

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA**

FAKULTA STROJNÍ



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

Název: TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ
Autor: Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.
Vydání: první, 2013
Počet stran: 240
Náklad: 5

Jazyková korektura: nebyla provedena.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Modernizace výukových materiálů a didaktických metod
Číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0463
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD
CZ.1.07/2.2.00/15.0463

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Regulační systémy

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	REGULAČNÍ SYSTÉMY	3
1.1	Regulační systémy	4
1.2	Regulace elektrická	4
1.2.1	Regulace elektrických strojů	4
1.2.2	Regulační systémy technologických procesů	4
1.3	Historický vývoj	4
1.4	Normalizované (unifikované) signály	5
1.4.1	Proudové signály	5
1.4.2	Napětíové signály	6
1.5	Zpracování logických signálů	7
1.6	Obecné vlastnosti elektrických systémů	8
1.7	Regulace pneumatická	8
1.7.1	Historický vývoj	8
1.8	Pneumatický unifikovaný signál	8
1.9	Přenos pneumatických signálů	10
1.10	Příprava napájecího vzduchu	10
1.11	Shrnutí vlastností pneumatických systémů	11
1.12	Regulace hydraulická	11
1.13	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	12
2	POUŽITÁ LITERATURA	13



1 REGULAČNÍ SYSTÉMY



OBSAH KAPITOLY:

Regulační systémy.
Regulace elektrická.
Elektrické unifikované signály.
Regulace pneumatická.
Pneumatický unifikovaný signál.
Regulace hydraulická.



MOTIVACE:

Volba technických prostředků řídicích systémů udává výsledný charakter automatizovaného systému řízení ve výrobě. Jejich správné pochopení a vhodně zvolené technické řešení má při výrobě zásadní vliv. V této kapitole si proto objasníme možnosti regulačních systémů nejen z hlediska oblasti použití, ale především z hlediska energie, kterou využívají. V dalším výkladu se zaměříme především na regulační systémy určené pro regulaci technologických procesů.



CÍL:

Vymezení pojmu regulační systém a rozdělení regulačních systémů dle energie, kterou využívají.



1.1 REGULAČNÍ SYSTÉMY

Potřeba přenosu signálů na větší vzdálenost, náročná výroba mechanických většinou přímých (přímočinných) regulátorů vedla k vývoji dalších regulačních systémů využívajících k přenosu a zpracování signálů jiných fyzikálních principů. Tím se vyvinuly hlavní nyní používané regulační systémy, tj. regulace elektrická, pneumatická a hydraulická.

Nutnost zvýšení sériovosti výroby s cílem univerzálnějšího uplatnění vyráběných prvků byly postupně vyvíjeny regulační systémy a to buď v kompaktní formě, kdy jeden konstrukční celek v sobě zahrnuje snímač, regulátor a často i výstupní akční člen - servomechanismus, nebo naopak stavebnicové systémy umožňující uživateli konfigurovat potřebné regulační zařízení ze základních komponent.

Tyto systémy se vyvíjely v přímé návaznosti na vývoj základních stavebních prvků, zejména aktivních prvků – zesilovačů, což lze nejlépe demonstrovat na elektrických regulačních systémech.

Protože jsou často na jednom technologickém zařízení uplatňovány různé regulační systémy, např. elektronické zpracování signálů - hydraulické výkonové členy, jsou pro konverzi signálů mezi různými systémy vyráběny tzv. mezisystémové převodníky.

1.2 REGULACE ELEKTRICKÁ

Základní členění

V elektrických regulacích je nutno rozlišovat dva směry. Regulaci elektrických strojů a regulaci technologických procesů.

1.2.1 Regulace elektrických strojů

Jedná se zejména o regulaci elektrických pohonů, která se vyvinula ve svébytnou vědeckou disciplínu vyučovanou na fakultách silnoproudé elektrotechniky. Tyto systémy dříve často používaly ke zpracování signálů přímo vlastností některých točivých elektrických strojů, zejména stejnosměrných dynam a elektromotorů. Dále zde byla vyvinuta řada vlastních regulačních prvků, zejména rotační zesilovače např. rototrol, amplidyn, nebo zesilovače pracující na principu přesycování feromagnetických jader např. přesytka, transduktor apod. V současné době je v technice elektrických pohonů využíváno pro zpracování signálů elektronických a mikropočítačových systémů, často shodných se systémy používanými pro regulaci technologických zařízení. Ve výkonové části pak prvků výkonové elektroniky.

Touto technikou se nebudeme dále zabývat, některé podrobnější informace budou uvedeny v kapitole o elektrických motorech.

1.2.2 Regulační systémy technologických procesů

Jedná se o elektrické, elektronické nebo počítačové systémy univerzálně použitelné pro regulaci technologických procesů. Na ně se v dalším výkladu zaměříme.

1.3 HISTORICKÝ VÝVOJ

Vývoj těchto systémů úzce souvisí s vývojem elektronických prvků.

Prvotní systémy využívaly vlastností jednoduchých elektrických zařízení, např. elektromagnetu. Příkladem může být Křížíkův diferenciální regulátor pro obloukové lampy.

V 60. letech byl v Československu vyráběn stavebnicový „Elektronický regulační systém ERS ZPA“. Základním aktivním prvkem byly průmyslové elektronky. V systému ještě nebyly důsledně užívány normalizované signály. Z důvodů snazší zpracovatelnosti a dlouhodobé stability vlastností byly v elektronických obvodech používány střídavé signály o frekvenci



50 Hz., zejména ve vstupní části, tj. od převodníků, sčítacích členů, signál regulační odchylky atd. Zpravidla jen výstupní signály regulátoru byly stejnosměrné.

Vynález a průmyslové osvojení výroby tranzistorů umožnilo snáze realizovat zesilovače stejnosměrných signálů. Proto v tranzistorových systémech byly již jednoznačně používány signály stejnosměrné podle mezinárodních doporučení. Z čs. systémů to byl regulační systém URS s germaniovými transistory, URS-Si s křemíkovými transistory. Integrované obvody, zejména tzv. operační zesilovače byly použity v systému URS 3. generace. Je ještě možno se s ním setkat ve starších provozech pod obchodní značkou MODIN ve stavebnicové verzi. Kompaktní regulátor této generace je znám pod obchodním názvem NOTRON.

Číslicové řízení přes značný teoretický vývoj dosáhlo průmyslového rozšíření až s rozvojem minipočítačů, které byly vybaveny jednotkou styku s procesem. I když šlo o techniku „sálových“ počítačů, byly vyvinuty funkční systémy řízení zejména velkých agregátů, jako jsou válcovací stolice, vysoké pece atd. Rozvoj mikropočítačové techniky, zejména její cenová dostupnost a variabilita jsou příčinou vytlačení jiných regulačních systémů systémy elektronickými – mikropočítačovými s tím, že zejména ve výkonové oblasti akčních členů se stále využívají výhodné vlastnosti systémů pneumatických a hydraulických. Systémy používající číslicového přenosu a zpracování dat pracují s různými komunikačními protokoly na různých druzích přenosových médií, sběrnic. Tato problematika je náplní samostatného předmětu „Počítačové systémy“ a nebude zde dále rozvíjena.

1.4 NORMALIZOVANÉ (UNIFIKOVANÉ) SIGNÁLY

Měřená veličina je čidlem (snímačem) převedena na jiný, lépe zpracovatelný druh fyzikální veličiny. Převodník tuto veličinu převede na normalizovaný signál, tedy zobrazí např. teplotní interval 0 – 1200 °C na proudový interval 0 – 20 mA. Zpravidla s rostoucí hodnotou vstupní veličiny roste výstupní signál převodníku. Jsou normalizovány proudové a napěťové elektrické signály.



Audio 1.1 Normalizované (unifikované) signály

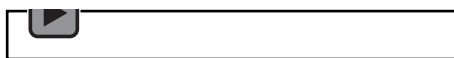


1.4.1 Proudové signály

Zdroj signálu se chová (v jistém rozsahu zatěžovacích odporů) jako ideální zdroj proudu, tj. výstupní proud nezávisí na velikosti zatěžovacího odporu. Nejčastěji se používají dva rozsahy signálů [10] **0 - 20 mA** a signál **4 - 20 mA**.



Audio 1.2 Proudové signály



Pro oba tyto signály platí další podmínky:

- zatěžovací odpor převodníku (odpor výstupní proudové smyčky) maximálně 500 Ω,
- maximální hodnota zvlnění signálu (špička/špička):
 - na vstupu 10 %,
 - na výstupu 0,25 %.

Je možno se setkat i se starším, již neužívaným signálem **0 - 4 mA**.

Proudové signály jsou používány zejména k přenosu signálu z převodníků v provozu do centrální části řídicího systému, tedy např. převodníků tlaku a diferenčního tlaku při měření průtoků plynu, často i převodníků jiných veličin, např. převodníky milivoltových signálů z termočlánků, odporových teploměrů, výstupy analyzátorů plynů atd.



Výhody:

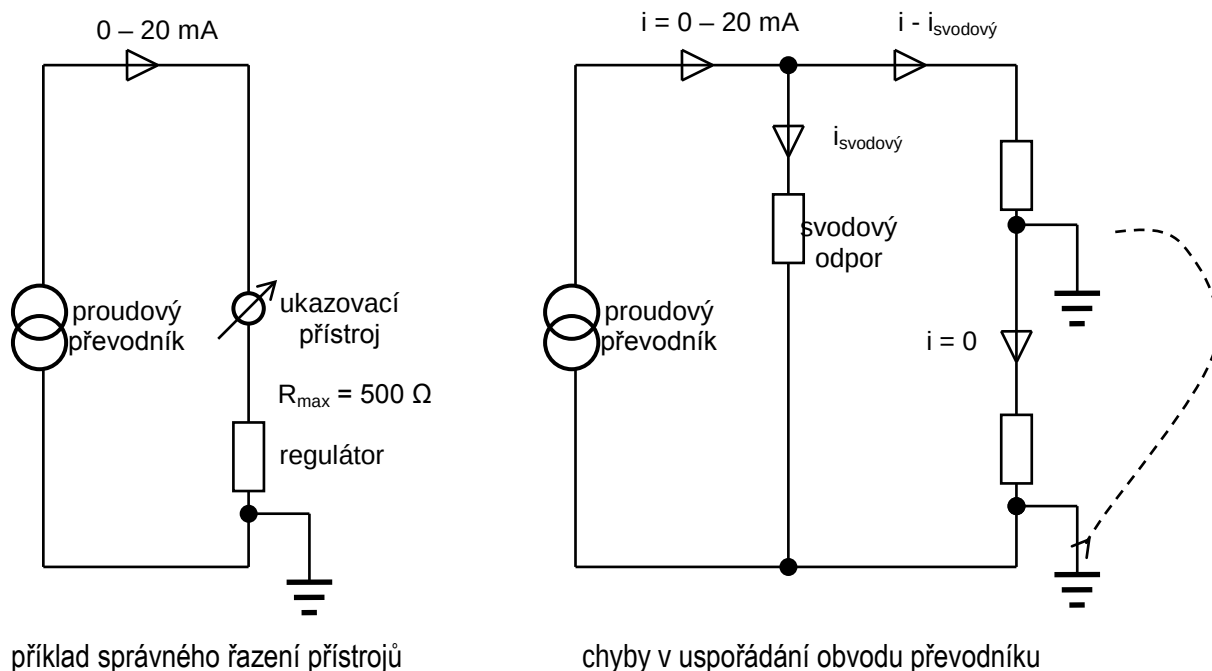
- na přenos signálu nemá vliv změna odporu vedení v jistých mezích,
- přenos je odolný proti rušení,
- do proudové smyčky lze zapojovat sériově více neuzemněných přístrojů, jako jsou zapisovače, ukazovací přístroje atd.

Signál 4 - 20 mA navíc umožňuje hlídat přerušení přenosové smyčky, protože nulové hodnotě měřené veličiny odpovídá nenulový proud, tedy nulová hodnota proudu signalizuje chybu. Tato vlastnost je značně důležitá zejména při delších přenosových trasách nebo zvláště důležitých signálech z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti chodu zařízení.

Nevýhody:

Signál - proudovou smyčku - lze uzemnit pouze v jediném místě, tedy mohou nastat problémy při vícenásobném využití signálu několika elektronickými zařízeními. Další uzemněná zařízení je nutno připojovat prostřednictvím galvanicky (galvanické spojení = vodivé spojení) oddělujících převodníků, které zvyšují cenu zařízení a tyto další prvky v obvodu jsou zdrojem přidavných chyb.

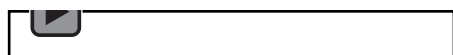
Proudový přenos signálu nekompensuje svody na vedení - proměnné svody vedení odvádějí část proudu z převodníku mimo vyhodnocovací obvod.



