionálním 2/2 ventilem; (b) s proporcionálním 3/2 ventilem

11. Pneumatické proporcionální řízení

Přehled různých elektropneumatických proporcionálních regulačních systémů

princip	přednosti	nedostatky
tryska/klapka 	<ul style="list-style-type: none"> - téměř nepodléhá opotřebení - velmi dobrá regulační charakteristika 	<ul style="list-style-type: none"> - vlastní spotřeba vzduchu až 16 l/min - slyšitelný unikající vzduch - je možno použít pouze nepřímazávaný stlačený vzduch - rozkmitání obvodu při dynamických změnách - možné přeregulování (PI-regulátor)
ovládací ventily 	<ul style="list-style-type: none"> - velmi malá vlastní spotřeba vzduchu - velmi dobrá regulační charakteristika - rychlá odezva na řídicí signál - přeregulování lze téměř vyloučit 	<ul style="list-style-type: none"> - omezená životnost ovládacích ventilů - je možno použít pouze nepřímazávaný stlačený vzduch
proporcionální ventil 	<ul style="list-style-type: none"> - velmi malá vlastní spotřeba vzduchu - téměř nepodléhá opotřebení - je možné použít přímazávaný vzduch - rychlá odezva na řídicí signál - dobrá regulační charakteristika 	<ul style="list-style-type: none"> - trvale slyšitelné „bručení“ magnetu - je nutný elektronický modul pro řízení elektromagnetu

Tabulka 11.47 Přehled různých principů proporcionálních regulačních systémů