VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PŘEHLED AKTUÁTORŮ PRO TESTOVÁNÍ ELEKTRICKÝCH OVLÁDACÍCH PRVKŮ
REVIEW OF ACTUATORS FOR TESTING ELECTRICAL CONTROL ELEMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Martin Pabiška
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Martin Pabiška**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	**Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.**
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Přehled aktuátorů pro testování elektrických ovládacích prvků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce bude provést rešeršní studii aktuátorů použitelných pro automatické testování elektrických ovládacích prvků a jejich funkce v zařízeních, ve kterých jsou použity. Mnohé produkty musí být na konci svého výrobního cyklu otestovány, aby se ověřila jejich správná činnost. V rámci testování v automobilovém nebo leteckém průmyslu je často potřeba simulovat interakci obsluhy se zařízením ve formě stlačení ovládacích prvků. Cílem této práce bude provést rešeršní studii aktuátorů použitelných pro tyto aplikace. Automatické testování často probíhá v testovacích komorách, kde jsou zkoušená zařízení vystavena tepelnému a mechanickému namáhání.

Cíle bakalářské práce:

Provedení rešeršní studie automatického testování ovládacích prvků a jejich funkce.
Provedení rešeršní studie aktuátorů pro testování elektrických ovládacích prvků
Provedení srovnání a vyhodnocení výstupů rešeršních studií.

Seznam doporučené literatury:

ŠMEJKAL, Ladislav. PLC a automatizace. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.

SROVNAL, Vilém. Elektrotechnická měření: měřicí přístroje : pro SPŠ elektrotechnické. Praha: Informatorium, 2008. ISBN 978-80-7333-062-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 4. 11. 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
DĚKANÁT
L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

V této práci je zaměřeno na rozdělení aktuátorů vhodných pro automatické testování elektrických ovládacích prvků. Bude proveden přehled o testování funkčnosti vybraných ovládacích prvků se zhodnocením obou probraných rešerší.

ABSTRACT

The thesis is focused on review of aktuators which are relevant for automatic testing of electric handling elements. There will be demonstrated overview regarding the testing of function selected handling elements with evaluation of both discussed topics.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přehled aktuátorů, automatické testování, pneumatické aktuátory, hydraulické aktuátory, elektrické aktuátory.

KEYWORDS

Summary of aktuators, automatic testing, pneumatic aktuators, hydraulic aktuators, elektric actuators.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PABIŠKA, M. *Přehled aktuátorů pro testování elektrických ovládacích prvků,* Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 53 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Ondřeji Andršovi PhD. za možnost zpracovat toto zajímavé téma. Dále patří díky mým kolegům z SMC Industrial Automatization s.r.o. za věcné připomínky.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Andrše PhD. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.5.2019 ……

Pabiška Martin

OBSAH

1 ÚVOD 15

2 MOTIVACE 17

3 REŠERŠE AKTUÁTORŮ PRO TESTOVÁNÍ ELEKTRICKÝCH OVLÁDACÍCH PRVKŮ 18

3.1 Rozdělení aktuátorů 18
3.2 Pneumatické aktuátory 18
3.2.1 Vlastnosti stlačeného vzduchu 19
3.2.2 Řízení pneumatických aktuátorů 19
3.2.3 Lineární aktuátory – pístnicové 20
3.2.4 Lineární aktuátory – bezpístnicové 25
3.2.5 Kyvné aktuátory 26
3.3 Hydraulické aktuátory 27
3.3.1 Vlastnosti hydraulického oleje 27
3.3.2 Řízení hydraulických aktuátorů 27
3.3.3 Lineární hydraulické aktuátory 28
3.4 Elektrické aktuátory 29
3.4.1 Elektromotory aktuátorů 29
3.4.2 Servopohon 31
3.4.3 Stavba lineárních elektrických aktuátorů 31
3.4.4 Elektrické kyvné aktuátory 33

4 REŠERŠE AUTOMATICKÉHO TESTOVÁNÍ OVLÁDACÍCH PRVKŮ A JEJICH FUNKCE 34

4.1 Způsoby automatického řízení 34
4.2 Prostředky v automatizaci 35
4.2.1 Prostředky pro získávání informace 35
4.2.2 Přenos, transformace signálů a řízení aktuátorů 36
4.3 Rozdělení ovládacích prvků 37
4.4 Testování funkčnosti ovládacích prvků 38
4.4.1 Výstupní kontrola 38
4.4.2 Testování elektrických veličin 39
4.4.3 Testování mechanických veličin 39
4.5 Aktuátory pro testování elektrických ovládacích prvků 40
4.5.1 Ovládání otáčením 41
4.5.2 Ovládání stisknutím 41
4.5.3 Ovládání změnou polohy 41
4.5.4 Ovládání pákou a pedálem 41
4.6 Firmy zabývající se výrobou a prodejem aktuátorů 41

5 POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ REŠERŠNÍCH ČÁSTÍ 42

6 ZÁVĚR 45

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 47

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULE 51

8.1 Seznam obrázků 51

1 ÚVOD

V této práce budou probrány ty aktuátory, které by mohli být vhodné pro testování elektrických ovládacích prvků, které je prováděno automaticky. Nejdříve bude proveden přehled aktuátorů, popis jejich funkcí, z čeho se skládají, na jakých principech fungují, jakým způsobem se řídí jejich pohyb. Mimo jiné bude uvedeno, v jakých přesnostech polohování se dokáží přemisťovat a jaké jsou jejich přednosti, či nedostatky

V další části budou aktuátory přivedeny do kontextu s automatizací. Při testování je potřeba získat informaci, která bude přenesena, upravena, či transformována a donesena k vyhodnocení. Provede se rešeršní studie současných trendů v automatizaci a představeno několik typů značek automatizačních prostředků

Aby bylo možné volit vhodný typ aktuátoru, bude třeba si představit cílové komponenty s kterými bude manipulováno. Zvoleno je několik jednoduchých elektrických ovládacích prvků, na kterých je možno demonstrovat kritéria při výběr aktuátorů.

2 MOTIVACE

V dnešní době, kdy je čím dál větší tlak na firmy, aby produkovali svoje produkty rychleji, levněji a v neposlední řadě v dostatečné kvalitě, se před několika lety v roce 2013 v Hannoveru objevil pojem Industry 4.0. Toto pojmenování čtvrté generace průmyslu spočívá v tom, že všechny operace v procesu budou nahrazeny na dálku programovatelnými roboty, nebo automatizovanými řídícími systémy. V praxi by to pak mělo vypadat tak, že si zákazník objedná svůj produkt a systém firmy automaticky vygeneruje výrobní zakázku, automaticky se produkt obrobí, smontuje a následně zkontroluje jeho správné rozměry délkové, geometrické a také jeho správnou funkčnost podle použití. [20]

V této práci se budeme věnovat rozdělení aktuátorů a posléze vybereme vhodné akční členy k automatickému testování. Naším produktem budou elektrické ovládací prvky, kde se budeme snažit zkontrolovat jejich správnou funkčnost. Nejčastějším zákazníkem je automobilový a letecký průmysl, protože je regulován stále komplikovanějšími předpisy pro kvalitu, spolehlivost a bezpečnost. Provedeme průřez trhem a aktuálními nabídkami výrobců aktuátorů.

3 REŠERŠE AKTUÁTORŮ PRO TESTOVÁNÍ ELEKTRICKÝCH OVLÁDACÍCH PRVKŮ

Aktuátory se jinak nazývají akční členy, myšleny jsou tím všechny prvky, které provádějí fyzickou akci. Většinou se jedná o pohony, které obsahují i další prvky, aby se dostatečně dosáhlo požadovaných akcí.[2] Dalšími prvky jsou:

- Prvky pro zpětnou vazbu – snímače, enkodéry
- Výkonový zesilovač – při elektrickém řízení
- Ruční ovladač – drivery, kontrolery

Pohony obsahují tzv motorickou jednotku, která je zodpovědná právě za pohyb aktuátoru. Nejedená se pouze o elektromotory, ale i o pneumotory a hydromotory. Aktuátory mohou sloužit jako ovládání celých systémů (obráběcí stroje, měřící stroje, manipulační technika, apod), jako regulační orgán (nastavení průtoku vzduchu v klimatizaci podle teploty), nebo pro různé speciální aplikace.[2]

3.1 Rozdělení aktuátorů

Za nejdominantnější rozdělení se bere dle druhu energie neboli podle druhu přenosu signálu. Další rozdělení se už úzce váže k různým druhům energií.

3.2 Pneumatické aktuátory

Práci v tomto druhu energie tvoří vzduch, níže je popsáno několik vlastností vzduchu jako médium v pneumatickém systému.

- Většina firem vlastní v menším nebo větším množství kompresory
- Není problém se skladováním většího množství vzduchu
- Jednoduchá konstrukce dovoluje sestavení jednoduchých funkčních obvodů
- Pokud je do systému přivádět čistý vzduch je aplikace přívětivá k životnímu prostředí
- Pneumatické pohony jsou vhodné pro výbušné prostředí

Výhody pneumatických aktuátorů:

- Možnost rozvodu na delší vzdálenosti
- Rychlé pohyby
- Snadná regulace

Nevýhody pneumatických aktuátorů:

- Omezená síla
- Problematické dosažení pomalých a plynulých pohybů
- Minimálně, nebo bez schopnosti zastavit v mezi polohách

3.2.1 Vlastnosti stlačeného vzduchu

Bylo zjištěno, že 90 % všech poruch pneumatických pohonů a jejich prvků bylo způsobeno nedostatečnou, nebo nesprávnou úpravou stlačeného vzduchu. Proto je nutné odstranit a připravit stlačený vzduch před vpuštěním do pohonu všech nečistot, kondenzátů, ale i tlaku.[3]

Při rychlém pohybu pístu v pneumatických pohonech dochází k rychlým změnám teploty. Při stlačení vzduchu dochází k zvýšení teploty a při expanzi ke snížení teploty. Změny teplot mohou být extrémní, v řádech desítek stupňů. Může tak v některých situacích docházet k zamrznutí zkondenzované vody a tím ke snížení, či zastavení funkce pneumatického pohonu. Tento jev se kompenzuje přidáním prvků, které zbaví pneumatický obvod kondenzátu. [3]

Chladič – při ochlazení z vyšších teplot dojde ke kondenzaci vody, chladič dokáže zachytit až 70% vlhkosti, která se ve formě kondenzátu automaticky z chladiče vypouští. Mezi další prvky odstraňující vlhkost jsou: Absorpční vysoušeče, adsorpční vysoušeče, kondenzační vysoušeč a molekulární vysoušeč. Zařazuje se bezprostředně za kompresor. [3]

Základní filtr – tento filtr odstraňuje mechanické nečistoty do velikosti 5μm a zbylou vodní páru, kterou nezachytil chladič, nebo vysoušeče. Mikrofiltr slouží k odstranění nečistot větších velikosti 0,3μm a odstranění oleje ve formě aerosolu. Nejjemnějším filtrem je tzv submikrofiltr, který odstraní nečistoty větší jak 0,01μm a odstraní 99,99% oleje. Posledním speciálním filtrem je filtr, který obsahuje aktivní uhlí. Přidáním tohoto filtru se docílí odstranění pachů, které jsou nežádoucí zejména v chemickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu. Kvalitu stlačeného vzduchu blíže definuje norma ČSN ISO 8573-1-2010.[3]