Obr. 1. Poměry ve výstupním obvodu proudového převodníku

1.4.2 Napět'ové signály

Zdroj signálu se chová (v jistém rozsahu) jako ideální zdroj napětí, tj. na výstupu převodníku je udržováno napětí úměrné vstupní veličině bez ohledu na velikost výstupního proudu. Nejčastěji používané napět'ové signály jsou [10] **0 až +10 V** a dále **-10 - 0 - +10 V**.

**Audio 1.3 Napět'ové signály**

Oba druhy signál musí splňovat další podmínky:

- zatěžovací odpor převodníku minimálně 2400Ω ,
- maximální hodnota zvlnění (špička/špička):
 - na vstupu 1 %,
 - na výstupu 0,25 %.



Je možno se setkat i se staršími signály: $0 - +5 \text{ V}$ a signálem $-5 - 0 - +5 \text{ V}$.

Dříve byl napěťový signál častým výstupním signálem převodníků. V současné době je především užíván jako vnitřní signál v centrálních částech analogových regulačních systémů, tedy např. vstupní napětí sčítacích členů regulátorů, regulační odchylka, výstupy jednotlivých kanálů ústředního členu - regulátoru (P, I, D). Výstupní signál celého ústředního členu bývá zpravidla signál proudový.

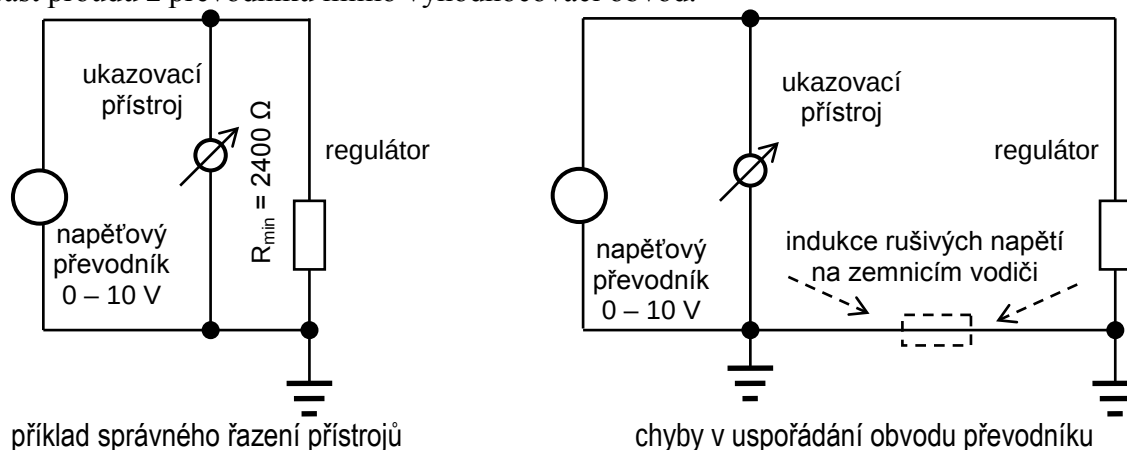
Výhody:

- napěťový signál umožňuje kompenzovat vliv proměnného svodu vedení,
- při malé impedanci obvodu je dosti odolný proti rušení,
- vzhledem k jednotnému uzemnění signálu v celém systému nebývají problémy s připojováním dalších zařízení, pokud mají společnou zem a nepřekročí se dovolené zatížení zdroje signálu.

Nevýhody:

zařízení přirozeně uzemněná, např. některé termočlánky spojené s ochrannou jímkou apod., vyžadují galvanické oddělení od další části systému, vzhledem k malým rezervám výkonu převodníků dojde často při zapojení dalších zatěžovacích odporů k jejich přetížení, rozsáhlá síť vztažného uzemněného vodiče s nenulovým odporem je zejména v průmyslových prostorách se silným elektrickým rušením náchylná k indukci značných rušivých signálů a tím i vzniku nepřesností přenosu.

Proudový přenos signálu nekompensuje svody na vedení - proměnné svody vedení odvádějí část proudu z převodníku mimo vyhodnocovací obvod.



Obr. 2. Poměry ve výstupním obvodu napěťového převodníku

1.5 ZPRACOVÁNÍ LOGICKÝCH SIGNÁLŮ

Klasickým způsobem zpracování elektrických signálů jsou tzv. reléové automatiky. Základním prvkem je **relé** – prvek, který elektromagnetem ovládá zapínání a vypínání často vícenásobného kontaktního systému. Výkonové relé, jehož kontakty spínají např. proud do motorů, označujeme pojmem **stykač**. Přes značný technologický vývoj v oblasti kontaktů v poslední době patří tyto prvky mezi méně spolehlivé (viz odporové snímače kontaktní) a je snaha je nahradit bezkontaktními systémy, ve kterých se využívá spínacích vlastností polovodičových prvků.

Rozvoj této oblasti přinesl zejména vznik integrovaných obvodů, kdy na jedné křemíkové destičce – čipu – je integrováno několik logických funkcí. Např. čtyři dvojvstupové negované logické součiny. Pro využití v průmyslovém prostředí se značnou úrovní rušení byla vyvinuta diodově – tranzistorová logika DTL s napájecím napětím $+15 \text{ V}$ a poměrně nízkou pracovní frekvencí, nicméně nakonec nedosáhla přílišného rozšíření.



Podstatně většího rozšíření dosáhla tranzistorově – tranzistorová logika TTL s napájecím napětím + 5V a v základní řadě s pracovní frekvencí 10 MHz [11]. Logická **0** je representována napětím v rozsahu 0 – 0,4 V, logická **1** napětím v rozsahu 2,4 - 5 V. Podle teplotního rozsahu zaručené činnosti jsou obvody tříděny do tří kategorií, což je vyznačeno v označení obvodu obvykle ve tvaru XX74xx, kde

- XX je písmenové označení výrobce často doplněné bližším určením řady,
- xx je dvoj- nebo trojmístné číslo vyjadřující funkce obvodu, např. zmíněný negovaný logický součin má označení 7400.

Zaručené rozsahy pracovní teploty okolí jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1. Teplotní rozsahy logických integrovaných obvodů TTL [1.2]

obvod řady	teplotní rozsah [°C]
74xx	0 - 70
84xx	-25 - + 85
54xx	-55 - + 125

Tyto obvody jsou vyvinuty v ucelených mnohačlenných funkčních řadách zahrnující nyní již několik stovek členů a jejich vývoj vedl ke vzniku mikroprocesoru, jako nejsložitějšího logického systému realizovaného na jediném čipu.

1.6 OBECNÉ VLASTNOSTI ELEKTRICKÝCH SYSTÉMŮ

V současné době prakticky jediný průmyslově užívaný způsob zpracování signálů, zejména v části měření a regulátorů. Nevýhodou jsou poměrně málo výkonné elektrické koncové členy - servopohony. Proto bývá často elektrické zpracování signálů kombinováno prostřednictvím mezisystémových převodníků s koncovými členy hydraulickými nebo pneumatickými.

1.7 REGULACE PNEUMATICKÁ

1.7.1 Historický vývoj

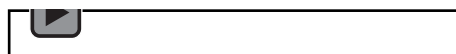
Hlavně po 2. světové válce velmi rozšířená, teprve v 60. letech postupně nahrazována regulací elektronickou. Výhradní posici si dlouho zachovávala v chemickém průmyslu obzvláště v prostředích s nebezpečím výbuchu. V 70. letech byla snaha o zavedení tzv. nízkotlaké pneumatické regulace s nesjednoceným rozsahem cca 1 - 10 kPa, ale tyto systémy se v praxi neuplatnily, pravděpodobně díky ve stejné době rychle nastupující elektronice.

1.8 PNEUMATICKÝ UNIFIKOVANÝ SIGNÁL

Signálem v těchto systémech je tzv. "laděný tlak" v rozsahu 0 - 100 %. Tomuto rozsahu odpovídá skutečný přetlak vzduchu v rozmezí 20 - 100 kPa. Napájecí tlak systémů je 140 kPa.



Audio 1.4 Pneumatický unifikovaný signál



Dříve byl používán rozsah měřený v atmosférách a to 0,2 - 1 kp.cm⁻² (atm). při napájecím tlaku 1,4 kp.cm⁻². Protože převodní konstanta 1 kp.cm⁻² = 98,1 kPa vnáší při zaokrouhlení chybu skoro 2 %, je nutno např. při měření ve starších provozech ověřit, podle kterých jednotek jsou cejchovány zejména převodníky.

Tento signál je používán ve všech částech pneumatických regulačních obvodů, tj. jak k přenosu naměřených veličin, tak i jako vnitřní signál v ústředních členech - regulátorech atd. i k přenosu na koncové servomechanismy, které jsou konstruovány alespoň u menších

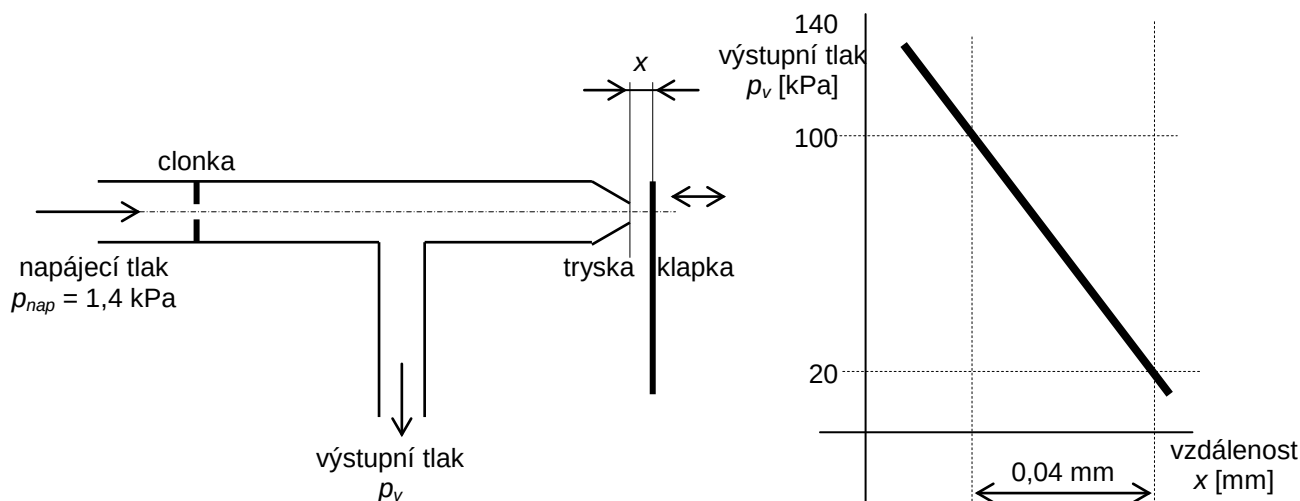
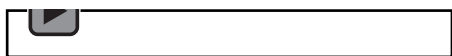


výkonů na stejný napájecí tlak. Pro vyšší výkony servomechanismů se používá běžného průmyslového rozvodu stlačeného vzduchu 600 kPa.

Základním prvkem všech pneumatických systémů je sestava klapka - tryska znázorněná na obr. 3.



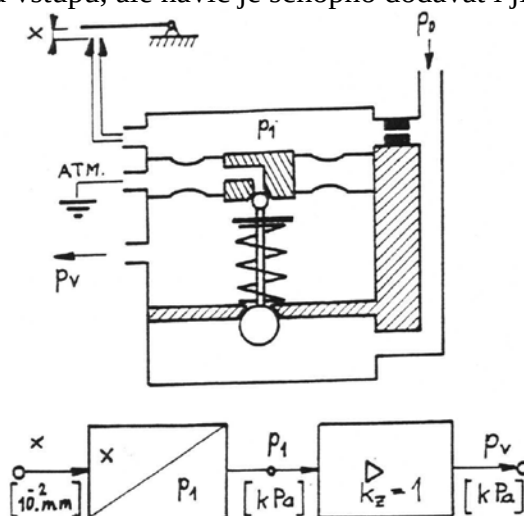
Audio 1.5 Pneumatický unifikovaný signál



Obr. 3. Systém klapka – tryska a jeho charakteristika

Z napájecího přívodu proudí vzduch přes clonku (obvykle skleněná kapilára světlosti cca 0,4 mm) do trysky (světlost cca 0,8 mm), která je uzavírána klapkou. Prouděním vzduchu dochází ke ztrátě tlaku na clonce, takže výstupní tlak p_v se se změnou průtoku tryskou vyvolanou malým zdvihem klapky mění ve značném rozsahu, jak naznačuje charakteristika v pravé části obr. 3. Změna je v rozsahu laděného tlaku velmi lineární a je způsobena velmi malým zdvihem klapky cca 0,04 mm. Tento systém tedy tvoří zesilovač s velmi velkým zesílením. Zpravidla se žádané funkce dosahuje doplněním systému příslušnou zpětnou vazbou.