Standardní regulátor – v primárním okruhu (tvorba a rozvod stlačeného vzduchu) dochází k výkyvům tlaku, proto se vytvoří sekundární okruh (pracovní prostředí – pneumatický aktuátor). Tyto okruhy jsou oddělené regulátorem, od kterého se požaduje, aby zajistil konstantní velikost tlaku. Konstrukce regulátorů jsou především pístové, nebo membránové.[3]

3.2.2 Řízení pneumatických aktuátorů

K ovládání a řízení pneumatických aktuátorů se používají tzv ventily. Ventily umožňují měnit směr proudění vzduchu, dělí jej nebo zavírají. Dle normy ISO 1219 jsou ventily rozděleny do základních skupin.[3]

- Ventily pro řízení směru proudu vzduchu – propojují, mění směr, zavírají, otevírají
- Ventily pro uzavření proudu vzduchu – pro logické operace
- Ventily pro řízení tlaku vzduchu – změna vyvozené síly pneumatického pohonu
- Ventily pro řízení průtoku vzduchu – pro změnu rychlosti pneumatického aktuátoru

Tyto ventily mohou být provedeny ve dvou různých provedení. Prvním je monostabilní ventil, když k němu přestane přivádět signál, automaticky se vrátí do původní polohy. Druhým je bistabilní ventil, který po odpojení signálu zůstává stále na místě. Aby se vrátil do původní pozice, je nutné přivést další signál ke změně polohy.[3]

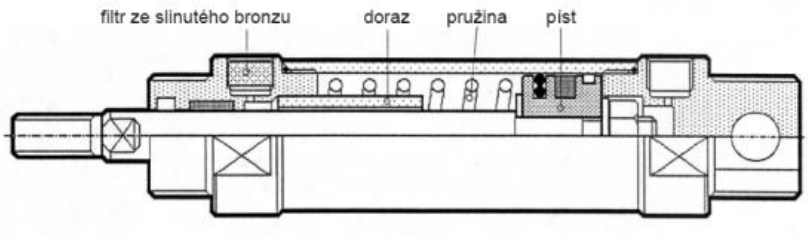
Je tedy zřejmé, že alfou a omegou ovládání pneumatických aktuátorů je ovládání ventilů. Celky ventilů pro ovládání jednoho či více pneumatických aktuátorů se nazývá ventilový blok.[3]

Řízení může být dle binárního signálu nespojité (dvoupolohové 0/1) i tzv proporcionální neboli spojité. Druhý způsob řízení je vhodný pro rychlou změnu tlaku, ale i množství vzduchu přivedeného do aktuátoru. Využívá se zejména v regulačních obvodech.[3]

3.2.3 Lineární aktuátory – pístnicové

Jednočinné válce

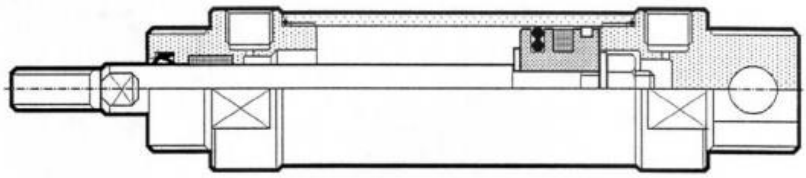
Tlak stlačeného vzduchu působí pouze jedním směrem. Můžou být v klidovém stavu s pístnicí vysunutou, nebo zasunutou. Do klidové polohy píst s pístnicí vrací pružina. [3]



Obr. 1) Jednočinný pneumatický válec [21]

Dvojčinné válce

Tlak stlačeného vzduchu zde působí střídavě v obou směrech. Tyto pneumatické válce tedy mohou konat práci při vysunutí i zasunutí pístnice s pístnicí. [3]



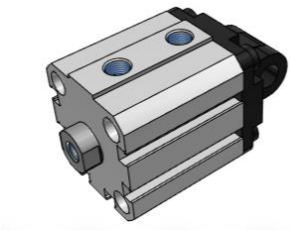
Obr. 2) Dvojčinný pneumatický válec [21]

Lineární pohony dle norem ISO

Lineární pohony jsou z části tvořeny tzv dle normy ISO. Slouží to zejména k unifikaci pneumatických aktuátorů. Výrobci mají tedy danou předlohu, podle kterých vyrábí tyto aktuátory. [3]

Válce dle normy ISO 21287

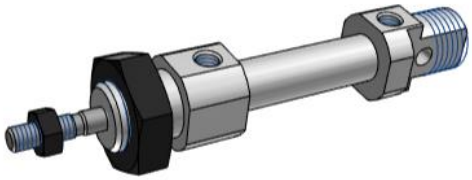
Jedná se o kompaktní válce o malém zdvihu. Předností je také dlouhá životnost. Tlumení probíhá díky elastomerovému tlumení. [3]



Obr. 3) Pneumatický válec dle normy ISO 21287 [22]

Válce dle normy ISO 6432

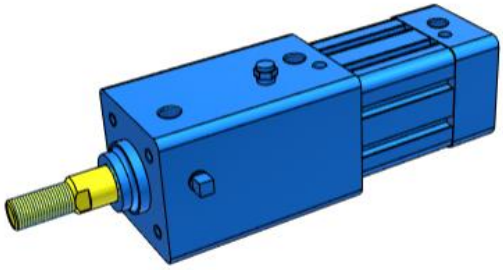
Válce, které pracují s menšími silami. Jsou vhodné do prašného prostředí. Mohou být s tlumením vzduchovým i elastomerovým.[3]



Obr. 4) Pneumatický válec dle normy ISO 6432 [23]

Válce dle normy ISO 6431

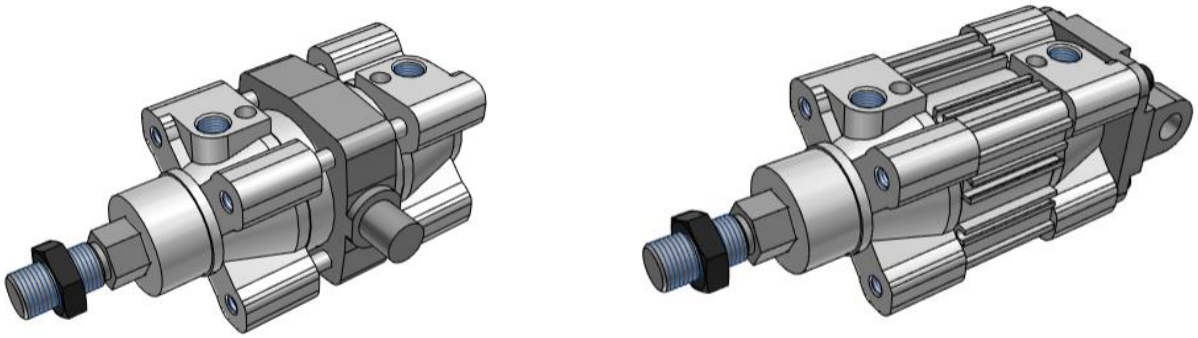
Tyto válce jsou vhodné pro větší síly a delší zdvihy. Dělají se ve dvou provedení, kdy jedno má tělo hranaté a s kulatým tělem. Tento typ má již tlumení v koncových polohách vždy vzduchové a nastavitelné.[3]



Obr. 5) Pneumatický válec dle normy ISO 6431 [24]

Válce dle normy ISO 15552

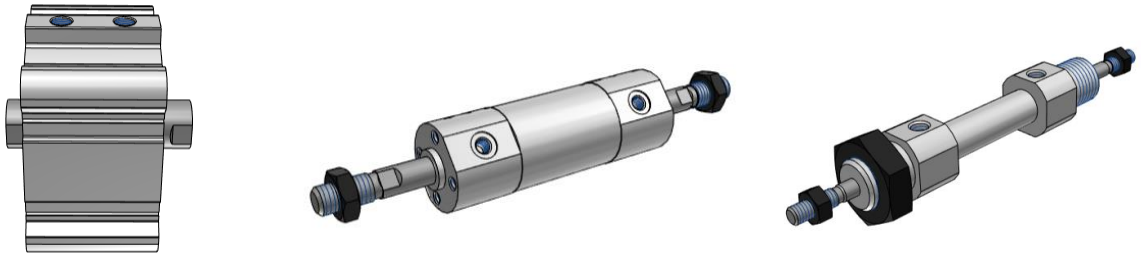
Jsou podobné jako dle normy ISO 6431, ovšem byly zde provedeny zásahy pro snížení hmotnosti, navíc bylo k vzduchovému tlumení přidáno elastomerové tlumení pro snížení hlučnosti při dosažení koncových poloh. Hranaté tělo má možnost upevnění snímačů polohy a kulaté tělo může mít namontované příslušenství pro kyvné uložení.[3]



Obr. 6) a) Válec s kulatým tělem [25] b) Válec s hranatým tělem [26]

Válce s průchozí pístnicí

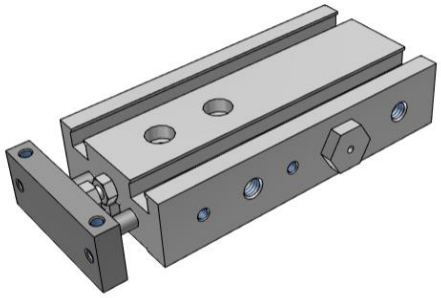
V některých aplikacích není třeba pořizovat dva pohony, ale stačí pouze jeden, který má průchozí pístnici. Tyto pohony mohou vykonávat práci na obou stranách.



Obr. 7) Ukázka pneumatických válců s průchozí pístnicí [27] [28] [29]

Se dvěma písty

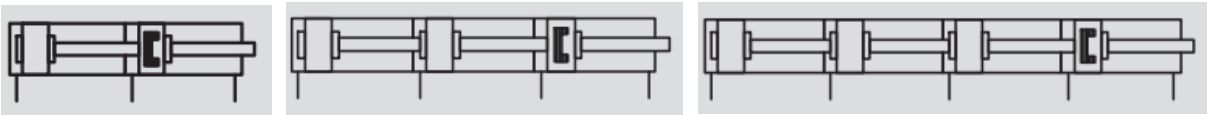
Jedná se spojení dvou válců v jeden, kde jsou pístnice spojeny deskou, aby měly společné působiště, ačkoliv válce pracují paralelně. [3]



Obr. 8) Pneumatický válec se dvěma písty [30]

Tandem

Spojením dvou válců za sebou tzv v sérii vznikne tandemový válec. Oba takto spojené válce mají společnou pístnici. Když dopravíme v jednom směru stlačený vzduch do obou portů válců, vyvine tandemový válec bezmála dvojnásobnou sílu. Do tandemu se může dát libovolný počet válců. Důvodem je převážně vyvinutí vyšších sil. [3]



Obr. 9) Dva až čtyři pneumatické válce v tandemu [36]

Vícepolohové

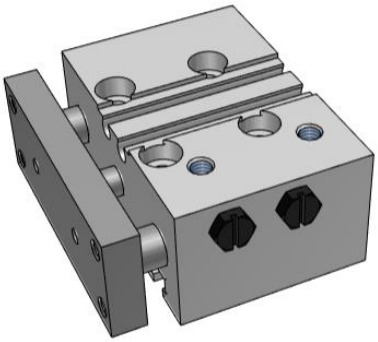
Běžně dosahujeme u pneumatických aktuátorů pouze dvou poloh – zasunuto x vysunuto. Více poloh můžeme docílit spojením dvou válců s jiným zdvihem a nespolečnou pístnicí. Dosáhneme tak až čtyř poloh. [3]