Jak plyne z funkce popsaného systému, nelze z výstupu odebírat žádné množství vzduchu – úbytek tlaku na clonce je dán celkovým průtokem touto clonkou. Proto že zařazuje za tento mechanismus tzv. pneumatický zesilovač – obr. 4. Je to zařízení, které dodává na výstupu stejný tlak vzduchu jako na vstupu, ale navíc je schopno dodávat i jisté množství vzduchu.



Obr. 4. Pneumatický zesilovač



Zesilovač je napájen vzduchem o tlaku p_0 . Vzduch prochází clonkou do prostoru nad horní membránou, ve které podle okamžité vzájemné polohy klapky a trysky x působí tlak p_1 , jehož silovým účinkem se prohýbá dvojice membrán směrem dolů a otevírá se větší kulový ventilek. Systém se ustaví v takové poloze, kdy výstupní tlak p_v , tedy i tlak působící na dolní membránu $p_v = p_1$, tedy na obě membrány o stejné ploše působí stejné síly. Vzroste-li tlak p_1 , dojde k většímu průhybu membrán a tedy i k většímu otevření kulového ventilků tak, aby v každém případě byla zachována rovnost sil na obě membrány. Při poklesu tlaku p_1 se membrány větším tlakem p_v prohnou směrem nahoru, uzavře se velký a otevře se malý kulový ventilek a přebytečný vzduch z komory i výstupního potrubí odfoukne do atmosféry tak, aby byla rovnováha sil na membránách zachována.

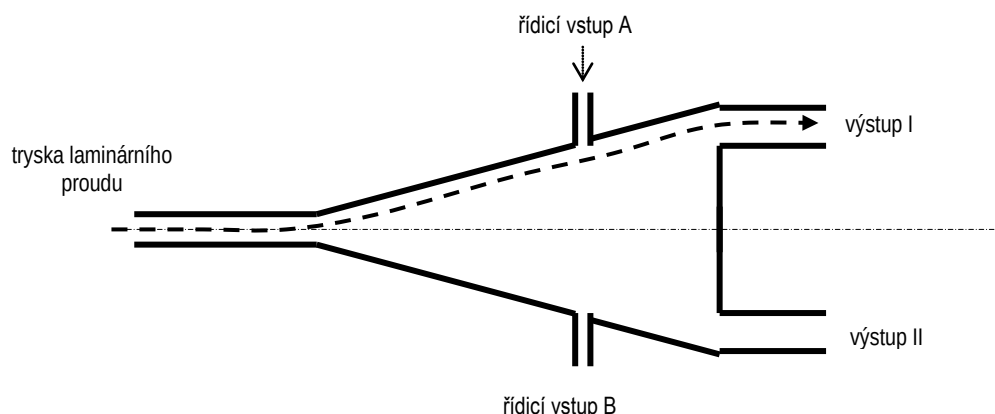
1.9 PŘENOS PNEUMATICKÝCH SIGNÁLŮ

Přenos pneumatikým signálem [1] na větší vzdálenosti je značně zpožděný. Uvádí se, že přenos signálu je realizovatelný na vzdálenost max. cca 100 m. Při rozboru vlastností přenosové trasy musíme vycházet jak z rychlostí šíření tlakového vzruchu v plynném prostředí - odpovídá rychlosti zvuku ve vzduchu, tak zejména je nutno respektovat tzv. plnicí jevy – potrubí, aby mohlo přenést výkonový signál, se musí nejprve naplnit dostatečným množstvím vzduchu. Z vlnových vlastností vzduchu lze odvodit, že nejmenší zpoždění přenosu signálu dává potrubí o průměru 9,75 mm, ale s délkou roste neúměrně jeho kapacita, kterou nejsou schopny zaplnit běžné pneumatické zesilovače. Proto se častěji používá průměru potrubí 4 nebo 6 mm, volba závisí na skutečné vzdálenosti, potřebné rychlosti přenosu a ekonomickém hledisku.

Pneumatické logické systémy

Existuje řada pneumatikých logických systémů – obvykle tvořených funkčními logickými prvky, které se montují na společný napájecí přívod a vzájemně propojují hadičkami. Nevýhodou je velmi pomalá činnost, dosažitelná pracovní frekvence je cca 10 kHz, nicméně byly např. snahy v americké armádě vyvinout pneumatický počítač odolný proti neutronovému záření po výbuchu atomové bomby, které ničí elektronické struktury.

Zajímavou variantou pneumatikých logických systémů jsou tzv. **fluidika** využívající tzv. stěnového efektu (obr. 5). Laminární proud ze vstupní trysky se v úzkém kanále přikloní k jedné stěně. Řídicími vstupy je možno proud překloupit ke druhé stěně. Byla vyvinuta ucelená řada logických členů pracujících na tomto principu.

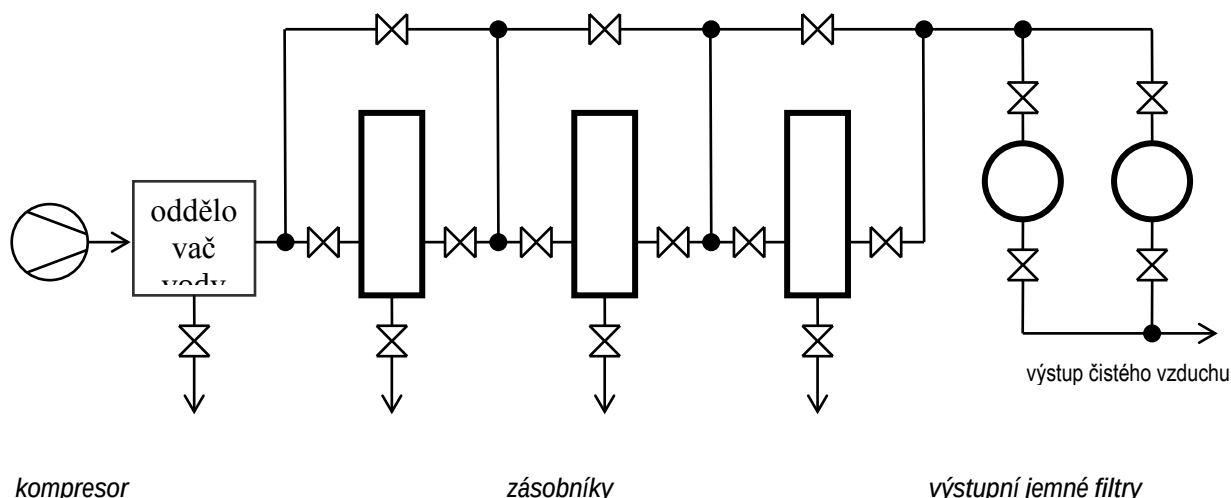


Obr. 5. Princip fluidika – klopný obvod

1.10 PŘÍPRAVA NAPÁJECÍHO VZDUCHU

Jak bylo uvedeno v popisu mechanismu klapka - tryska, vyskytují se v těchto zařízeních otvory velmi malých světlostí, takže napájecí vzduch musí být řádně zbaven všech nečistot, tj. oleje, vlhkosti, mechanických nečistot atd. Schéma zařízení pro čištění vzduchu je na obr. 6.





Obr. 6. Příprava napájecího vzduchu

Systém je navržen tak, aby zajistil nepřetržitou dodávku vzduchu i při údržbě a nutných opravách jeho jednotlivých částí. Vzduch z kompresoru je zbavován oleje a vody v oddělovači a postupuje do objemných zásobníků. Z nich pak prochází jemným filtrem na výstup. Systém ventilů umožňuje odstavení jednotlivých částí systémů pro čištění, kontrolu a údržbu. Z dvojice výstupních filtrů pracuje vždy jeden, druhý je odstaven pro výměnu filtrační vložky.

Vzhledem k obtížnosti splnění požadavků na čistotu vzduchu se v některých závodech osvědčilo napájení z tlakových lahví např. stlačeným dusíkem, který je odpadem při výrobě kyslíku užívaného např. pro intenzifikaci metalurgických procesů zkapalňováním vzduchu.

1.11 SHRUTÍ VLASTNOSTÍ PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ

Výhody: poměrně robustní, vhodný pro výbušná prostředí, časově dosti stálý, možnost nasatavení velkých časových konstant regulátorů, výkonné koncové členy.

Nevýhody: nutnost pečlivého čištění napájecího vzduchu.

1.12 REGULACE HYDRAULICKÁ

V současné době již není prakticky používána a zpracování signálů je prováděno elektrickou cestou. Má význam jako velmi rychlé výkonné koncové členy - servopohony, např. při řízení válcovacích stolic. Tyto koncové členy zpravidla tvoří kompaktní celek často s vlastní elektronikou, který zpracovává některý z normalizovaných elektrických vstupních signálů. Elektrohydraulický převodník je pak součástí vlastního koncového servomechanismu.

Napájecí tlaky těchto systémů jsou obvykle v řádu 10 MPa.

Přenos hydraulického signálu [1] se provádí zpravidla jen na menší vzdálenosti, řádově metry. Vznikají problémy s tlakovými špičkami při urychlování nebo brzdění kapaliny v potrubí, např. při náhlém poklesu rychlosti kapaliny o pouhých 10 m/s dojde k náhlému stoupnutí tlaku o 12 MPa. Jsou konány pokusy s přenosem výkonu bez proudění tekutiny a to formou impulsně buzených stojatých vln. Tyto systémy zatím nenašly širšího praktického uplatnění.

1.13 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Charakteristika a rozdělení regulačních systémů.
- Proudový unifikovaný signál.
- Napěťový unifikovaný signál.
- Pneumatický unifikovaný signál.
- Srovnání vlastností elektrických, pneumatických a hydraulických systémů.



2 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: *Technické prostředky automatického řízení*/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BERAN, V.: *Technická měření*. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 129 s. ISBN 80-7082-036-5.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: *Technická měření*. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] ĎAĎO, S. – KREIDL, M.: *Senzory a měřicí obvody*. ČVUT, Praha, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [5] ĎAĎO, S.: *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum ČVUT Praha, 1990.
- [6] HOFMANN, D.: *Priemyselná meracia technika*, 3. vydanie, Bratislava: Alfa, 1988, 568 s. ISBN 80-05-00139-8.
- [7] HUSÁK, M.: *Senzorové systémy*. Skriptum ČVUT Praha, 1993.
- [8] KOBĚRSKÝ, J. *Technické prostředky řídicích systémů*. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [9] NUTIL, J., ČECH, V.: *Měření v hutním průmyslu*. SNTL. Praha 1982.
- [10] ROUBAL, J.: *Regulační technika v příkladech. Moderní postupy pro běžnou praxi*. BEN - technická literatura, 2011. ISBN / EAN 978-80-7300-260-2 / 9788073002602.
- [11] SŮVA, S., SKOČDOPOLE, J., NOVÁK, P.: *Prvky řídicích systémů*. 1. vyd. Praha: ČVUT Fakulta elektrotechnická, 1987. 208 s. skriptum.
- [12] STACH, J., aj.: *Československé integrované obvody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975.
- [13] ZEHNULA, K.: *Převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum FE VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0439-6.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Převodníky

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

2	PŘEVODNÍKY.....	3
2.1	Převodníky.....	4
2.2	Pneumatický převodník.....	4
2.3	Elektrický převodník tlaku	5
2.4	Elektropneumatický převodník.....	6
2.5	Elektrohydraulický převodník	7
2.6	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	8
3	POUŽITÁ LITERATURA.....	9



2 PŘEVODNÍKY



OBSAH KAPITOLY:

Rozdělení převodníků.

Pneumatický převodník.

Elektropneumatický převodník.

Elektrohydraulický převodník.



MOTIVACE:

Jednotlivé části regulačního systému mohou pracovat na odlišném principu s využitím rozdílné energie. Ke vzájemnému sjednocení signálu a další snadné zpracování signálu slouží převodníky. K propojení různých částí prvků regulačního obvodu slouží mezisystémové převodníky.



CÍL:

Vysvětlení principu převodníků a názorné ukázky některých variant mezisystémových převodníků.

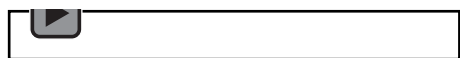


2.1 PŘEVODNÍKY

Převodníky slouží k převodu signálu z čidla na měronosnou veličinu, obvykle normalizovaný signál. Spojení snímače a převodníku ve společné jednotce je označováno jako **vysílač**.



Audio 2.1 Převodníky



Jsou většinou konstruovány jako zpětnovazební obvody, ve kterých je žádanou hodnotou vstupní veličina z čidla, výstupní (regulovanou) veličinou normalizovaný signál, přitom vhodně volené vnitřní členy zajišťují požadovanou transformaci vstupní veličiny.

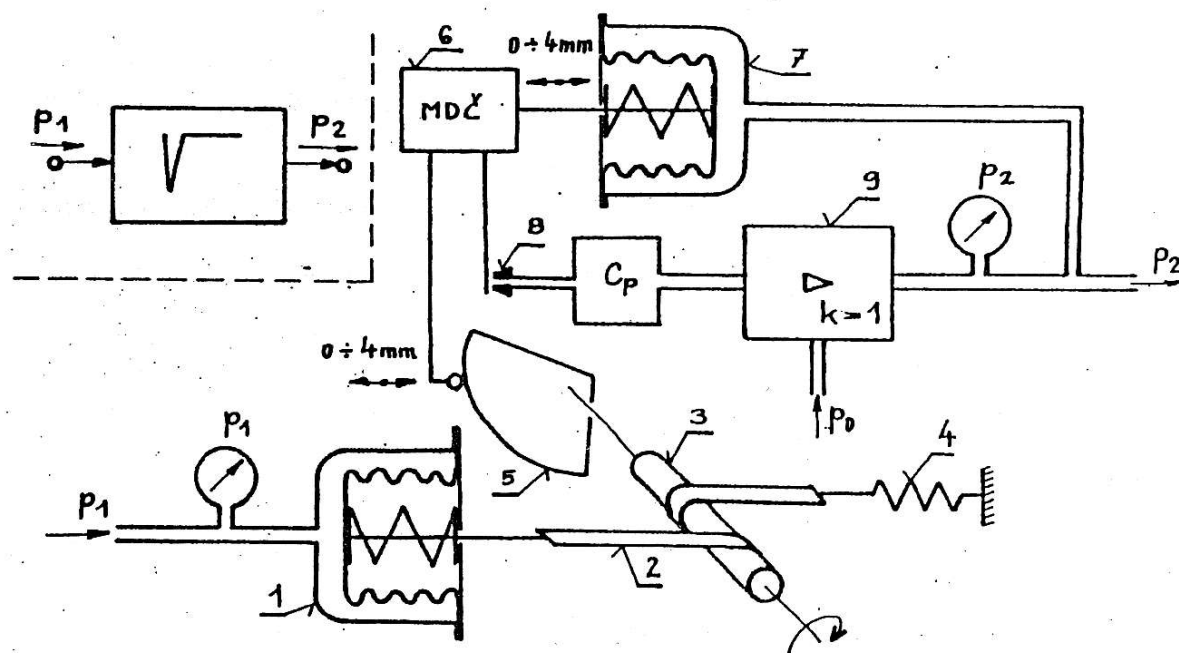
Mezisystémový převodník transformuje signál jedné energie na signál jiné energie. Obecně se jedná vždy o transformaci signálu (obr. 1.)



Obr. 1. Obecné schéma převodníku

2.2 PNEUMATICKÝ PŘEVODNÍK

Příklad pneumatického odmocňovacího převodníku tlaku je na obr. 2 [5].



- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 – vlnovec (převodník tlak/dráha) | 6 – mechanický diferenční člen |
| 2 – napínací pásek | 7 – vlnovec (ZV převodník tlak/poloha) |
| 3 – váleček (převodník dráhy) | 8 – systém klapka – tryska |
| 4 – napínací pružina | 9 – pneumatický zesilovač |
| 5 – šablona s funkcí | |

Obr. 2. Schéma pneumatického odmocňovacího převodníku tlaku

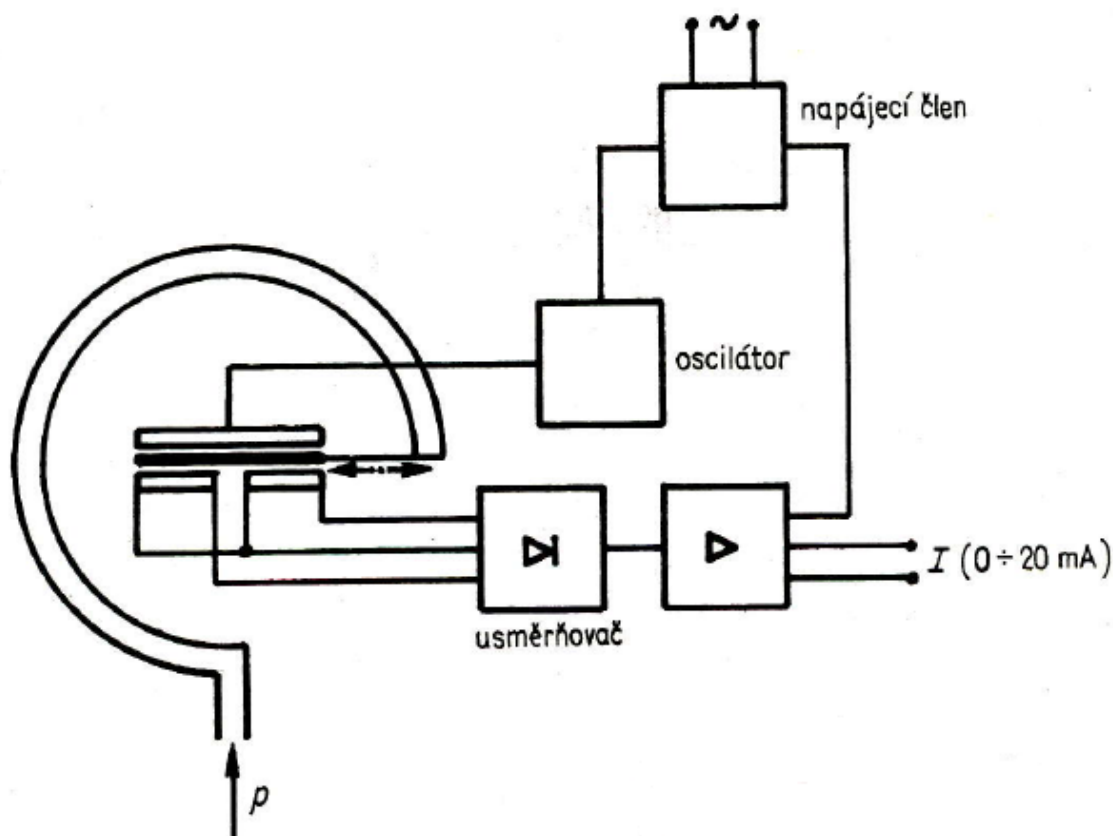
Vlnovec 1 převádí vstupní tlak na lineární posun, který se prostřednictvím prvků 2 – 4 převádí na otočný pohyb kulisy 5, která převádí lineární posun vstupního vlnovce na posun úměrný odmocnině. Mechanický diferenční člen je vlastně sčítacím členem zpětnovazebního obvodu



a porovnává výchylku doteku na kulise 5 jako žádanou hodnotu s posunem zpětnovazebního vlnovce 7, který měří regulovanou veličinu zpětnovazebního obvodu.

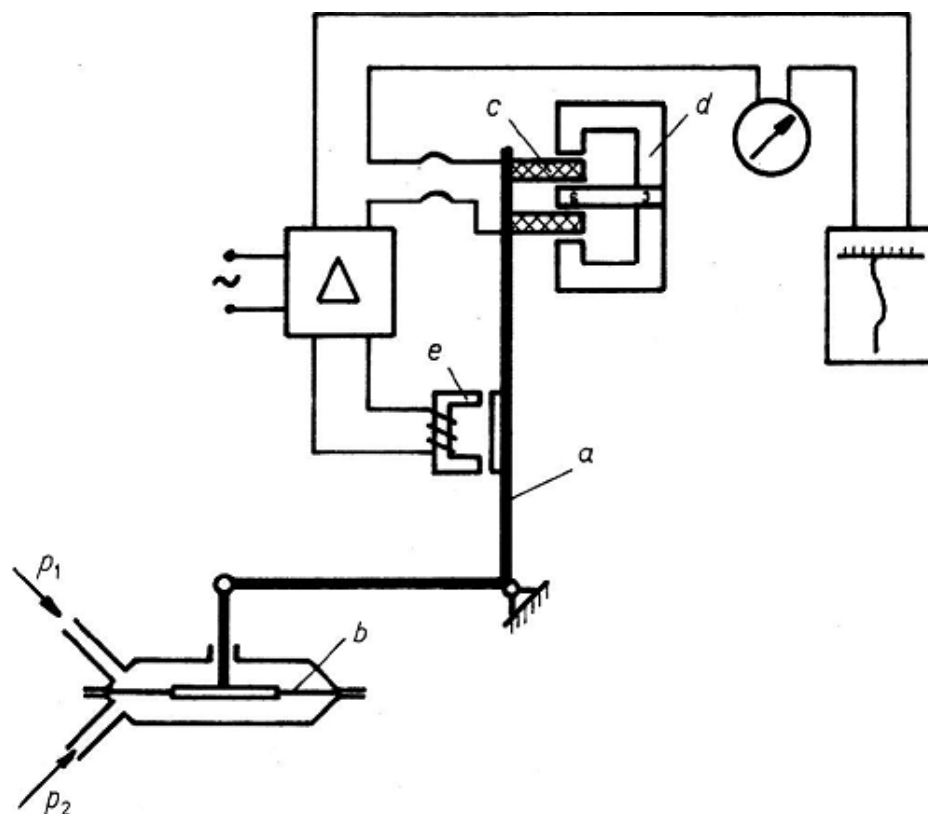
2.3 ELEKTRICKÝ PŘEVODNÍK TLAKU

Tento převodník převádí tlakovou veličinu na normalizovaný elektrický signál. Na obr. 3 [8]. je vstupní tlak převáděn na lineární posun Bourdonovým perem a tento posun dále zpracován indukčnostním snímačem na elektrický signál, který po usměrnění a úpravě v zesilovači vystupuje jako normalizovaný proudový signál. Jak ze schématu plyne, u tohoto typu převodníku není užito zpětnovazebního principu, linearita převodu je dána pouze užitím lineárních členů.



Obr. 3. Elektrický převodník tlaku

Zpětnovazební převodník je uveden na obr. 4 [8]. Pracuje s tzv. „vyrovnáním momentů“. Žádanou hodnotu ve zpětnovazebním obvodu tvoří síla vyvozovaná vstupním tlakem na membránu **b**, která působí momentem na páce **a**. Páka **a** tvoří sčítací člen zpětnovazebního obvodu. Jako regulovaná veličina působí moment vyvozovaný cívkou elektrodynamického systému **c**. Elektrodynamický systém je tvořen permanentním magnetem s hrncovými pólovými nástavci **d**, v jejichž mezeře je prakticky homogenní radiální magnetické pole. V mezeře magnetu se pohybuje cívka **c**. Silovým účinkem proudu v magnetickém poli vzniká síla velmi přesně lineárně úměrná velikosti proudu. Při nerovnováze momentů dojde k vychýlení páky **a**. Vychýlení se snímá indukčnostním snímačem **e** a po zesílení signálu se vytváří výstupní normalizovaný proud převodníku, který prochází vnějšími obvody pro zpracování signálu, zde naznačen např. ukazovací přístroj a zapisovač (protože je výstupem proudový signál, musí být tyto přístroje zapojeny sériově).



- a – páka
- b – tlaková membrána
- c – elektrodynamický systém
- d – permanentní magnetu
- e – indukčnostní snímač

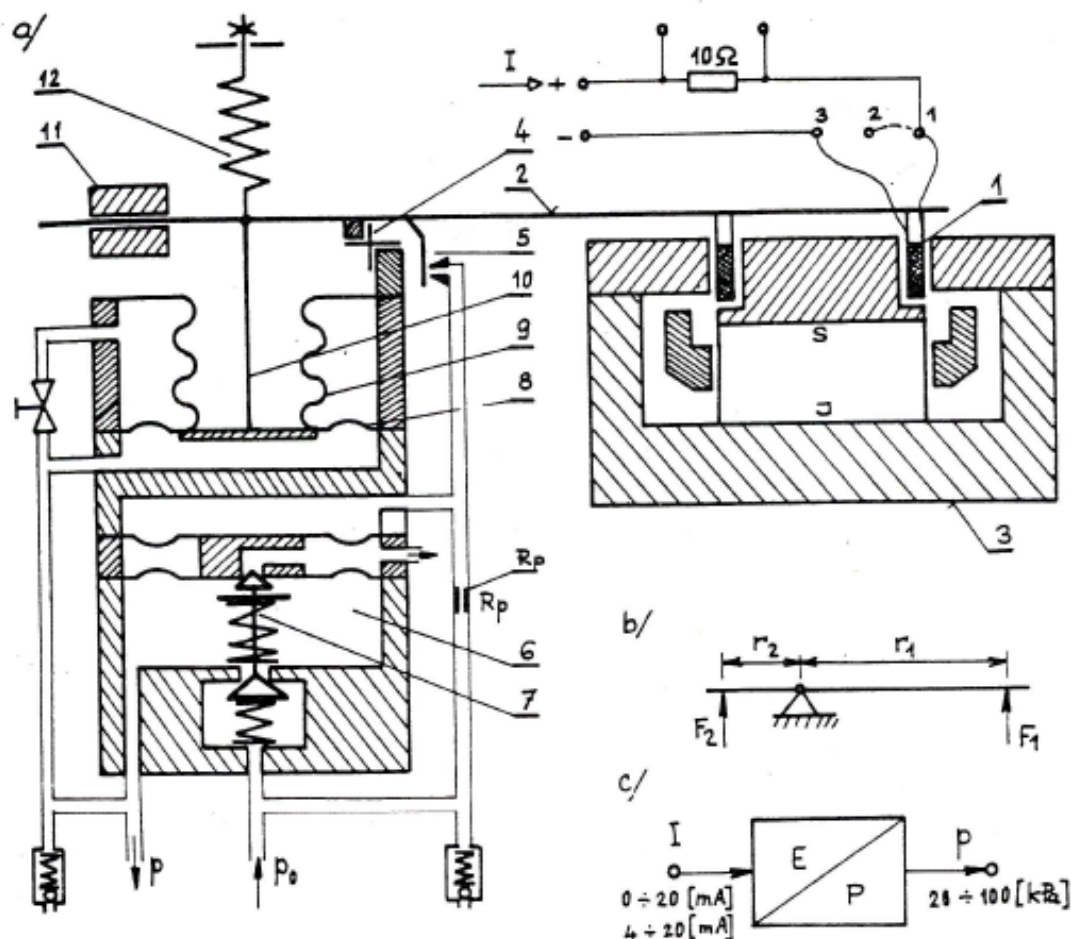
Obr. 4. Elektrický zpětnovazební převodník tlaku

2.4 ELEKTROPNEUMATICKÝ PŘEVODNÍK

Elektropneumatický zpětnovazební převodník na obr. 5 [5] pracuje rovněž s tzv. „vyrovnáním momentů“ a slouží k převodu proudového signálu na signál pneumatický. V nakresleném provedení ho lze zařadit mezi tzv. „mezisystémové“ převodníky, které zajišťují převod normalizovaného elektrického signálu – v tomto případě proudového – na normalizovaný signál pneumatický.