Se zajištěním pístnice proti pootočení

Rotační pístnice se mohou volně otáčet kolem své osy. Pokud si aplikace vyžaduje, aby se pístnice neotáčela, použijeme pístnici ve tvaru šestihranu, nebo oválu. K tomu je nutné přizpůsobit tvar pístnicového těsnění. Výrobce poté udává, jaký moment je hraniční k protočení pístnice v těsnění, tedy narušení těsnosti a ukončení funkčnosti aktuátoru. [3]

S přesným vedením

Tyto aktuátory jsou doplněny vodícími tyčemi. Tyto vodící tyče jsou uloženy buď kluzně, které je vhodné pro standardní aplikace, dalším uložení může být valivé, zde je již menší tření a přesnější vedení pomáhá přesněji a s velkou stabilitou vykonávat větší síly. [3]



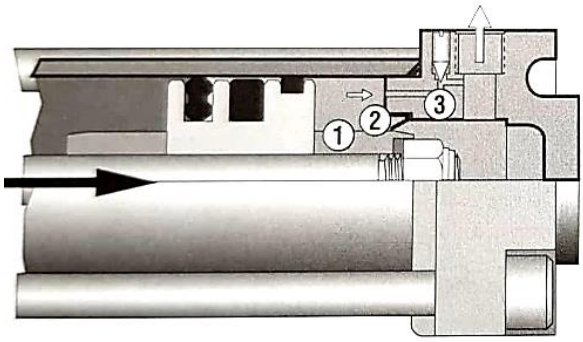
Obr. 10) Pneumatický válec s přesným vedením. [31]

Se zajištěním polohy pístnice

Na čele pohonu, kde se vysouvá pístnice je přimontována kleština, která je ovládána stlačeným vzduchem, nebo pružinou. [3]

Tlumení v koncových polohách

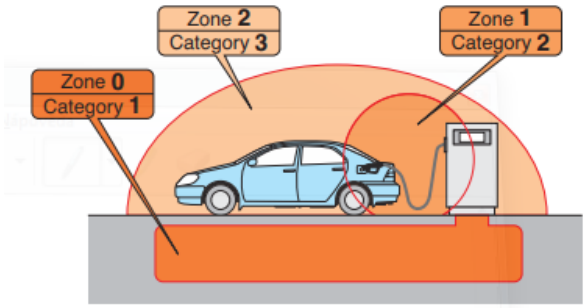
Při pohybu pneumatických aktuátorů může docházet k velkým kinetickým silám. K absorbování těchto sil se nejčastěji používají tři způsoby a jejich vzájemná kombinace. Prvním s nich je elastomerové tlumení, které brání nárazu kov na kov, obsahuje podélné drážky, díky kterým dojede píst do konce polohy dynamicky a jemně. Druhým způsobem tlumení je vzduchové. Toto tlumení pracuje na principu vzduchového škrcení a tím vytvoření tzv polštáře, podrobnější popis funkce je na obrázku 11). Při zasouvání 1 do těsnění 2 je vzduch tlačen alternativní cestou, kde je průtok vzduchu regulován jehlou 3. Výše uvedení tlumení jsou součástí aktuátorů. Dalším způsobem, jak lze tlumit kinetickou energii v koncových polohách je hydraulický tlumič. Jeho hlavní výhodou je konstantní tlumící účinek po celou dobu tlumení, který se dá označit za ideální tlumící vlastnost. [3]



Obr. 11) Princip funkce vzduchového tlumení [3]

Do výbušného prostředí

Aktuátory, které jsou navrhnuté a splňují směrnici 2014/34/EU, která je lépe známá pod názvem ATEXová směrnice jsou schopné předcházet tvorbě statické elektřiny, ohni, horkých míst, ionizačnímu záření, tvorbě jisker, optickému záření a chemickým hořlavým látkám. Tuto směrnici musí tudíž splňovat všechny prvky v pneumatickém obvodu vystavený výbušnému prostředí, jako jsou ventilové bloky, aktuátory a regulátory. Závažnost a míra výbušného prostředí je rozdělen do tří zón a tří kategorií. [6] Pro lepší představu je přiložen obrázek 12).



Obr. 12) Přehled kategorií a zón výbušného prostředí [6]

Mazivo

Pro hladký pohyb uvnitř aktuátoru, kdy dochází ke tření pístního těsnění o tubu je potřeba nanést vazelínu. Při vysouvání pístnice dochází ke stírání maziva pístnicovým těsněním. Existuje několik typů maziv ve formě vazelíny, a to podle prostředí ve kterém se aktuátor používá, nebo jakým způsobem aktuátor pracuje. Zajímavým faktem je to, že po přidání určitého množství maziva v průběhu montáže výrobcem již poté není potřeba za celou životnost aktuátoru přimazávat. [3]

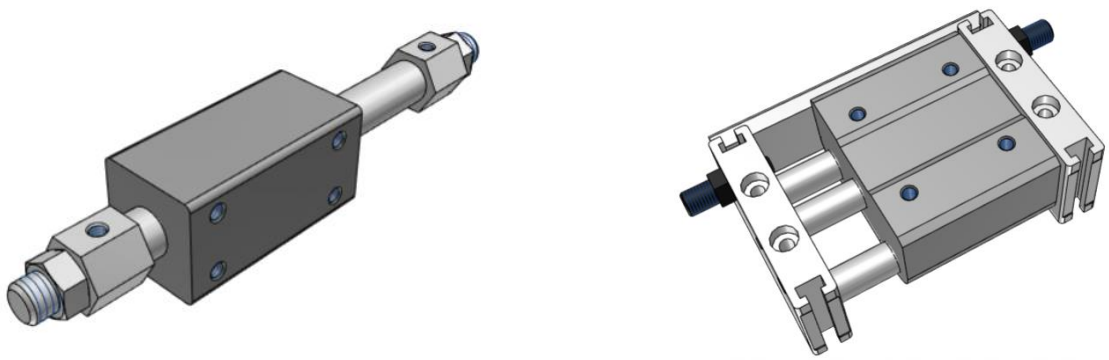
- Standardní vazelína
- Vazelína do vysokých teplot – až 160 °C
- Vazelína pro pomaloběžné aktuátory – až 0,3 mm/s
- Vazelína do potravinářského průmyslu – jedlé
- Vazelína do nízkých teplot – až -40 °C

3.2.4 Lineární aktuátory – bezpístnicové

Hlavní předností bezpístnicových lineárních aktuátorů je menší zástavný prostor, protože při vysouvání pístnice se celkový délka aktuátoru roste dle velikosti zdvihu, bezpístnicové mají stále stejnou délku. [3]

S magnetickým přenosem síly

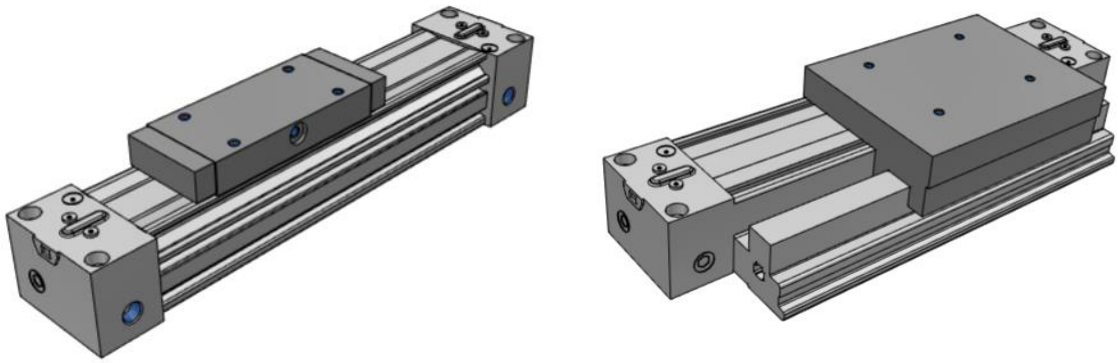
Na pístu jsou v sestavě přidány permanentní magnety, které jsou ve vzájemném působení s permanentními magnety vozíku. Magnety jsou tak silné, aby dostatečně podržely spojení i při maximální zátěži. K těmto aktuátorům lze přidat vodící tyče. Zde je velmi důležité tlumení v koncových tlumení, standardně je vzduchové, protože při kinetickém působení může dojít k odtržení magnetů a tím k poškození válce. Standardní provedení je na obrázku 13a). Přidáním vodících tyčí je vhodné přidat i hydraulický tlumič viz obrázek 13b). [3]



Obr. 13) a) S magnetickým přenosem síly [32] b) S magnetickým přenosem síly s vodícími tyčemi a hydraulickým tlumičem [33]

S mechanickým přenosem síly

U těchto bezpístnicových aktuátorů je provedeno spojení pístu a vozíku mechanicky. Z toho důvodu je konstrukce mnohem složitější, než je tomu s magnetickým přenosem síly. Přesouváním vozíku při funkci aktuátoru je totiž nutné volit pružné těsnění, které stále těsní prostor mezi vnitřním pracovním prostorem pístu a vnějším prostorem vozíku. Aby bylo zabráněno vniknutí nečistot do těla válce, přidává se nerezový krycí pásek. I Zde je příhodné volit hydraulické tlumiče pro konstantní tlumení kinetické energie v koncových polohách. Standardní provedení je na obrázku 14a). I tyto aktuátory mohou být ve verzi s vedením, toto vedení je ve kolejnice s kuličkovým vozíkem. Ukázka takového aktuátoru je na obrázku 14b).[3]



Obr. 14) a) S mechanickým přenosem síly [34] b) S mechanickým přenosem síly s vodícími tyčemi [35]

3.2.5 Kyvné aktuátory

Kyvné aktuátory slouží zejména k manipulaci s produkty. Mohou jimi obracet, otáčet, otevírat a uzavírat. Pro testování ovládacích prvků jsou tedy svým kyvným pohybem nezastupitelné. Existují dva základní principy funkce, čímž jsou křídlové a ozubené hřebeny s pastorkem.[3]

Křídlové

Na hřídeli je nasazeno křídlo, které se vlivem tlaku stlačeného vzduchu otáčí kolem osy. Kyvný otáčivý pohyb může být 90°, 180° a 270°. Kromě těchto plných rozsahů se dají přidávat omezovače úhlu a zastavovat tak v libovolných úhlech a pracovat v libovolných rozsazích.[3]

S pastorkem a ozubeným hřebenem

V případě, že je nutné použití vyšších kroutících momentů, je možné volit kyvný pohon s ozubeným hřebenem a pastorkem. Zde je rozsah kyvného pohybu 90° a 180°.[3]

3.3 Hydraulické aktuátory

Práci v tomto druhu energie poskytuje kapalina, ve většině případech je to speciální hydraulický olej. Jeho základními vlastnostmi bývají:

- Nejedná se o příliš přívětivou volba pro životní prostředí
- Hydraulické pohony jsou vhodné pro výbušné prostředí
- Poskytují vysoký výkon při malých zastavovacích plochách

Výhody hydraulických aktuátorů

- Vyšší vyvozené síly
- Nestlačitelné oleje
- Snadné a poměrně přesné zastavování v mezi polohách