„Žádaná hodnota“ je vytvářena silovým účinkem proudu v cívce 1 elektrodynamického systému 3, působícím momentem na páce 2 uchycené na pružném závěsu 4. Regulovanou veličinou je síla působená výstupním tlakovým signálem na vlnovci 9. Odchylka – výchylka páky je snímána systémem „klapka – tryska“ 5 a výstupní pneumatický signál je zesílen v pneumatickém zesilovači 6 –7 (popsán v kapitole 1). Zlepšení dynamických vlastností převodníku se dosahuje derivačním členem tvořeným objemem uzavřeným vně vlnovce 9 napájeným přes ventilek, který způsobuje pomalejší plnění tohoto prostoru, což se projevuje do okamžiku vyrovnání tlaku v uvedeném prostoru s výstupním tlakem převodníku relativním zvýšením plochy membrány 6. Nenulový tlak (20 kPa – 0 % laděného tlaku) při nulovém vstupním proudu se nastavuje přepětím pružiny 12.

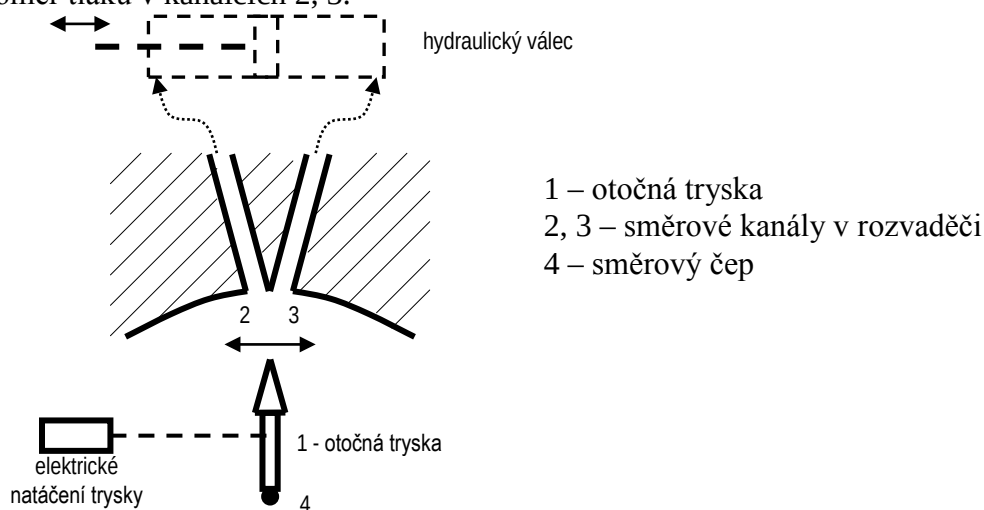




Obr. 5. Schéma elektropneumatického převodníku

2.5 ELEKTROHYDRAULICKÝ PŘEVODNÍK

Tyto převodníky obvykle nepoužívají zpětnovazebního principu. Klasická konstrukce je schématicky znázorněna na obr. 6. Olejový paprsek z trysky 1 je při nulové hodnotě elektrického signálu směřován tak, že v obou kanálcích 2 a 3 je stejný tlak oleje. Tryska je natáčena kolem čepu 4 např. elektrodynamickým systémem. Při jejím vychýlení se mění poměr tlaku v kanálcích 2, 3.



Obr. 6. Schéma elektrohydraulického převodníku

2.6 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Vysvětlení funkce převodníku a mezisystémového převodníku.
- Příklady pneumatických převodníků.
- Příklady mezisystémových převodníků.



3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: *Technické prostředky automatického řízení*/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BERAN, V.: *Technická měření*. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 129 s. ISBN 80-7082-036-5.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: *Technická měření*. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] ĎAĎO, S. – KREIDL, M.: *Senzory a měřicí obvody*. ČVUT, Praha, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [5] ĎAĎO, S.: *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum ČVUT Praha, 1990.
- [6] HOFMANN, D.: *Priemyselná meracia technika*, 3. vydanie, Bratislava: Alfa, 1988, 568 s. ISBN 80-05-00139-8.
- [7] HUSÁK, M.: *Senzorové systémy*. Skriptum ČVUT Praha, 1993.
- [8] KOBĚRSKÝ, J. *Technické prostředky řídicích systémů*. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [9] NUTIL, J., ČECH, V.: *Měření v hutním průmyslu*. SNTL. Praha 1982.
- [10] ROUBAL, J.: *Regulační technika v příkladech. Moderní postupy pro běžnou praxi*. BEN - technická literatura, 2011. ISBN / EAN 978-80-7300-260-2 / 9788073002602.
- [11] SŮVA, S., SKOČDOPOLE, J., NOVÁK, P.: *Prvky řídicích systémů*. 1. vyd. Praha: ČVUT Fakulta elektrotechnická, 1987. 208 s. skriptum.
- [12] STACH, J., aj.: *Československé integrované obvody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975.
- [13] ZEHNULA, K.: *Převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum FE VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0439-6.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Ústřední členy regulátorů

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

3	ÚSTŘEDNÍ ČLENY REGULÁTORŮ.....	3
3.1	Ústřední členy regulátorů.....	4
3.2	Rozdělení regulátorů	4
3.3	Základní vlastnosti ústředních členů (regulátorů).....	5
3.4	Přenosové funkce a jejich realizace.....	6
3.5	Skutečný regulátor.....	7
3.5.1	Beznárazové přepínání z ručního na automatický provoz	9
3.5.2	Omezení nárůstu integrační složky.....	9
3.6	Realizace regulátorů	10
3.6.1	Analogové lineární regulátory.....	10
3.6.2	Počítačová realizace regulátorů	11
3.7	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	11
3.8	Použitá literatura	12



3 ÚSTŘEDNÍ ČLENY REGULÁTORŮ

**OBSAH KAPITOLY:**

Ústřední člen regulátoru – funkce regulátoru.
Základní vlastnosti ústředních členů regulátorů.
Přenosové funkce regulátoru.
Realizace funkcí skutečného regulátoru.

**MOTIVACE:**

V oblasti automatizace se označuje pojmem regulátor celý komplex prvků uskutečňující regulaci. V rámci realizace jednotlivých samostatných částí pak rozlišujeme jednotlivé prvky samostatně. Tzn. regulátor je složen z části měřicí (snímač, převodník), z části výpočtové (ústřední člen regulátoru) a části výkonové (pohon a regulační orgán). V této kapitole se zaměříme na vysvětlení pojmu regulátor v užším smyslu – tzn. na ústřední člen regulátoru jak z pohledu jeho funkce, tak z pohledu realizace.

**CÍL:**

Vymezení pojmu ústřední člen regulátoru a jeho základní i skutečné funkce.



3.1 ÚSTŘEDNÍ ČLENY REGULÁTORŮ

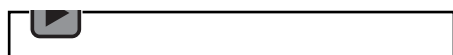
Část regulačního obvodu v teorii regulace označovaná jako **regulátor** plní tři základní úkoly (obr. 1).

1. Měří regulovanou veličinu - proto musí obsahovat měřicí člen.
2. Porovnává tuto veličinu s žádanou hodnotou, vypočítává regulační odchylku a vytváří matematickými operacemi časové funkce regulační odchylky – proto musí obsahovat výpočetní člen.
3. Realizuje takto vypočtené funkce jako změnu akční veličiny – proto musí obsahovat akční člen, tj. pohon regulačního orgánu a vlastní regulační orgán.

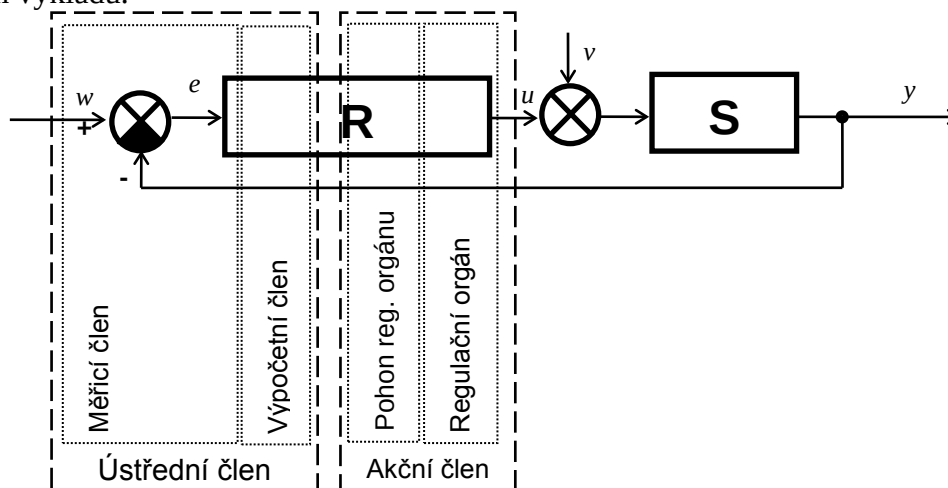
Jednotlivé funkce mohou být realizovány samostatnými částmi, přístroji, stavebnicovými jednotkami, nebo může být regulátor konstruován jako kompaktní celek.



Audio 3.1 Převodníky



Měřicí členy byly náplní předmětu Prvky řídicích systémů, akční členy budou probrány v samostatné kapitole. Zde se budeme snažit se zabývat pouze bodem 2, tj. realizací výpočetních funkcí regulátoru. Tento člen bývá zpravidla označován jako **ústřední člen**. Vzhledem k tomu, že ústřední člen bývá často konstruován jako samostatný konstrukční prvek, jehož výstupní signál je dále nejvýše lineárně zesilován, tedy již nejsou generovány další časové funkce, přenáší se často název "regulátor" pouze na ústřední člen, což použijeme i v dalším výkladu.



w	žádaná hodnota	v	poruchová veličina
$e = w - y$	regulační odchylka	R	regulátor
u	akční veličina	S	soustava
y	regulovaná veličina		porovnávací člen

Obr. 1. Členění regulátoru

3.2 ROZDĚLENÍ REGULÁTORŮ

Regulátory lze rozdělit podle různých hledisek.

Jestliže regulátor využívá pro svou činnost energie regulované veličiny, mluvíme o **regulátoru přímém**, nebo v praxi obvykle nesprávně označovaném jako **přímočinném** (např. Wattův regulátor, redukční ventily, plovákové ventily, bimetalové termostaty apod.).

Regulátor využívající jiného zdroje energie je **regulátor nepřímý**.

Podle způsobu realizace výpočetních funkcí rozdělujeme regulátory na **analogové a číslicové**.



Regulátory realizující lineární přenosové funkce označujeme jako **lineární**, opakem jsou **nelineární regulátory**, realizující přenosové funkce nelineární.

Jestliže je výstupní veličinou spojitý signál, hovoříme o **regulátoru spojitém**, v opačném případě o **regulátoru nespojitém**.

Pokud nabývá výstupní veličina nespojitého regulátoru dvou nebo více definovaných hodnot, hovoříme o **regulátoru polohovém**, obvykle v názvu označujeme počet těchto stavů, např. **dvoupolohový, třípolohový regulátor** atd.

Dalším typem nespojitého regulátoru je např. **regulátor impulsní**, jehož výstupním signálem je řada impulsů s různým typem modulace.