Nevýhody hydraulických aktuátorů

- Zahřívání oleje
- Menší průtoky
- Časté netěsnosti

3.3.1 Vlastnosti hydraulického oleje

Ideální kapalinou by samozřejmě mohla být voda, avšak vzhledem k velkým nárokům na funkci tekutiny v hydraulice se volí oleje. Mezi hlavní funkce hydraulického oleje patří mazání funkčních částí, odvod tepla, odvod nečistot, maximální účinnost, minimální tření. Jedním z důležitých parametrů je i viskozita olejů, které mohou být minerální, syntetické, nebo rostlinné. Podrobněji se hydraulickými oleji věnuje norma ČSN ISO 6743. Stejně jako to je u pneumatiky, tak i u hydrauliky je nutné odstraňovat nečistoty z olejů, ovšem i přes použití všech konvenčních metod se nedocílí odstranění všech nečistot a hydraulický olej se musí po určitém čase vyměnit.[7]

Odstranění mechanických nečistot se v současné době provádí několika způsoby. Prvním je magnetický odlučovač, jejímž principem je chycení feromagnetických i neferomagnetických částic na lamely s permanentním magnetem, dokáží zachycovat částice od velikosti 0,07mm. Tento způsob odlučovače je ale určen především na veliké průtoky kapalin, jako jsou chladící emulze k obrábění. Filtry do v obvodu může být sací filtr, tlakový filtr, nebo vratný filtr. Aby bylo dosaženo požadované čistoty hydraulického oleje musí být použito filtrování dle normy ISO 4406.[7]

Důležitým parametrem, který je nutný měřit u hydraulické kapaliny je teplota. Už při překročení 60 °C dochází ke stárnutí a snížení viskozity. Některé typy hydraulických olejů mají pracovní teploty kolem 90 °C. Tyto přístroje se instalují do nádrží s hydraulickým olejem a řídí se termostatem, který moderuje zapnutí chladícího zařízení. [7]

Při vedení kapaliny na delší vzdálenost vznikají nepříznivé jevy, které se pojí k hydrodynamice. Mezi tyto jevy patří kavitace, vodní rázy, turbulentní proudění, ztráty třením apod. Z těchto důvodů se doporučuje mít hydraulické obvody aktuátorů krátké, ideálně řízené elektricky.[7]

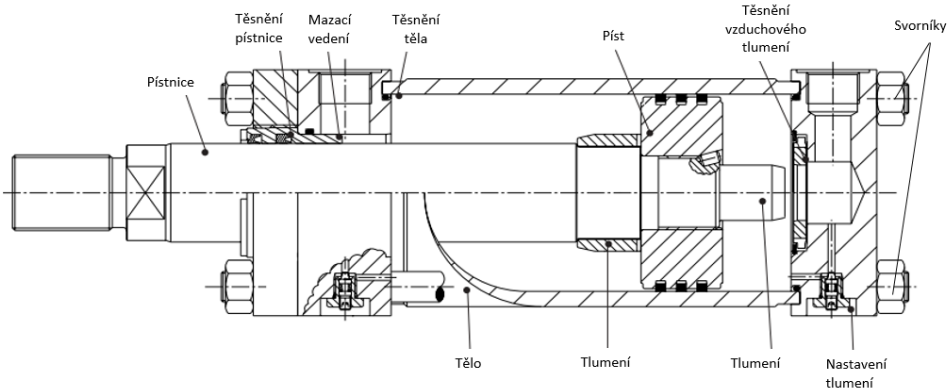
3.3.2 Řízení hydraulických aktuátorů

Stejně jako tomu bylo u pneumatiky, je tu opět společný prvek, čímž je řízení ventily. Největším rozdílem jsou ovšem tlaky, při kterých tyto dva druhy energií pracují. Pneumatika pracuje maximálně s 4MPa, což ale mnoho lidí neví. Všeobecně se využívá 0,6MPa. Hydraulika

pracuje s mnohonásobně většími tlaky, a to v desítkách MPa. Proto jsou ventily do hydrauliky podstatně robustnější.[8]

- Tlakové ventily – dodávají aktuátorům stálý tlak a množství tekutiny.
- Cestné ventily – mění směry proudění kapaliny a tím směry pohybu aktuátorů.
- Blokovací ventily – neřízené, zajišťují tok jedním směrem (zpětný ventil)
- Průtokové ventily – ke snížení rychlosti aktuátorů škrcením průtoku
- Spojité ventily – zbavují aktuátory rázů při rozjezdu a dojezdu
- Proporcionální ventily – ke spojitému řízení, může být realizováno el. signály

3.3.3 Lineární hydraulické aktuátory



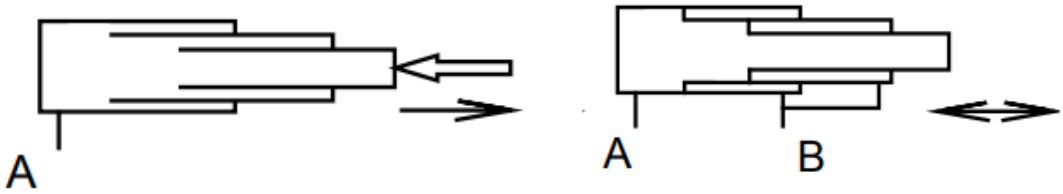
Obr. 15) Popis lineárního hydraulického aktuátoru se svorníky [18]

Jak již bylo zmíněno, hydraulické aktuátory pracují s mnohem většími tlaky. Proto se konstrukce aktuátorů soustředí zejména na tzv pohony se svorníky Obr.16b), šroubové Obr. 16a), pojistným kroužkem a svařováním, což je spojení krytů pro s tělem, kde pracuje píst a druhým krytem.U pneumatických válců se vystačíme i s krimpováním, nebo víčky zajištěné pojistným kroužkem.[8]

Hydraulické válce jsou určené zejména k vyšším pracovním silám, jako tomu je v těžkém průmyslu, nebo součástí stavebních strojů. Hlavním rozdílem je právě druh pracovní látky, jinak jsou si velmi podobné. Rozdělují se na jednočinné a dvojčinné. Zvláštní konstrukcí, které u pneumatických válců nejsou je například teleskopický hydraulický aktuátor viz obr. 18.[8]

Vzduchové tlumení v koncových polohách k absorbování kinetické energie pracuje na stejném principu jako pneumatických aktuátorů s rozdílem, že se reguluje průtok hydraulického oleje namísto stlačeného vzduchu. Obrovskou výhodou oproti pneumatice je možnost polohování aktuátoru v libovolném počtu mezi poloh. Této přednosti se využívá hlavně ve spojení elektrických regulačních obvodů, řízené proporcionálními ventily, nebo servoventily.[8]

Obr. 16) a) Šroubové spojení krytů b) Svorníkové spojení krytů [17]



Obr. 17) a) Teleskopický jednočinný b) Teleskopický dvojčinný [8]

3.4 Elektrické aktuátory

Jeho zdrojem je elektrický proud, může jím být stejnosměrný i střídavý proud. Tyto aktuátory jsou prakticky schopné vyvodit skoro jakýkoliv výkon spojený s dlouhou životností.

Výhody elektrických aktuátorů

- Vysoká účinnost
- Vhodné pro rotační pohyby
- Velký rozsah výkonu, momentů, otáček

Nevýhody elektrických aktuátorů

- Složitější řízení
- Nutno chránit proti přetížení
- Vyšší pořizovací náklady

3.4.1 Elektromotory aktuátorů

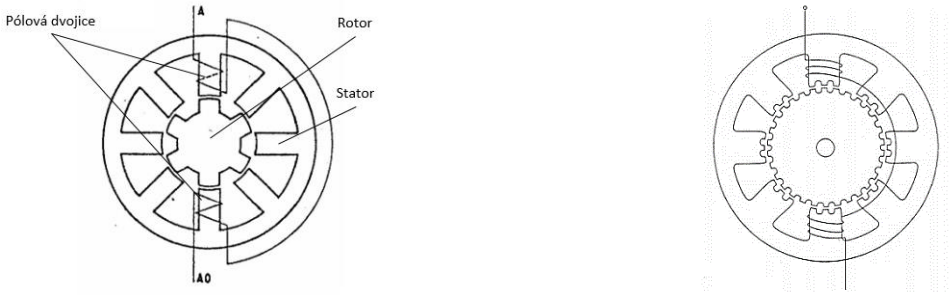
Obecným pojmem pro stroje, které mění elektrickou energii na mechanickou jsou elektromotory. V přechozích částech, kdy byly probrány pneumatické a hydraulické aktuátory bylo vždy pracovním médiem stlačený vzduch, či hydraulická kapalina, které již byly do aktuátoru přiváděny. V elektrických pohonech je motorická jednotka součástí elektrického aktuátorů, najdou se pouze výjimky, kdy je elektrický aktuátor dodáván bez motorické jednotky. Děje se to převážně z důvodu, že si zákazník volí jinou metodu řízení, než je nabízena výrobcem. Drtivá většina elektromotorů jsou točivé stroje, ovšem v poslední době se také rozmáhají tzv motory lineární. Je dobré mít také na paměti, že elektromotory dokáží nejen měnit elektrickou energii na mechanickou, ale jde tomu i naopak. Takový motor poté pracuje jako generátor. Tento jev se dá využít k rekuperaci, neboť se hromadí elektrická energie a pokud se s ní nenaloží, může dojít k poškození elektromotoru. Základním parametrem elektromotorů je momentová charakteristika, která popisuje průběh momentu vzhledem k otáčkám.

Připojení elektromotorů k aktuátorům může být provedeno mnoha způsoby, podle prostoru, který dovoluje aplikace použití. Může být v ose aktuátoru, vedle i nad. Energií pohánění je buď stejnosměrným, či střídavým napětím. Většina elektromotorů u elektrických aktuátorů je však vybaven usměrňovači, pro změnu střídavého na stejnosměrné napětí, anebo střídači, které zase mění stejnosměrné napětí na střídavé. [3]

Krokový motor

Jedná se o motory, které pracují v tzv krokovém režimu. Po přivedení napětí do motoru, je roztočen rotor a na dalším pólu opět zastaven. Jedná se o nespojitý pohyb, který se nazývá krok, kde jeho velikost závisí na počtu pólových dvojic statoru a rotoru viz obr. Dalším provedením může být s permanentními magnety, kde rotor je vyplněn permanentním magnetem, tyto motory jsou vhodné pro pomalejší otáčení s větším kroutícím momentem. [3]

Jak bylo uvedeno, ke zvýšení kroků je nutné přidání více pólových dvojic. Docílit se tak dá motorem s variabilní reluktancí, ukázka je v obr.18b. Spojením motoru s permanentními magnety a motoru s variabilní reluktancí vznikne tzv hybridní krokový motor, který dosáhne kroku až o hodnotě 0,9°. Snížení velikosti kroku se dá docílit také tzv mikrokrokováním, které již pracuje na principu dělení jednotlivých kroků budícím proudem. Nejčastějším provedením je s dvoufázovým buzením. [3]