3.3 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ÚSTŘEDNÍCH ČLENŮ (REGULÁTORŮ)

Základní vlastnosti regulátoru popíšeme na příkladu lineárního analogového regulátoru, ze kterého lze odvodit i další typy regulátorů.

Regulátor zpravidla obsahuje prvek pro nastavení žádané hodnoty regulované veličiny a dále sčítací člen pro určení regulační odchylky.

Lineární regulátor dále vytváří časové funkce regulační odchylky. Základní jsou:

- zesílení odchylky, tzv. proporcionální kanál **P**,
- časový integrál odchylky - integrační kanál **I**,
- derivace odchylky podle času – derivační kanál **D**.



Audio 3.2 Lineární regulátor



Často jsou používány samostatné regulátory s uvedenými přenosy podle regulačního záměru - bylo probráno v teorii automatického řízení. Častější je případ současného využití více typů přenosu. Nejčastěji se používají regulátory s přenosy **P**, **I**, **PI**, **PD** a **PID**. Samostatný regulátor s přenosem **D** se používá velmi zřídka (např. regulace rychlosti při použití měřicího členu polohy – zde regulátor typu **D** slouží k získání informace o rychlosti ze signálu polohy). Kromě těchto základních přenosových členů bývají regulátory často vybavovány vstupy dalších veličin a jejich funkčním zpracováním. Jsou to zejména:

- pomocný proporcionální kanál,
- pomocný derivační kanál, tzv. "přechodová derivace",
- případně další.

V analogových regulátorech se zpravidla generuje každá uvedená časová funkce samostatným blokem. Nejčastější používaná zapojení jsou:

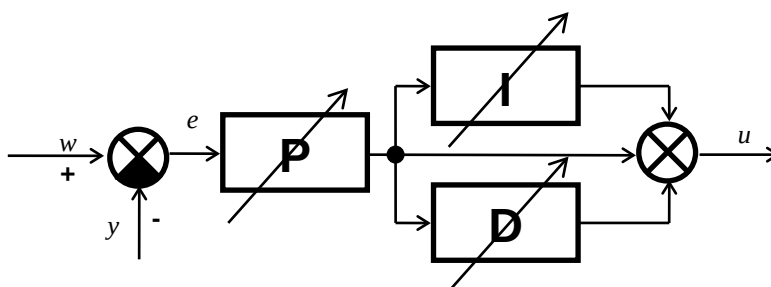
- regulátor s předřazeným proporcionálním členem (obr. 2),
- regulátor se samostatnými kanály – bezinterakční (obr. 3).

V prvním případě změnou nastavení proporcionálního členu se mění úroveň signálu a následně i přenosové konstanty ve všech zbývajících kanálech, tedy při změně zesílení musíme přestavovat i nastavení ostatních složek pro dosažení původně nastaveného přenosu těchto složek.

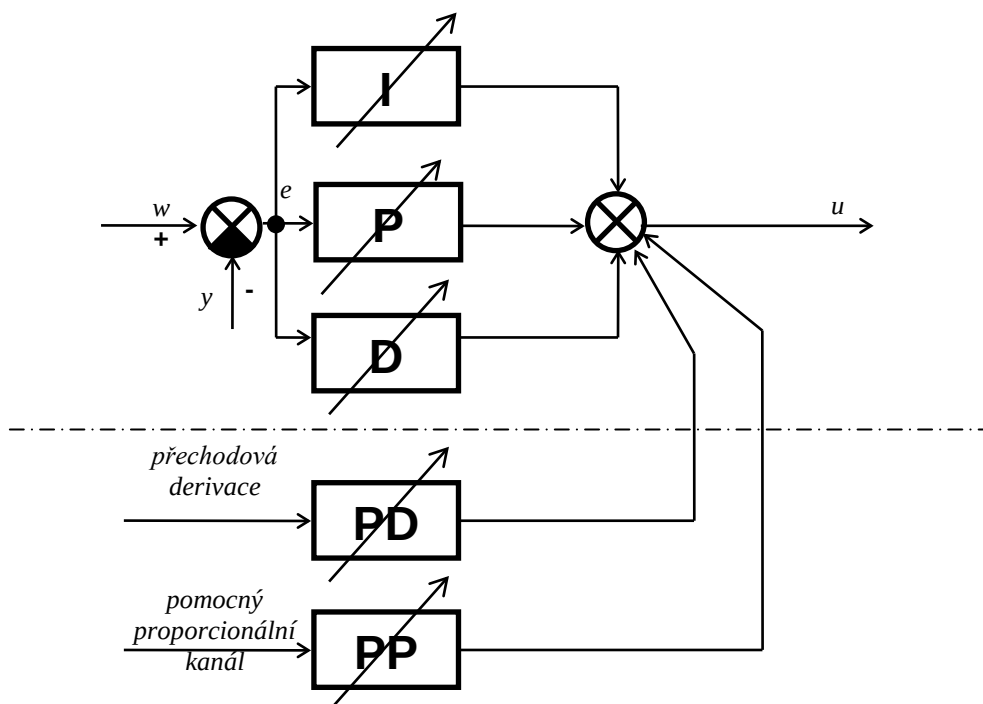
Konstrukce regulátoru podle obrázku 3 umožňuje nezávislé nastavení jednotlivých přenosových kanálů, jedná se o tzv. bezinterakční regulátor, kde nastavení jedné složky neovlivňuje nastavení jiné složky.

Pomocné kanály jsou rovněž zpravidla zařazovány jako bezinterakční (obr. 3).





Obr. 2. Regulátor s předřazeným P členem



Obr. 3. Bezinterakční regulátor (v dolní části doplněný kanálem přechodové derivace PD a pomocným proporcionálním kanálem PP)

Kanál přechodové derivace **PD** umožňuje realizovat např. zrychlení odezvy regulačního obvodu na vstupní podnět. Např. u regulace spalovacího poměru, ve které je řídicí veličinou množství plynu, podle které se reguluje množství vzduchu je žádaná hodnota množství vzduchu odvozována od signálu průtokoměru plynu. Při rychlé změně množství plynu průtokoměr reaguje s jistým zpožděním, takže skutečné množství vzduchu se nastaví až s tímto zpožděním a zpožděním vlastního regulačního obvodu. Přivedením signálu žádané hodnoty množství plynu na kanál přechodové derivace regulátoru množství vzduchu se generuje na výstupu tohoto členu impuls postupně se zmenšující k nule. O tento impuls vzroste signál akční veličiny regulátoru a servopohon klapky vzduchu se rozjede žádaným směrem. Signál přechodové derivace se sice postupně zmenšuje, ale mezitím již reagovaly snímače množství a spalovací poměr se znovu řídí uzavřeným regulačním obvodem. Pomocný proporcionální kanál **PP** je vhodný např. pro zavedení korekčních signálů do koncových členů – např. umožňuje postupné otevírání regulačních klapek odlišných průměrů při regulaci průtoku v širokém rozsahu, které nejsou realizovatelné jedinou klapkou.

3.4 PŘENOSOVÉ FUNKCE A JEJICH REALIZACE

Požadované přenosové funkce regulátoru je možno realizovat:



- užitím číslicového počítače, pak se jedná jen o provedení příslušných matematických operací,
- analogovými výpočetními členy - které musí být fyzicky realizovány.

Základním počítacím prvkem analogových regulátorů je zesilovač s velkým zesílením tzv. operační zesilovač, jehož přenos je určen prvky zapojenými v jeho zpětné vazbě. Použitím stabilních prvků ve zpětné vazbě se dosahuje dlouhodobé časové stálosti nastavení parametrů regulátoru.

Historicky byly výpočetní prvky realizovány velkou řadou různých konstrukcí mechanických (např. Wattův regulátor), elektrických, pneumatických, hydraulických atd. Velmi názorný přehled podává např. příručka [1].

Jedná se zpravidla o prosté regulátory proporcionální. Je někdy dosti obtížné v konstrukci těchto regulátorů identifikovat jednotlivé funkční prvky regulátoru, tj. měřicí člen, porovnávací člen, nastavení žádané hodnoty atd.

3.5 SKUTEČNÝ REGULÁTOR

Skutečný regulátor nevystačí jen s realizací příslušných matematických operací. Regulátor zpravidla kromě výše uvedených funkcí ještě realizuje:

- přechod z ručního ovládání na automatický provoz regulačního obvodu a zpět,
- tzv. beznárazové přepínání automatické nebo poloautomatické z ručního na automatický provoz,
- ruční ovládání koncové servosmyčky,
- řídicí člen koncové servosmyčky,
- opatření k omezení nárůstu integrační složky.
- Na panelu regulátoru jsou zpravidla umístěny tyto ovládací a indikační prvky:
- nastavení žádané hodnoty,
- ukazování skutečné hodnoty regulované veličiny,
- ukazování velikosti regulační odchylky,
- ukazování velikosti akční veličiny (výstupního signálu z ústředního členu),
- u regulátorů s impulsním výstupem indikace směru a doby trvání akční veličiny (impulsy "více - méně") - po dobu trvání impulsu svítí příslušná signálka pro směr "více", "méně",
- ukazování skutečné polohy akčního orgánu,
- přepínač ručního/automatického provozu,
- tlačítka ručního ovládání koncového členu,
- světelná indikace dosažení krajních poloh akčního orgánu,
- indikace překročení nastavené meze regulační odchylky,
- tlačítka ručního dálkového ovládání polohy akčního orgánu,
- některé další indikace.
- Uvnitř regulátoru jsou prvky přístupné pouze technikovi měřicí a regulační techniky:
- nastavení přenosu jednotlivých kanálů regulátoru,
- nastavení rozsahů měřicího členu,
- nastavení koncové servosmyčky,
- nastavení rozsahu jednotlivých indikátorů,
- nastavení mezí pro jednotlivé indikace (meze regulační odchylky, regulované veličiny apod.).

Blokové schéma skutečného regulátoru je na obr. 4.

Přenosové funkce jednotlivých kanálů byly podrobně probrány v teorii automatického řízení.



3.5.1 Beznárazové přepínání z ručního na automatický provoz

Při ručním provozu řízené soustavy je regulační obvod rozpojen a akční člen se ručně ovládá např. pomocí tlačítek na panelu regulátoru. Matematické členy regulátoru dostávají do jisté míry náhodný signál regulační odchylky, tedy i výstupní signál ústředního členu je náhodný a nemusí se shodovat se skutečnou polohou akčního členu. Při přímém přepnutí na automatický provoz se tento náhodný signál ústředního členu objeví jako žádaná poloha regulačního orgánu a koncová servosmyčka zajistí přestavení regulačního orgánu do takto definované polohy a teprve další činností regulačního obvodu se tato poloha koriguje. Následkem může být velká změna akční veličiny, která může způsobit např. rozkmitání regulačního obvodu nebo nepřípustné technologické změny.

U regulátorů, které využívají integrační kanál, lze tyto nežádoucí vlivy omezit. Při přepnutí do polohy ručního provozu se přepojí vnitřní struktura ústředního členu dvojicí spřažených přepínačů A/R na obr. 4 jejich přestavením do polohy R. tak, že se odpojí vstup integračního kanálu od signálu regulační odchylky e a tento kanál je použit jako samostatný regulátor, jehož žádanou hodnotou je skutečná okamžitá poloha regulačního orgánu a regulovanou veličinou výstup z ústředního členu. Tedy výstup I kanálu se automaticky dostavuje tak, aby součet výstupů všech časových členů regulátoru byl roven okamžité hodnotě polohy regulačního orgánu.