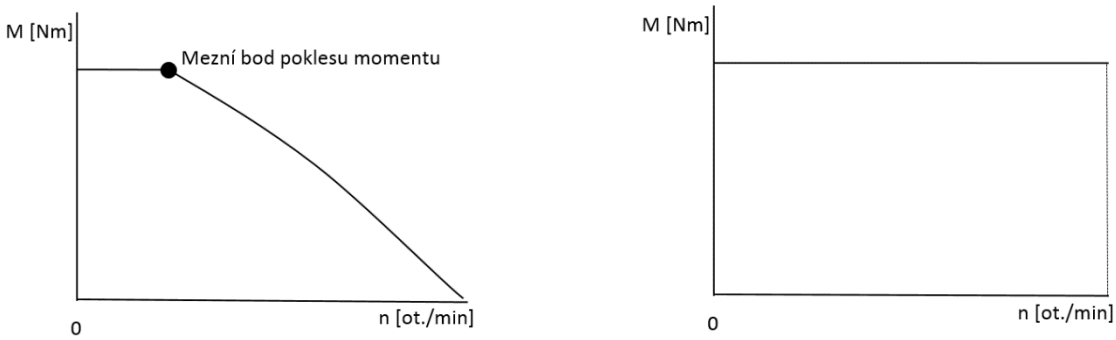
Obr. 18) a) Popis krokového motoru b) Krokový motor s variabilní reluktancí [19]

Krokové motory je vhodné volit v případech, kdy není kaden důraz na hlučnost, je však jednoduchý a levný, který nevyžaduje údržbu. Má malý výkon, vzhledem k velikosti a s rostoucími otáčkami strmě klesá jeho moment viz obr. , je tedy vhodný pro nízké otáčky, kdy může dojít k přetížení, protože se nepoškodí. Vinutí je převážně dvojfázové, ale některé hybridní mohou být i 3 až 5-ti fázové. [3]

Synchronní motor s permanentním magnetem

Jedná se synchronní otáčení rotoru vůči statoru. Velmi silné permanentní magnety dokáží vyvinou výkon až v několika stovkách kilowatů. Tyto motory jsou vhodné zejména pro servomechanizmy díky harmonickému a stabilnímu točivému momentu, tuto vlastnost nám popisuje momentová charakteristika. Protože jsou hojně využívané v servomechanismech, jsou tyto motory opatřeny tzv enkodéry, které udávají zpětnou vazbu o rychlosti a poloze motoru do řídícího členu. [3]

Moderní elektrické pohony pracují na matematických modelech řízení, kdy lze díky zpětné vazbě ze synchronního motoru regulovat motor a tím docílit eliminace dynamických rázů, a to velice rychle a přesně. [3]



Obr. 19) a) Momentová charakteristika krokového motoru b) Momentová charakteristika synchronního motoru s permanentním magnetem [3]

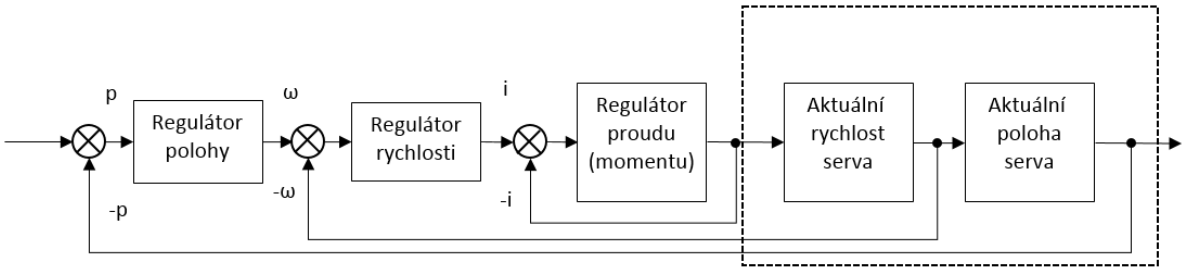
Lineární motor

Mezi moderní motory patří lineární. Dochází zde k přímé přeměně elektrické energie v mechanickou energii translační. Nejedná se tedy o točivý stroj, ale pracuje na stejném principu jako točivý stroj. Má velmi nepatrné přechodové regulační stavy, takže dosahuje přesnému polohování, zhruba ±1,25 µm, a to při vysokých rychlostech až 6 m/s. [3]

3.4.2 Servopohon

Jedná se o pohony, které slouží k dosažení přesné polohy. Jde tedy o pohony, které jsou realizovány regulačními obvody. Musí tedy obsahovat elektrické motory s enkodérem pro vyhodnocení zpětné vazby a její případné regulaci. Na obr. je ukázáno blokové schéma regulace polohy, která je hlavní funkcí servopohonu. [3]

Další podřazené regulační smyčky jsou pro rychlost, moment, ochrana proti přetížení.

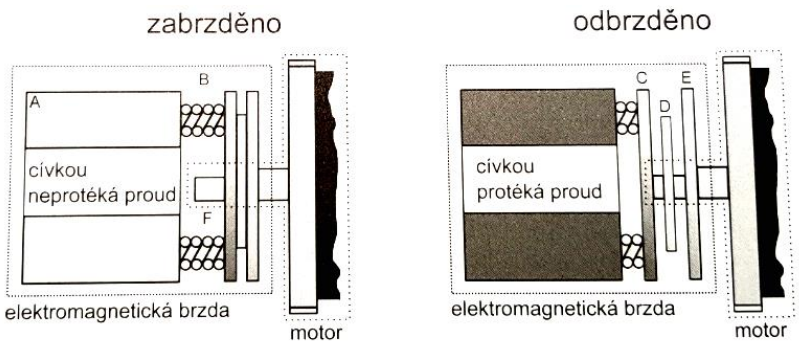


Obr. 20) Blokové schéma regulace polohy [3]

3.4.3 Stavba lineárních elektrických aktuátorů

Elektromechanická brzda

Tato brzda je součástí elektropohonu a je namontována mezi motorem a převodovkou. Její hlavní funkce spočívá k zachycení otáčení hřídele při výpadku proudu. Princip fungování je na základě, kdy při proudění proudu je mechanismus rozepnutí a při netečení proudu se hřídel zabrzdí. Jelikož podléhá disk a pružina rychlému opotřebení, není vhodné brzdu používat k častému použití, ale spíš jako bezpečnostní prvek zejména při zvedání břemen nahoru. Na obrázku je popis částí elektromechanické brzdy. [3]



Obr. 21) a) Brzda zabrzděná b) Brzda odbrzděná [3]

Spojky

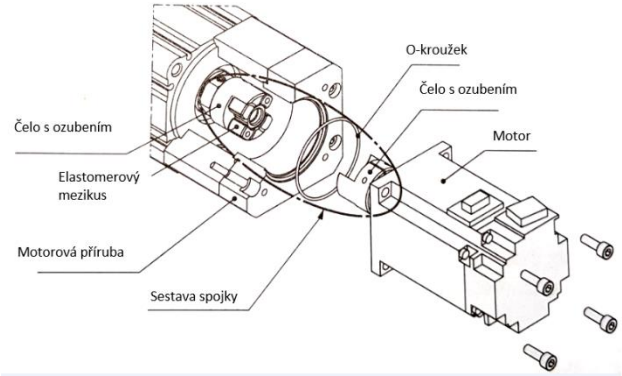
Jsou to mechanické součásti, které spojují hnací aparát s hnaným. Spojek je přenést kroutící moment bez rázů, eliminace vůlí. [3]

Pružné spojky

Tyto spojky jsou určené k absorbování a akumulaci vstupní energie, aby nedošlo k rázům při rozběhu i doběhu. Absorbování energie je prováděno pružinami, které se buď rozpínají, nebo stlačují. Právě tuhostí pružin se dá dimenzovat výše tlumení. [3]

Zubové spojky

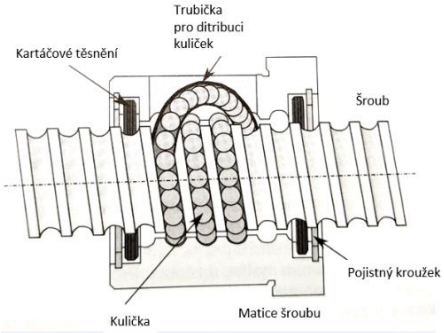
Mezi často využívané spojky patří spojky s ozubením na čele. Na bocích těchto zubů, kde se přenáší kroutící moment jsou přidány elastomerové součástky, které částečně redukují rázy, zobrazení je na obr. 24). Na rozdíl od pružných spojek již zubové nejsou tolik schopné eliminovat vůle spojení, takže musí být docíleno vyšší přesnosti souososti obou spojovaných hřídelů. Volí se tedy do menších aktuátorů s menšími dynamickými změnami. [3]



Obr. 22) Popis sestavění zubové spojky [3]

Kuličkové šrouby

Hlavní funkcí kuličkového šroubu je transformace pohybu z rotačního na translační. Docílí se to šroubem a maticí v které jsou uloženy kuličky a odvalují se drážkou šroubu. Kuličky cirkulují v okruhu, který zajišťuje trubička pro distribuci kuliček. Schématické zobrazení je na obr.25). Parametry, které jsou u kuličkových šroubů rozhodující jsou zejména vnější a vnitřní průměr a stoupání závitu šroubu. První zmíněné ovlivňuje, jak moc může být šroub zatížený a druhý parametr určuje rychlost aktuátoru. Šroub je uchycen na obou stranách v ložiscích. Vzhledem k poměrně nízkým třecím silám, jsou aktuátory s kuličkovými šrouby vhodný pro vyšší rychlosti a dynamické zatěžování. Při tomto provedení se doporučuje použití elektromagnetické brzdy. [3]



Obr. 23) Popis částí kuličkového šroubu [3]

Kluzné šrouby

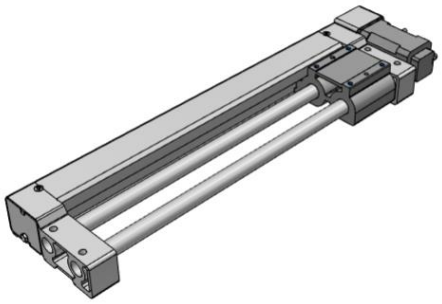
Druhým způsobem, jak převést rotační pohyb na translační šroubem jsou kluzné šrouby. Rozdílem je tedy způsob tření mezi maticí a šroubem je kluzné namísto valivé. Nabízí se hned několik nevýhod, čímž je vyšší tření, nepřesnost při polohování, a tedy menší účinnost. Mezi výhody patří zejména samosvornost, nepotřebuje tedy brzdu. Důležité je vždy vymezit vůle, které je jednoduché i přesto však dochází k vůli při změně směru pohybu. [3]

Ozubené řemeny

Dalším hojně používanou transformací rotačního pohybu na translační je ozubený řemen. Řemeny jsou používané hlavně při použití maximálních rychlostí a dlouhých zdvihů. Řemen se upíná mezi dvě řemenice, která jsou upevněná v ložiskách a jedna je poháněna hnací hřídelí. Ke správné funkci ozubeného řemenu a dostatečné přenesení hnací síly na vozík elektropohonu, musí být řemen dostatečně napnutý. Přesné hodnoty natažení definuje výrobce konkrétně ke zvolenému elektrickému aktuátoru. Elektrické aktuátory se vyznačují nízkou hmotností a nízkou hlučností. Po čase se ovšem řemeny natahují a tím snižují správnou funkci aktuátoru. Musí se tedy volit vhodná perioda výměnu řemenu. [3]

Přesné vedení

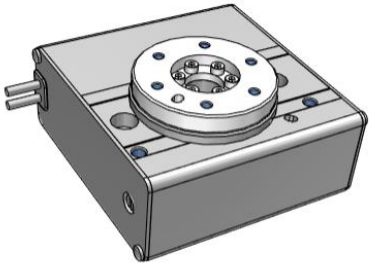
Jako tomu bylo u pneumatický aktuátorů, tak i elektrické aktuátory pro zvýšení tuhosti a přesnosti vedení mají verze s lineárním vedením. Vedení může být v podobě prizmatických profilů, vodících drážek, nebo standardní tuhá pístnicová vedení viz obr. 26). [3]



Obr. 24) Pístnicové vedení připojené k elektrickému aktuátoru

3.4.4 Elektrické kyvné aktuátory

Podobně jako tomu bylo u pneumatických kyvných aktuátorů, tak i u elektrickým se prování kyvný pohyb. Hlavní výhodou je ovšem možnost přesného polohování, kdy dosáhne polohy s přesností kolem 0,5° díky zabudovanému enkodéru a regulační smyčky. Rozsah kyvného pohybu může být prakticky od 0° do 360°, které je dosaženo otáčením přesného ložiska. [3]



Obr. 25) Elektrický kyvný pohon

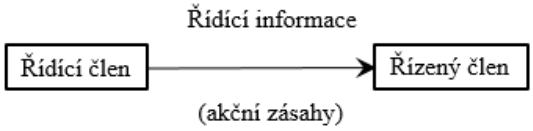
4 REŠERŠE AUTOMATICKÉHO TESTOVÁNÍ OVLÁDACÍCH PRVKŮ A JEJICH FUNKCE

4.1 Způsoby automatického řízení

Ke stanovení funkčního automatického řízení, kde jsou součástí i aktuátory, je nutné rozbor jednotlivých členů automatizační techniky a popsat způsob komunikace mezi těmito členy.

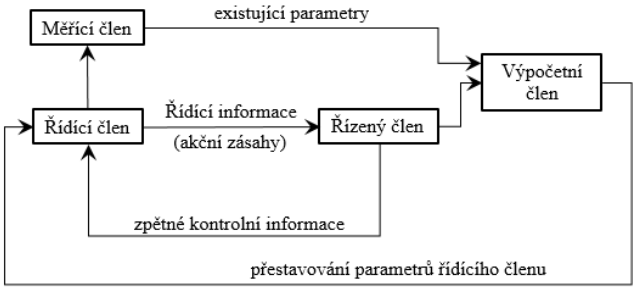
Automatické řízení – a) ovládací b) regulační c) kybernetický

a) Přenos informací mezi řídícím systémem a řízeným členem probíhá jednosměrně
b) Takové řízení se používá v případě, kdy chceme výsledek řízení kontrolovat a nějakým způsobem vyhodnocovat, abychom dosahovali požadovaných hodnot
c) Tento systém už je schopen sám volit vhodné podmínky k vykonání požadované činnosti, zpětná vazba neboli regulace není tedy pouze k vyhodnocení, ale také ke zvolení obecného přístupu k vykonání požadované činnosti [2]



Obr. 26) Blokové schéma ovládacího systému řízení [2]

Obr. 27) Blokové schéma regulačního systému řízení [2]



Obr. 28) Blokové schéma kybernetického systému řízení [2]

Výstupní algoritmus z řídícího členu je pak akční veličina, která je vstupním parametrem akčního členu (AČ), který obvykle zastupuje pohon neboli aktuátor.
Při regulaci signálu dochází buď k monotónní změně, kdy se regulovaná hodnota přiblíží k řídící veličině, nebo kmitavé změně kdy se regulovaná veličina přibližuje požadované hodnotě tlumenými kmity. [2]

4.2 Prostředky v automatizaci

Technickými součástmi, ze kterých se sestavují řídící systémy, se nazývají automatizační prostředky. Dle jejich funkce v řídícím systému je řadíme do následujících skupin.

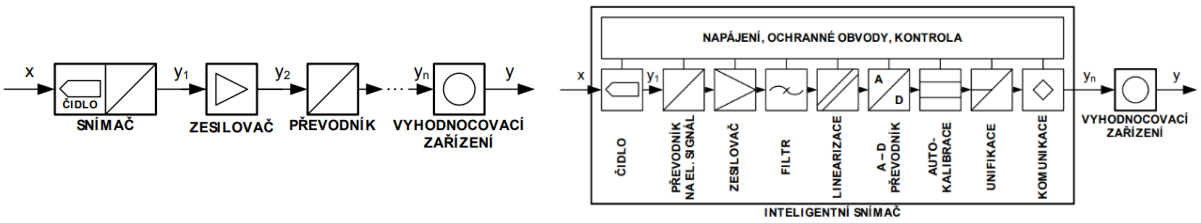
4.2.1 Prostředky pro získávání informace

Základním prostředkem pro získání informace o stavu a provozu automatizačního celku jsou snímače (senzory). Technickou veličinou na vstupu může být zjištěna:

- Přímo na základě její definice, kdy dochází k přeměně energie
  - Termoelektrický jev
  - Fotoelektrický jev
  - Piezoelektrický jev
  - Magnetická indukce
- Nepřímo, kdy dochází ke změnám elektrických veličin
  - Odpor
  - Indukčnost
  - Indukční vazba
  - Kapacita

Jakmile je možné spolehlivě snímat měřenou veličinu, tak je nutné přenést signál k vyhodnocení (dnešní řídící členy jsou v drtivé většině řešeny digitálně), musí být signál dostatečně silný a musí být převedený z analogového signálu na číslicový. Zesílení signálu probíhá v zesilovači a transformace, nebo převod signálu probíhá tzv Analogově/Číslicovém převodníku. Jakmile se takto zpracovaný signál dostane do řídícího členu, proběhnou ještě další korekce signálu k úpravě šumu a přehodnocení, zda je signál věrohodný. [2]

Výše popsaný postup popisuje tzv klasický snímač, ke kterému je nutný větší počet automatizačních členů. Existuje však modernější verze provedení snímačů a tj. inteligentní snímače neboli SMART snímače. Tyto snímače mají již v sobě zabudovaný celý systém zesílení, zpracování, převedení a zkontrolování v sobě. Mimo toho je snímač možný připojit do průmyslových sběrnic, čímž je například I/O link, nebo ethernet. [2]



Obr. 29) a) Klasický snímač b) SMART snímač [2]

4.2.2 Přenos, transformace signálů a řízení aktuátorů

Prostředky pro přenos informace (signálů)

Většinou není možné zpracovat signál přímo na místě vzniku, proto byly vytvořeny prostředky, které dopraví signál ke zpracování. Přenos signálu se tedy může provést mechanicky, pneumaticky, hydraulicky, nebo opticky. Nejčastějším parazitním vlivem u přenosu signálu na delší vzdálenost je šum, dochází tak k degradaci signálu zvyšováním vlivu šumu. Abychom tento šum odstranili a obnovili opět převahu signálu, zapojíme do spojitého obvodu zesilovače, které po dané vzdálenosti signál zesílí. Pro diskrétní signál používáme tzv tvarovače, jiné označení je obnovovače, který vrátí obdélníkový tvar signálu.[2]

Signálové a mezisystémové převodníky

Pokud systém pracuje ve smíšeném obvodu, tzn je zapojen pneumatický aktuátor společně s elektrickým servomotorem a chceme obojí řídit z jednoho řídícího členu pomocí unifikované technické veličiny potřebujeme signály převádět, měnit a upravovat. Již názvy napoví, k jakému převodu slouží. Převodníky mohou být: [2]

- Elektropneumatické / Pneumatickoelektrické / Elektrohydraulické
- U / I; I / U; U / f; f / U
- Analogově-číslicové / Číslicově-analogové

Komunikační a řídící prostředky

Nejrozšířenějším a nejpoužívanějším průmyslovým komunikačním prostředkem v automatizaci je bezesporu průmyslový Ethernet. Ethernet je k dispozici v několika variantách. Mezi nejpoužívanější patří EtherCAT (Beckhoff) která se vyznačuje extrémní rychlé řízení na několika úrovních najednou, dalšími hojně užívanými jsou EtherNet/IP (Rockwell), Profinet (Siemens). Každý zmíněný typ si vyvinul vlastní komunikační protokol a svůj vlastní software pro řízení aktuátorů, loga jsou vyobrazená na obr. 32). [2] [3]

Obr. 30) a) Výrobce b) Název komunikace (protokolu)

4.3 Rozdělení ovládacích prvků

Ovládací prvky můžou být tlačítka, spínače, vypínače, nebo i rozvaděče. Ukázány jsou ty ovládací prvky, které spíná člověk lidskou silou, nebo se také udává silou svalů.

Ovládání otáčením

Obr. 31) a) Polohový spínač [9] b) Potenciometr hlasitosti [10]

Ovládání stisknutím

Obr. 32) a) Tlačítko stop/start [11] b) Tlačítka navigace [12]

Ovládání změnou polohy

Obr. 33) a) Ovládání el. Oken [13] b) Pod volantová páčka [14]

Ovládání pákou a pedálem

Obr. 34) a) Throttle letadla [15] b) Pedál plynu [16]

4.4 Testování funkčnosti ovládacích prvků

4.4.1 Výstupní kontrola

K docílení požadované úrovně kvality a dodržení požadavků zákazníka se provádí výstupní kontrola, která by měla obsahovat následující činnosti. Kontrola funkčnosti a kompletnosti produktu, do kterých patří veškeré příbaly, náhradní díly a dokumentace (k použití, montáži, Atex certifikát). O každém produktu by se také měla vést dostatečně transparentní dokumentace o průběhu výroby, čímž můžou být test protokoly, atesty, certifikace. Mimo stoprocentních kontrol se zajišťují i dlouhodobé zkoušky, jako je například životnost. [1]

Před spuštěním výroby a volbě vhodných měřících metod, či určení kritických částí produktu se provádí předvýrobní analýzy, čímž můžou být například nástroje FMEA, vzorkování, nebo splnění legislativních předpisů. K dosažení výše zmíněných parametrů je nutné stanovení kontrolních bodů. [1]

- Kontrolované rozměry – délkové, geometrické, jakostní
- Metoda kontroly – měřením, porovnáním, zkušebním strojem
- Měřidla pro kontrolu – přístroje, přípravky, měřidla
- Místo provedení kontroly – externí, laboratoř, ve výrobě
- Zařazení kontroly v procesu – předmontáž, při montáži, finální
- Četnost kontrol – statistickou metodou AQL, každý kus, náhodně

Při nalezení neshodných kusů, nebo zmetků je nutné provést vyšetřování kořenové příčiny pomocí nástrojů kvality – 8D report, Ishikawa diagram, 5x Proč.

Aby bylo možné splnit již stanovené kontrolní body, musí se dodržovat správné podmínky měření. Cílem je tedy dostat spolehlivý výsledek měření v požadované přesnosti a známé nejistoty. Provádění kontrol je nutné provádět dostatečně kompetentními pracovníky, kteří dodržují navrhnutý postup měření a jsou prováděny v ve vhodném prostředí. Lidské vnesení chyb měření se čím dál častěji eliminují právě automatizovaným měření, kde je docíleno vysoké opakovatelnosti, spolehlivosti a dodržení výrobního taktu. [1]

4.4.2 Testování elektrických veličin

Testování průrazem napětí

Tato zkouška se provádí u všech prvků, které mají za účel spínat, či rozpojovat zdroj od obvodu. Principem zkoušky je otestovat, že když dojde při stavu rozpojeno k nějakému zkratu, výboji, přepětí, nebo jiným neočekávaným situacím, nedojde k vytvoření elektrického oblouku mezi kontakty spínače. Více o testování průrazu napětí nalezneme v normě IEC 60947-1.