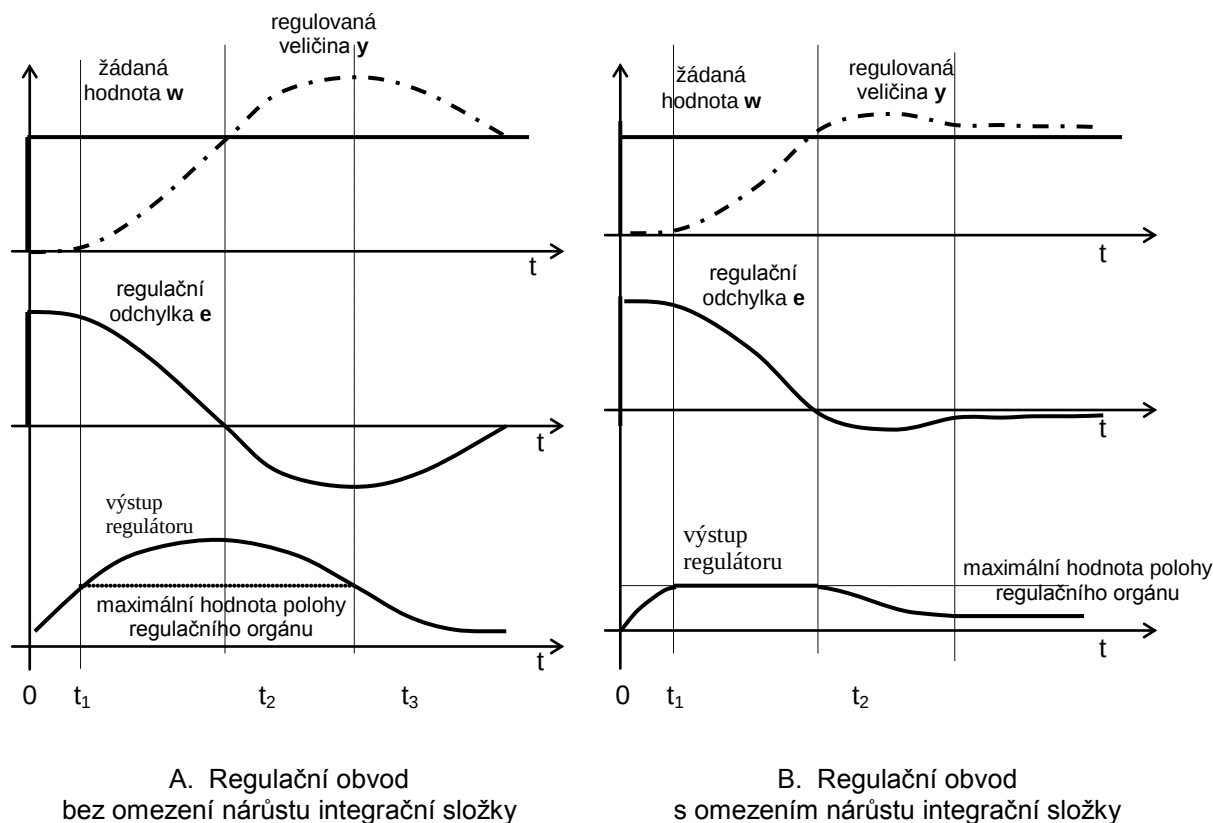
Při přepnutí na automatický provoz je shodná poloha regulačního orgánu s výstupním signálem ústředního členu a nedojde tak k jeho nežádoucímu velkému přestavení.

3.5.2 Omezení nárůstu integrační složky

Jestliže při automatické činnosti regulačního obvodu dosáhne regulační orgán některé krajní polohy, tedy už nemůže dojít ke změně akční veličiny žádoucím směrem, znamená to, že byla vlastně přerušena regulační smyčka a systém není dále řízen. Jestliže regulátor využívá integrační složku, pak tato díky nenulové regulační odchylce neustále narůstá a výstup integračního kanálu až k technicky možné mezi, což může působit potíže při opětovném dosažení nulové regulační odchylky.

Podrobněji to vysvětlíme na příkladu regulace teploty v peci vytápěné plynem při skokovém zvýšení žádané teploty. Časové průběhy významných veličin jsou uvedeny na obr. 5. V levé části – případ A - je chování regulátoru bez funkce omezení nárůstu integrační složky. Vzhledem k omezenému příkonu nesleduje regulovaná veličina ihned žádanou hodnotu, nicméně regulátor otevírá klapku plynu až do její maximální polohy, které dosáhne v čase t_1 , regulační obvod je přerušen a pec není řízena. Kladná regulační odchylka způsobuje ale stálý nárůst výstupu integračního kanálu. Po dosažení žádané teploty v čase t_2 se polarita regulační odchylky změní, teplota v peci roste nad žádanou hodnotu, ale klapka zůstává stále na doraze až do doby, než poklesne hodnota výstupu z regulátoru, tj. sníží se zejména výstup integračního kanálu. K tomu dojde v čase t_3 , kdy je činnost regulačního obvodu obnovena. Protože nebyla ošetřena funkce integračního kanálu, došlo k velkému překmitu regulované veličiny a po celou dobu mezi časy t_1 a t_3 nebyl systém řízen.





Obr. 5. Činnost regulačního obvodu při omezení nárůstu integrační složky

Jestliže je zajištěno omezení nárůstu integrační složky – případ B na obr. 5, probíhá regulační děj do času t_2 shodně jako v případě A, tedy mezi časy t_1 a t_2 není systém řízen. Při dosažení krajní polohy regulačního orgánu se struktura regulátoru přepne do polohy jako při ručním řízení, tj. spínače A/R na obr. 4 se přepnou do polohy R. Tím se zajistí shoda výstupu regulátoru s hodnotou odpovídající okamžité poloze regulačního orgánu. Jakmile dosáhne v čase t_2 teplota v peci své žádané hodnoty a polarita regulační odchylky se změní, regulační orgán se začne zavírat, přepínače A/R na obr. 4 se přepnou do polohy A a systém je od tohoto okamžiku dále automaticky řízen bez velkého překmitu regulované veličiny. Omezení nárůstu integrační složky lze dosáhnout dvěma způsoby. V jednodušším případě je zajištěno např. elektronicky omezení nárůstu signálu integračního kanálu nad stanovenou mez.

Lepším řešením je omezení nárůstu popsaným aktivním způsobem, kdy při dosažení krajní meze akčního orgánu se struktura ústředního členu přepojí obdobně jako v případě beznárazového přepínání, kdy integrační kanál zajišťuje shodu výstupního signálu ústředního členu se skutečnou polohou akčního členu. Tuto funkci je nutno zajistit i při číslicové realizaci regulátoru.

3.6 REALIZACE REGULÁTORŮ

3.6.1 Analogové lineární regulátory

V průmyslových provozech je možno se stále setkat s analogovými regulačními systémy. Vývoj stavebnicových regulátorů u nás začal elektronickým systémem ERS, pokračoval systémem URS s germaniovými a následně URS-Si s křemíkovými tranzistory. Integrované operační zesilovače byly uplatněny v systému URS 3. generace v obchodní verzi označovaný jako NOTRIK, později dále zdokonalen pod obchodním názvem MODIN.

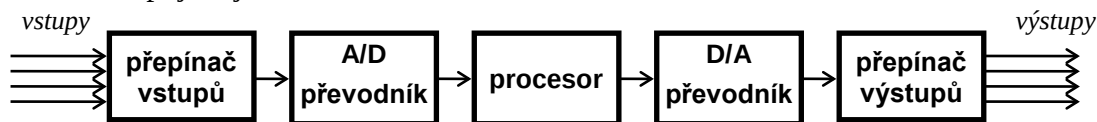
Kompaktní verzi systému NOTRIK byly regulátory NOTRON.



3.6.2 Počítačová realizace regulátorů

Užitím řídicích počítačů lze realizovat ideální přenosové funkce. Proti analogovým regulátorům, kde jsou jednotlivé veličiny a jejich hodnoty representovány skutečnými signály realizovanými měronosnými veličinami, jsou tyto hodnoty realizovány v počítači pouze číselnou hodnotou. Žádaná hodnota regulované veličiny je rovněž zpravidla zadávána jako číslo např. z klávesnice operátora nebo jiným ovládacím prvkem.

Hardwarové zapojení je na obr. 6.



Obr. 6. Principiální schéma zapojení číslicového regulátoru

Rozvoj číslicové techniky, zejména vznik universálního a levného prvku - mikroprocesoru - umožnil vznik mikroprocesorových regulátorů. Jedná se o jednoúčelové číslicové přístroje, které zvenčí vypadají jako klasické analogové regulátory, ale veškeré vnitřní zpracování signálů se děje zabudovaným mikropočítačem. Schéma zpracování signálů odpovídá obr. 6. Výstup je opět opatřen D/A převodníkem, takže při vysoké frekvenci vzorkování a zpracování signálu mikroprocesorem se tento regulátor jeví uživateli jako plně analogový.

3.7 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Vyčlenění částí regulátorů.
- Vlastnosti skutečného regulátoru.
- Beznárazové přepínání z ručního na automatický provoz.
- Omezení nárůstu integrační složky.
- Realizace spojitých regulátorů



4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: *Technické prostředky automatického řízení*/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BERAN, V.: *Technická měření*. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 129 s. ISBN 80-7082-036-5.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: *Technická měření*. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] ĎAĎO, S. – KREIDL, M.: *Senzory a měřicí obvody*. ČVUT, Praha, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [5] ĎAĎO, S.: *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum ČVUT Praha, 1990.
- [6] HOFMANN, D.: *Priemyselná meracia technika*, 3. vydanie, Bratislava: Alfa, 1988, 568 s. ISBN 80-05-00139-8.
- [7] HUSÁK, M.: *Senzorové systémy*. Skriptum ČVUT Praha, 1993.
- [8] KOBĚRSKÝ, J. *Technické prostředky řídicích systémů*. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [9] NUTIL, J., ČECH, V.: *Měření v hutním průmyslu*. SNTL. Praha 1982.
- [10] ROUBAL, J.: *Regulační technika v příkladech. Moderní postupy pro běžnou praxi*. BEN - technická literatura, 2011. ISBN / EAN 978-80-7300-260-2 / 9788073002602.
- [11] SŮVA, S., SKOČDOPOLE, J., NOVÁK, P.: *Prvky řídicích systémů*. 1. vyd. Praha: ČVUT Fakulta elektrotechnická, 1987. 208 s. skriptum.
- [12] STACH, J., aj.: *Československé integrované obvody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975.
- [13] ZEHNULA, K.: *Převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum FE VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0439-6.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Nespojité regulátory

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

4	NESPOJITÉ REGULÁTORY	3
4.1	Nespojité regulátory	4
4.2	Přímé dvoupolohové regulátory	4
4.3	Nespojité polohové regulátory bez vnitřní zpětné vazby.....	5
4.3.1	Dvoupolohový regulátor s hysterezí.....	5
4.3.2	Vícepolohové regulátory	8
4.4	Nespojité regulátory s vnitřní zpětnou vazbou	9
4.4.1	Dvoupolohový regulátor se zpožďující zpětnou vazbou	9
4.5	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	14
5	POUŽITÁ LITERATURA	15



4 NESPOJITÉ REGULÁTORY



OBSAH KAPITOLY:

Rozdělení nespojitých regulátorů.
Nespojité regulátory bez zpětné vazby.
Nespojité regulátory se zpětnou vazbou.



MOTIVACE:

Spojité regulátory jsou velmi přesné a univerzálně použitelné, nicméně často zbytečně ekonomicky náročné. Proto je v řadě případů velice výhodné použití regulátorů nespojitých. Základní typy nespojitých regulátorů si zde uvedeme na příkladech. Jedná se především o regulátory polohové a impulsní. Další vlastnosti výsledného chování nespojitého regulátoru určují vlastnosti zpětné vazby. Základní filosofii nespojitých regulátorů a jejich vlastnosti si zde vysvětlíme.



CÍL:

Rozdělení nespojitých regulátorů a možné varianty provedení.

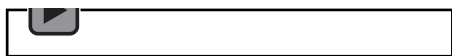


4.1 NESPOJITÉ REGULÁTORY

Základní vlastností nespojitých regulátorů je, že alespoň jeden z výstupních signálů regulátorů je nespojitou funkcí signálu regulační odchylky nebo času.



Audio 4.1 Nespojité regulátory

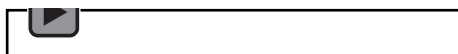


Zde je nutno zahrnout široké spektrum různých typů regulátorů, které ve spojení s různými typy pohonů regulačních orgánů i vlastních regulačních orgánů, s různými typy regulovaných soustav vytvářejí řadu často složitých přenosových a regulačních funkcí. Vzhledem k jednoduchosti ústředního členu a často i navazujícího akčního členu je u méně náročných regulací jejich použití ekonomicky výhodnější než použití drahých spojitých regulátorů.

Základním kvalitativním rozdílem proti spojitým regulátorům je skutečnost, že při užití nespojitých regulátorů nedojde prakticky nikdy k ustálení regulované veličiny, ale za ustálený stav se považuje kmitání regulované veličiny kolem její žádané hodnoty označované v teorii nelineární regulace jako tzv. mezní cyklus.



Audio 4.2 Nespojité regulátory



Velikost rozkmitu regulované veličiny je výsledkem mnoha vlivů. Nicméně základním problémem zůstává skutečnost, že při zmenšení amplitudy rozkmitu roste četnost spínání akční veličiny, takže je nutno hledat kompromis mezi přesností regulace a např. životností spínacího členu, který má obvykle garantovaný v době své životnosti omezený počet sepnutí.

Běžné druhy nespojitých regulátorů běžně dělíme do dvou kategorií:

- regulátory **polohové**, jejichž výstupní veličina – akční veličina v regulačním obvodu dosahuje přesně definovaných hodnot. Např. u dvupolohového regulátoru akční veličina obvykle může dosahovat hodnot „zapnuto“ a „vypnuto“, u třípolohového pak hodnot „zapnuto na maximální výkon“, „zapnuto na omezený výkon“, „vypnuto“.
- regulátory **impulsní**, u kterých je akční veličina ve formě sledu impulsů, nejčastěji konstantní amplitudy a proměnné šířky a četnosti.