Zkrat ve vodičích a rušení signálů

Každý vodič, který nese elektrický proud, vytváří kolem vodiče magnetické a elektrické pole. Tato pole mohou vedle dalších vodičů působit šum a snižovat tak kvalitu neseného signálu. Pokud by došlo k samotnému kontaktu mezi jinými vodiči, může docházet ke zkratům. Musí se volit vhodné odstínění vodičů. Odstínění se provádí podle výše potřeby odstínění.

Stupeň IP ochrany

Stupeň IP ochrany určuje, do jakého prostředí je možné prvek použít. Týká se ochrany před poškozením vniknutím cizích předmětů, prachu, vody a plynů. Značení je písmeny IP a dvou čísel. [3]

Ochrana proti vniknutí cizích těles:
IP0x bez ochrany – IP6x prvek je prachotěsný

Ochrana proti vniknutí vody:
IPx0 bez ochrany – IPx9 vodotěsné

Životnost, počet sepnutí

Při návrhu a dle způsobu, kde bude prvek použit je jej důležité dimenzovat na určitý počet cyklů, které prvek během své životnosti provede.

Rozsah teplot funkčnosti

Aby zařízení pracovala správně v různých teplotách okolí. U elektrických prvků tu jde zejména o, že při rostoucí teplotě roste odpor. Výrobce musí tedy myslet na dimenzování prvku tak, aby byl schopen pracovat spolehlivě v rozsahu teplot podle způsobu použití – pro automobilový průmysl tomu je -30°C – 60°C a letecký -60°C – 50°C. [37]

Jmenovitý proud a napětí

Výstup z tohoto testu je V-A charakteristika neboli graf, který nám popisuje průběh napětí a proudů.

4.4.3 Testování mechanických veličin

Síla stlačení

Ovládání tzv silou svalů, jde o to určit při jaké síle dojde k vytvoření kontaktu. Tlačítko se velmi často vrací do původní polohy, proto se měří i síla jakou se tlačítko vrací do původní polohy. Stanovením hodnot a jejich tolerancí je možné jednoduše vyhodnotit mechanický stav a funkčnost tlačítek.

Kroutící moment k pootočení, nebo vychýlení

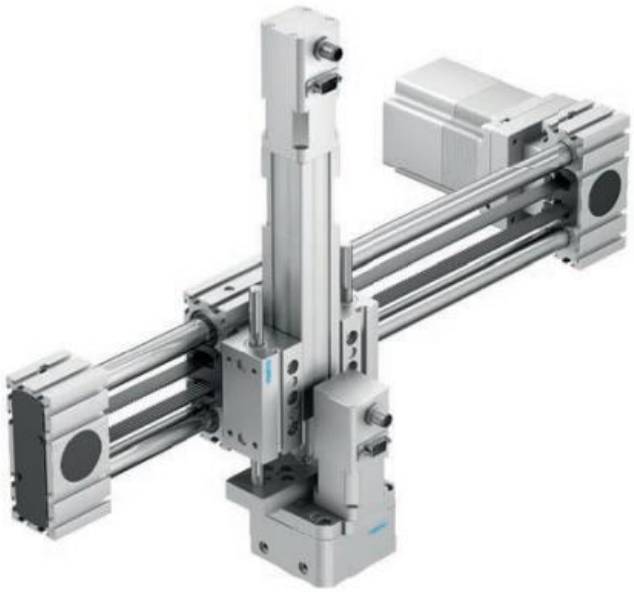
Podobně je tomu u měření kroutícího momentu při testování ovládacích prvků. Abychom otočili přepínačem, musíme překonat jistou sílu, sílu na páce (poloměr otáčení). Přehled aktuátorů

4.5 Aktuátory pro testování elektrických ovládacích prvků

K vybrání vhodného aktuátoru je nutné si odpovědět na několik základních parametrů pro danou aplikaci. Prvním krokem je zvolit vhodnou energii, vycházet je možné z obecných výhod a nevýhod. Dalšími parametry jsou hmotnost, zdvih, způsob manipulace, dráha pohybu, počet opakování, nebo moment zatížení. Dnešní aplikační technici již používají v maximální míře kombinaci všech uvedených typů signálů a využívají se jejich jednotlivé výhody. Za využití převodníku můžeme tedy při pneumatickém obvodu vykonávat cílovou činnost pomocí pneumaticko hydraulického převodníku, které eliminuje přirozené vlastnosti pneumatiky, jako je trhavý pohyb, nebo nemožnost zastavení v mezi poloze. Další způsoby, jak se kombinují aktuátory je, že společně tvoří celek kombinovaných pohybů. Jedním z nejčastějších praktických využití je vytvoření os x, y, z. Na konci takové jedné osy může mít kyvný aktuátor, který vykonává právě konečnou akci. Elektrický aktuátor s řemenovým převodem a vedením, který zastupuje osu x, na něm je upevněn pístnicový elektrický aktuátor se zubovou spojkou a také s vedením a na konci se nachází kyvný elektrický pohon. Uvedené řešení (obr. je od firmy FESTO, která je nejvýznamnější firmou zabývající se pohony v Evropě.

Články zdrojů [4] [5] radí jakým způsobem vybírat pneumatické pohony. Jsou vybírány podle zdvihu, výsuvné a zásuvné síly a pracovního tlaku. Je nutné brát v potaz i prostředí ve kterém pracuje. Uvádí se také, že nestačí pracovat s nominálními hodnotami, ale je nutné myslet na pneumatické obvody a jejich regulační prvky. Ve finále je proces volby naprosto vhodného aktuátoru složitý a dlouhý proces.

Pokud si budete chtít vybrat vhodný aktuátory pro své aplikace, firmy jako Festo, nebo SMC vyvinuli software pro tento výběr. Tím se zohlední velký počet parametrů a vygeneruje se vhodný aktuátor. [39].



Obr. 35) Elektrický přímočarý portál s kyvným pohonem [38]

4.5.1 Ovládání otáčením

Pro testování ovládacích prvků, které mají pohyb otáčivý se použijí pohony kyvné. Jako vhodný připadá elektrický kyvný aktuátor.

4.5.2 Ovládání stisknutím

Pro testování tlačítek se používají aktuátory, které mají malý zdvih a nevyžadují vyvinutí velké síly, většinou se tlačítka zkoušejí mnoha stisky, a to v poloze zapnuto / vypnuto. Pro dvoupolohové pohony jsou vhodné pneumatické kompaktní aktuátory podle normy ISO 21287.

4.5.3 Ovládání změnou polohy

Pro testování ovládání se změnou polohy je vhodné použití elektrických aktuátorů, protože dochází k více polohám s poměrně přesným polohováním. Jako ideální se nabízí servopohony se stejnosměrným napájením.

4.5.4 Ovládání pákou a pedálem

U tohoto typu pohybu opět dochází ke kyvnému pohybu. Tento pohyb by měl být provádět plynule bez rázů, to lze docílit nejlépe elektrickými kyvnými aktuátory.

4.6 Firmy zabývající se výrobou a prodejem aktuátorů

Norgren – pneumatika

Parker – pneumatika, hydraulika, elektro

Festo – pneumatika, elektro

SMC Industrial Automatization – pneumatika, elektro

5 POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ REŠERŠNÍCH ČÁSTÍ

V současné době prochází průmysl další revolucí, kdy je velké množství stále se opakujících operací, které nyní provádí člověk, nahrazováno kybernetickým řešením. Kybernetické řešení je v podstatě automatizace procesů bez stálé přítomnosti pracovníka. Velké množství odvětví průmyslu, jako je potravinářský, zemědělský, energetický, chemický, farmaceutický, automobilový, letecký, sklenářský, hutní, uhelný atd. K tomu, aby byly jejich jednotlivé procesy automatizovány, potřebuje i značnou nabídku akčních členů, které právě nahradí manuální práci člověka. Akční členy jakožto aktuátory jsou zásadním prvkem k vykonávání těchto operací.

Zúžením tématiky na aktuátory, které jsou vhodné pro testování elektrických ovládacích prvků se v této práci dostane k užšímu výběru, proto jsou pneumatické a elektrické aktuátory probrány do širších souvislostí, než je tomu u hydrauliky. Ačkoliv hydraulické a pneumatické aktuátory jsou téměř identické stavby, stále se plno odborníků pře, které těchto dvou typů je lepší, či horší. V této práci se vychází z předpokladu, že hydraulika není ideální způsob přenosu řídícího signálu k provedení akcí. Důvodem je zejména vhodnost hydrauliky pro vyvinutí velkých sil představuje značnou zátěž pro přírodu. Zde je názorem, že budoucnost se v aktuátorech pro testování elektrických ovládacích prvků bude ubírat právě směrem elektrických a pneumatických aktuátorů.

Pneumatické aktuátory se vyznačují hlavně svou jednoduchostí a tím, že pracují za poměrně nízkých tlaků, není problém dopravovat stlačený na dlouhé vzdálenosti. Výrobní závody jsou v drtivé většině vybaveny právě obvodem stlačeného vzduchu, už z důvodů cirkulace vzduchu, nebo požární ochrany. Stlačený vzduch se využívá i pro ofoukávání polotovarů při obrábění, vzduch se dá snadno skladovat, nehrozí okamžitý výpadek tlaku v okruhu, jakožto přívodu akční energie. Například u elektrických aktuátorů toto riziko je. Právě proto, že je pneumatika stále nezastupitelná pro mnoho výhod, kterými disponuje. Firmy investují nemalé částky do jejího vývoje. Vyvíjejí se nové a nové metody řízení a využití pneumatických aktuátorů. Za zmínku stojí určitě proporcionální řízení, což je spojité řízení.

Elektrické aktuátory jsou ty nejsofistikovanější pohony, kterými se dá zabývat. Jejich využití je všude tam, kde se používá hydraulika a pneumatika. Nevyužívá se ale tak hojně pro jejich vysokou cenu a právě složitost. Vhodné jsou pro aplikace, kde vykonávají složité úlohy a jsou vyžadovány přesné polohy přesunů. Proto jsou pro jisté typy testování elektrických ovládacích prvků nenahraditelné. Jejich řízení je v dnešní době řešeno přes počítač, nebo PLC řídící členy. Pracují na velkém množství komunikačních protokolů, podle potřeby použití. Nejčastěji se ve zdrojích objevoval způsob EtherCAT od firmy Beckhoff, pro jeho široké spektrum využití díky jeho multitaskingové bitové funkci a ohromující rychlosti jednoho cyklu. Další způsoby řízení aktuátorů jsou vyvinuté dle největších světových korporací, které si vyvinuli komunikační protokol na míru sobě. Z tohoto důvodu se firmy adaptují a vyrábějí elektrické aktuátory bez motorů, aby myšlené korporace mohli použít svoje motory a svůj způsob řízení v procesu. Konkurence je opravdu veliká a někteří výrobci jsou zdatnější v konstrukci krokových motorů a někteří v servopohonech.

Když proběhl přehled aktuátorů, které by mohli být vhodné pro testování elektrických prvků, zaměřilo se na problematiku automatické testování funkčnosti elektrických ovládacích prvků, kde se vyžaduje interakce obsluhy se zařízením. Testováním funkčnosti patří mezi

stěžejní kontroly na konci výrobního procesu. Důležitým krokem je stanovení specifikací produktu, který je v plánu testovat a kontrolovat. Vycházet lze z požadavků zákazníka, kteří často bazírují na dodržování určitých norem, jako záruku dostatečné kontroly. Je ovšem nutné dodržovat legislativní a bezpečnostní předpisy, které také popisují určité normy. Splněním vhodných podmínek měření a dodržení tolerancí při finální kontrole můžeme považovat vyrobený produkt za nezávadný a vhodný k fungování v zamýšlené aplikaci.

Po typizaci aktuátorů a po tom, co je předvedeno, jaké součásti mají určitý vliv na finální funkci je možné přistoupit k automatizaci výstupní kontroly funkčnosti elektrických ovládacích prvků. Bylo uvedeno pár nejznámějších firem zabývající se výrobou aktuátorů, které nabízejí široký sortiment. Tyto firmy často nabízejí speciální software pro volbu aktuátoru pro konkrétní aplikaci. Tedy zadáním potřebných parametrů, které byly uvedeny v rešerši je možné obdržet nabídku s aktuátory, které splňují oné požadavky.

Dle mého názoru se bude automatizační technika, do které neodmyslitelně patří aktuátory vyvíjet nadále k zjednodušování, zefektivňování a dosáhne se plného dálkového řízení přes interní sítě jednotlivých průmyslů.

6 ZÁVĚR

Byla provedena rešerše aktuátorů, které jsou teoreticky vhodné pro testování elektrických ovládacích prvků. Bylo uvedeno vše stěžejní pro pochopení problematiky stavby, součástí a řízení pneumatických, hydraulických a elektrických aktuátorů. Bylo zjištěno, že pneumatické aktuátory jsou vhodné pro jednoduší aplikace a preferují se pro použití při dvoupolohových operacích. Hydraulické aktuátory jsou velice podobné, jako pneumatické, ovšem nebylo jim dáno tolik pozornosti, protože se hydraulika převážně používá pro velké pracovní síly, které nejsou při testování tlačítek nutné. Tedy dostatečným obeznámením s aktuátory je teď možné se přesunout k dalšímu cíli práce.

Rešeršní studie testování funkčnosti elektrických ovládacích prvků byla zasazeno do automatizace. Uvedeno bylo několik podstatných informací ohledně řídících systémů Po představení základní filozofie výstupní kontroly se uvedlo se jakými způsoby je možné testovat ovládací prvky na zjištění, zda jsou dle daných specifikací, čímž jsou normy a legislativní požadavky.

Uvedením konkrétních ovládacích prvků bylo možné z nabytých informací vybrat typ aktuátoru pro vykonávání testování. Bylo potřeba pouze simulovat interakci mezi člověkem a ovládacím prvkem, který je napojen na detekční jednotku, kde jsou vyhodnocovány, zda veškeré parametry jsou v toleranci

Ačkoliv se firmy stále předbíhají s jednotlivými novinkami ve všech odvětvích aktuátorů, největšímu rozmachu a uplatnění v budoucnu se předpokládá u elektrických aktuátorů

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] BUMBÁLEK, Leoš. *Kontrola a měření: pro SPŠ strojní*. Praha: Informatorium, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9

[2] BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky*. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5

[3] SMC Industrial Automatization s.r.o.

[4] Výběr a provoz pneumatických pohonů. *Automa* [online]. 2014, **2.**(01), 1 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/vyber-a-provoz-pneumatickych-pohonu-2004_01_32141_1852/?fbclid=IwAR1u9bvcJhLgK0NrlY01Rf_iSl4NRXFhHH4wYTD3zjU4Robokphzx09bIdU

[5] Snadná volba pohonu [online]. 2014, 2014(1) [cit. 2019-05-23].

[6] ATEX. *Www.smc.com* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://content2.smcetech.com/pdf/ATEX-D_EU.pdf

[7] Moderní metody čištění hydraulických olejů. *MM Spektrum* [online]. 2006, (5), 1 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-metody-cisteni-hydraulickych-oleju.html

[8] *Hydraulické pohony strojů*. Brno, 2009. Studijní text – sylabus. Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

[9] Rotační knoflík. *Www.viola.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.viola.cz/produkty/cad11a543-gba001ef-otocny-spinac-12-pozice-600-v-6-a-rotacni-knoflik-311-5105

[10] Knoflík potenciometru. *Www.umerkura.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.umerkura.cz/ksgbkcrvol-knoflik-na-potenciometr

[11] Tlačítko startování. *Www.speedtech.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.speedtech.cz/product/13076/bezklicove-startovani-automobilu-keyless

[12] Navigace. *Www.lizard.it* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.lizard.lt/echolotai/garmin-striker-7dv/

[13] El. ovládání oken. *Www.originalni-dily-skoda.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.originalni-dily-skoda.cz/elektro/40-spinac-stahovani-ctyr-oken-fabia-ii-borsehung-5j0959858a-8585030081745.html

[14] Multifunkční spínač. *Www.jeep.com* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.jwjeep.com/new-jeep-parts/electrical-lighting-and-body/turn-signal-combination-lever/multifunction-switch-5143312af/

[15] Throttle quadrant. *Www.skalarki-electronics.eu* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.skalarki-electronics.eu/onlineshop/product/49-throttle-quadrant-p-p.html

[16] Plynový pedál. *Www.tachtek.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.tachtek.cz/Plynove-pedaly-c33_36_2.htm

[17] Hydraulický aktuátor. *Www.parker.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.parker.cz/produkty/hydraulika/hydraulicke-valce/

[18] Stavba hydraulického válce. *Www.seall.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.seall.cz/uploads/files/kompaktni-hydraulicky-valec-serie-3l/3l_1130-uk.pdf

[19] Krokový motor. *Www.vsb.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/cast_C_el_pohony/se_eph_c1_krokac_02_teorie.pdf

[20] Průmysl 4.0. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl_4.0

[21] Inovační trendy ve vzduchotechnice. *Http://kke.zcu.cz/* [online]. Plzeň [cit.2019-05-23]. Dostupné z: http://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/04/MMP/181_Inovacni_trendy_ve_vzduchotechnice.pdf

[22] ISO 21287. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232340356414314510e898ce/download.xml&options=

[23] ISO 6432. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232341178604316810e898ce/download.xml&options=

[24] ISO 6431. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232341549224320010e898ce/download.xml&options=

[25] ISO 15552. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232339276404308310e898ce/download.xml&options=

[26] ISO 15552. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232336460144297010e898ce/download.xml&options=

[27] Průchozí pístnice. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232348446914361210e898ce/download.xml&options=

[28] Průchozí pístnice. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232348128724356610e898ce/download.xml&options=

[29] Průchozí pístnice. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232346548624346310e898ce/download.xml&options=

[30] Dva písty. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232343267044327010e898ce/download.xml&options=

[31] S vedením. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232344192984330810e898ce/download.xml&options=

[32] Bezpístnicový. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232345204864335710e898ce/download.xml&options=

[33] Bezpístnicový s vedením. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905232345384864337810e898ce/download.xml&options=

[34] Bezpístnicový. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905191606419656502210e898ce/download.xml&options=

[35] Bezpístnicový s vedením. In: *Www.smc.cz* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.partcommunity.com/partserver/applets/html/preview.html?language=english&firm=smc&file=http://www.partcommunity.com/partserver/preview/0201905191845290581305110e898ce/download.xml&options=

[36] Tandem. In: *Www.festo.com* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/50475/DNCT-ADVUT-ADNH_en.pdf

[37] Testovací komory firmy Binder a jejich možnosti. *Chemagazín* [online]. 2010, **20.**(6), 2 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/6-2010-(Rizeni-procesu-a-laboratori)-C786/

[38] Přímočarý portál. *Festo.com* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://www.festo.com/rep/cs_cz/assets/pdf/PSI_Plus_OMS_CZ.pdf

[39] Software pro návrhy pohonů. *Elektro* [online]. 2008, **6**(6), 1 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/software-pro-navrhy-pohonu--11948

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULE

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1) Jednočinný pneumatický válec [21] 20
Obr. 2) Dvojčinný pneumatický válec [21]....20
Obr. 3) Pneumatický válec dle normy ISO 21287 [22] 21
Obr. 4) Pneumatický válec dle normy ISO 6432 [23] 21
Obr. 5) Pneumatický válec dle normy ISO 6431 [24] 21
Obr. 6) a) Válec s kulatým tělem [25] b) Válec s hranatým tělem [26]....22
Obr. 7) Ukázka pneumatických válců s průchozí pístnicí [27] [28] [29]....22
Obr. 8) Pneumatický válec se dvěma písty [30] 22
Obr. 9) Dva až čtyři pneumatické válce v tandemu [36] 23
Obr. 10) Pneumatický válec s přesným vedením. [31] 23
Obr. 11) Princip funkce vzduchového tlumení [3]....24
Obr. 12) Přehled kategorií a zón výbušného prostředí [6] 24
Obr. 13) a) S magnetickým přenosem síly [32] b) S magnetickým přenosem síly s vodícími tyčemi a hydraulickým tlumičem [33]....25
Obr. 14) a) S mechanickým přenosem síly [34] b) S mechanickým přenosem síly s vodícími tyčemi [35]....26
Obr. 15) Popis lineárního hydraulického aktuátoru se svorníky [18] 28
Obr. 16) a) Šroubové spojení krytů b) Svorníkové spojení krytů [17] 28
Obr. 17) a) Teleskopický jednočinný b) Teleskopický dvojčinný [8] 29
Obr. 18) a) Popis krokového motoru b) Krokový motor s variabilní reluktancí [19]....30
Obr. 19) a) Momentová charakteristika krokového motoru b) Momentová charakteristika synchronního motoru s permanentním magnetem [3] 30
Obr. 20) Blokové schéma regulace polohy [3] 31
Obr. 21) a) Brzda zabrzděná b) Brzda odbrzděná [3] 31
Obr. 22) Popis sestavění zubové spojky [3]....32
Obr. 23) Popis částí kuličkového šroubu [3]....32
Obr. 24) Pístnicové vedení připojené k elektrickému aktuátoru....33
Obr. 25) Elektrický kyvný pohon....33
Obr. 26) Blokové schéma ovládacího systému řízení [2] 34
Obr. 27) Blokové schéma regulačního systému řízení [2]....34
Obr. 28) Blokové schéma kybernetického systému řízení [2] 34

Obr. 29) a) Klasický snímač b) SMART snímač [2] 35
Obr. 30) a) Výrobce b) Název komunikace (protokolu) 36
Obr. 31) a) Polohový spínač [9] b) Potenciometr hlasitosti [10] 37
Obr. 32) a) Tlačítko stop/start [11] b) Tlačítka navigace [12] 37
Obr. 33) a) Ovládání el. Oken [13] b) Pod volantová páčka [14] 37
Obr. 34) a) Throttle letadla [15] b) Pedál plynu [16] 37
Obr. 35) Elektrický přímočarý portál s kyvným pohonem [38] 40