Audio 4.3 Nespojité regulátory

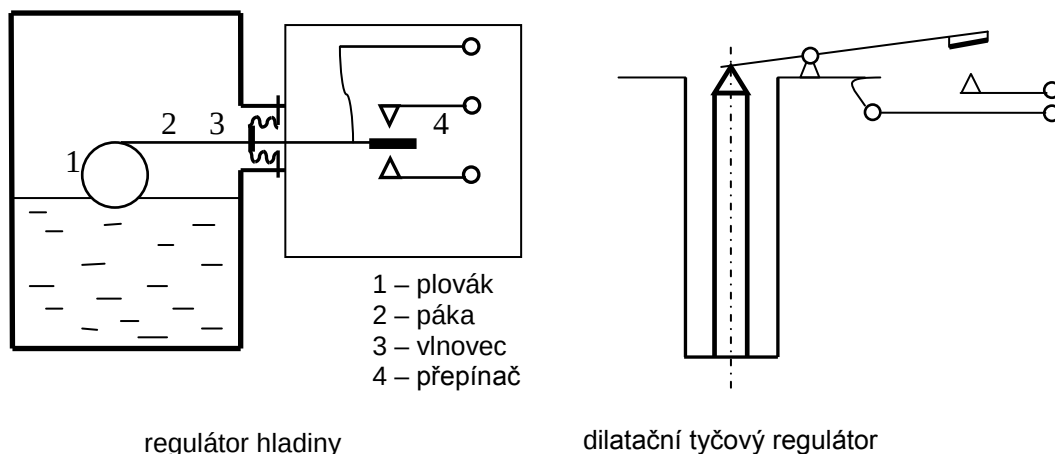


Pokusíme se zde přiblížit jen základní filosofii těchto regulátorů a některé možné modifikace jejich vlastností.

4.2 PŘÍMÉ DVOUPOLOHOVÉ REGULÁTORY

Patří mezi nejjednodušší regulátory nenáročných zařízení, jako jsou např. elektrické žehličky, regulátory teploty v chladničkách a obecně termostaty vůbec, regulátory výšky hladiny řídicí čerpadla, regulátory tlaku v zásobnících kompresorů apod. U regulátorů teploty je obvykle spojen dilatační teploměr (bimetal, tlakový teploměr) s kontaktním systémem spínajícím proud do topného článku nebo do kompresoru chlazení. Příklady takových regulátorů jsou na obr. 1.





Obr. 1. Příklady přímých dvupolohových regulátorů

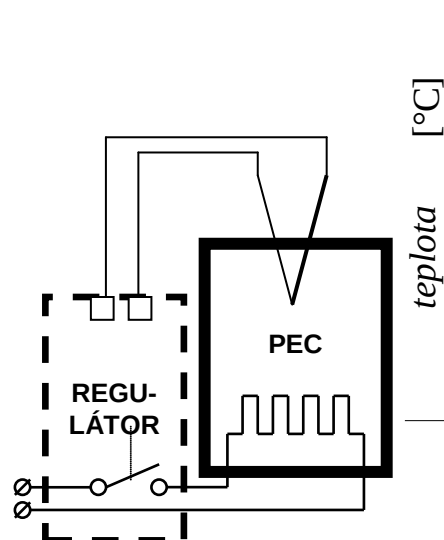
4.3 NESPOJITÉ POLOHOVÉ REGULÁTORY BEZ VNITŘNÍ ZPĚTNÉ VAZBY

Do této skupiny lze zařadit výše uvedené přímé regulátory. Tento typ regulátorů se vyskytuje i v „přístrojovém“ provedení velice často jako panelový ukazovací přístroj regulované veličiny doplněný představitelnými snímači polohy ručky na stupnici. Přestavením těchto snímačů navazujících na výstupní kontaktní systém se nastavuje žádaná hodnota regulované veličiny a hystereze regulátoru.

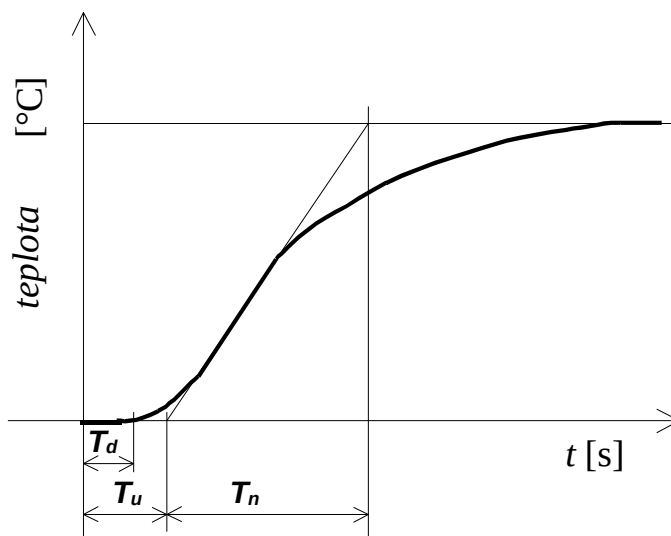
4.3.1 Dvupolohový regulátor s hysterezí

Příkladem užití takového regulátoru může být regulace teploty v elektricky odporově vytápěné peci uvedená na obr. 2. Teplota v peci se měří termočlánkem, výstup termočlánku zpracovává regulátor na akční veličinu reprezentovanou sepnutím příkonu do topného vinutí pece kontaktem regulátoru. Předpokládejme, že přenos *teplota v peci/příkon do pece* lze aproximovat proporcionální soustavou 2. řádu s dopravním zpožděním, jejíž přechodová charakteristika s vyznačenou dobou průtahu T_u , dobou náběhu T_n a dopravním zpožděním T_d je uvedena na obr. 3.

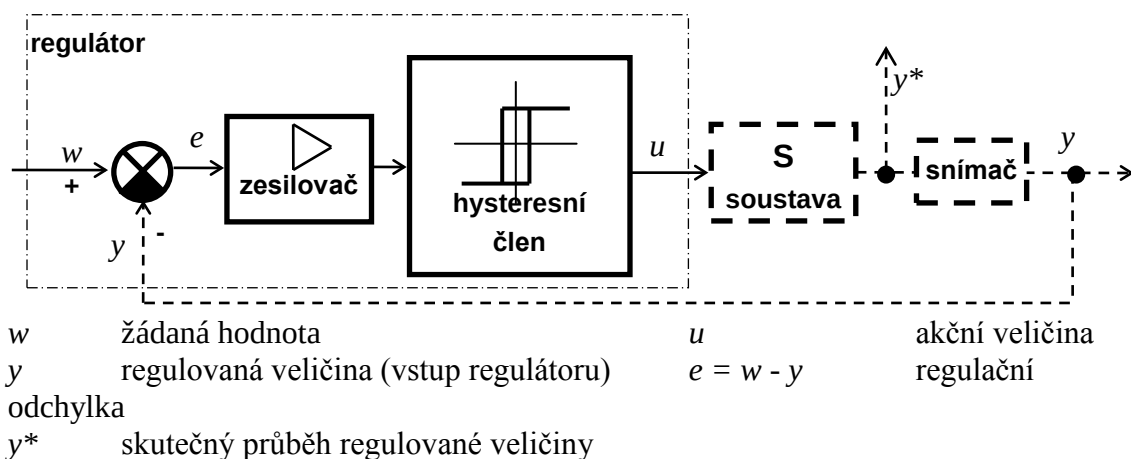
Blokové schéma takového regulátoru je na obr. 4. Regulační odchylka e vypočtená porovnávacím členem se zesiluje zesilovačem a navazující hysteresní člen tvaruje tento signál na dvouhodnotový signál akční veličiny u , který vstupuje do regulované soustavy S . Statická charakteristika tohoto regulátoru je na obr. 5.



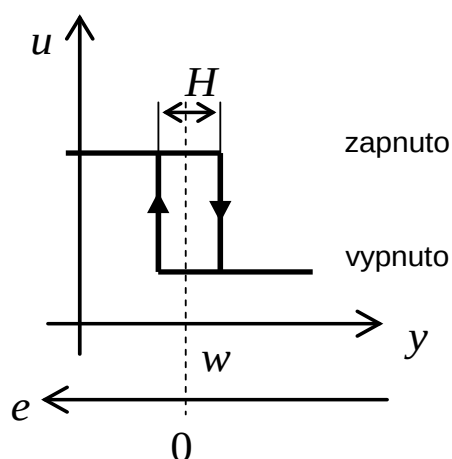
Obr. 2. Dvoupolohová regulace teploty v peci



Obr. 3. Přechodová charakteristika samostatné soustavy



Obr. 4. Blokové schéma dvoupolohového regulátoru bez zpětné vazby



Obr. 5. Statická charakteristika dvoupolohového regulátoru

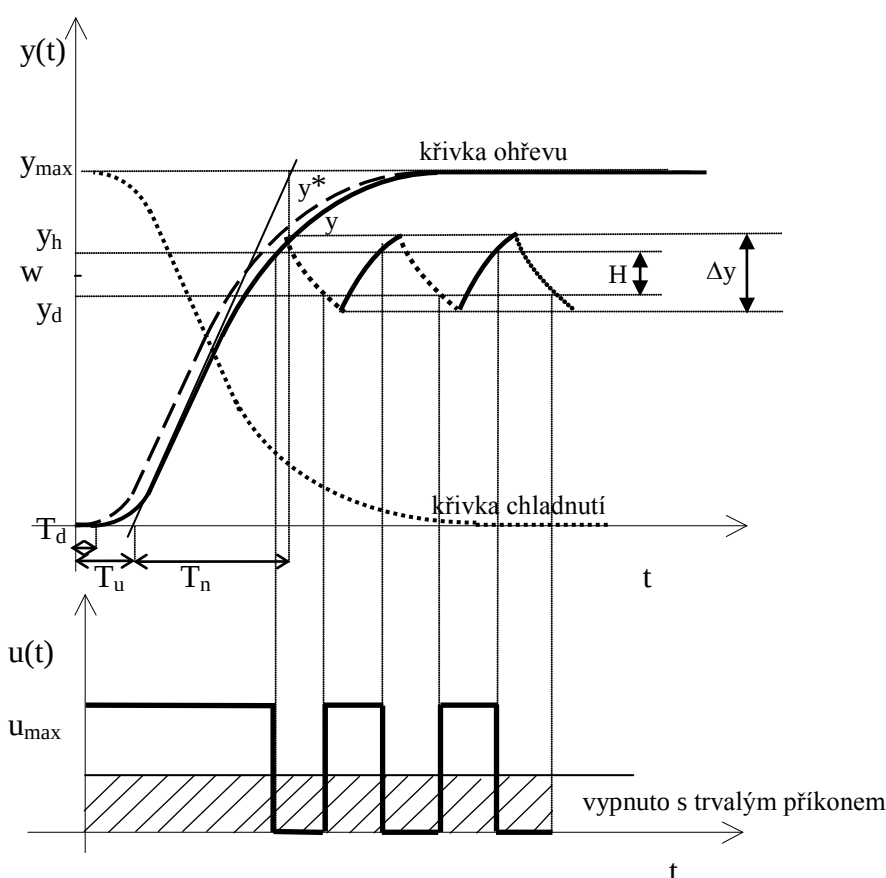
Časový průběh regulačního děje při řízení pece tímto regulátorem je na obr. 6. Protože na vstup soustavy přivádíme skokové změny vstupního signálu, skládá se výstupní průběh z úseků přechodových charakteristik.



Při rozboru tohoto průběhu je nutno si nejprve uvědomit, jaké informace o regulované veličině vlastně regulátor má. Tuto informaci získává regulátor prostřednictvím měření vhodným snímačem (jak je naznačeno na obr. 4). Snímač má své vlastní dynamické vlastnosti a při řešení obvodu jsou tyto vlastnosti součástí dynamického popisu soustavy. Tedy vstupní informací regulátoru je veličina y (na obr. 4), skutečná hodnota regulované veličiny je označena y^* .

Pro zjednodušení výkladu předpokládejme, že soustava na obr. 4 je dostatečně popsána přenosem se dvěma časovými konstantami, tedy proporcionálním přenosem 2. řádu, vlastní snímač je reprezentován pouze dopravním zpožděním, tedy výsledná přechodová charakteristika obou těchto komponent je na obr. 3 – průběh veličiny y z obr. 4.

Časový průběh regulačního pochodu je na obr. 6. Průběh akční veličiny u v dolní části obrázku lze popsat jako součet jednotkových skoků a to střídavě s kladnou a zápornou polaritou generovaných v okamžiku přepnutí regulátoru. Odezvou na tento průběh je součet shodných přechodových charakteristik opět se střídající se polaritou, jejichž začátek je v okamžiku přepnutí.



Obr. 6. Časový průběh regulačního pochodu statické soustavy s dvoupolohovým regulátorem

V horní části jsou zakresleny dva průběhy regulované veličiny a to skutečná teplota v peci y^* a dále jinak shodný ale v čase posunutý o dopravní zpoždění T_d průběh výstupu snímače y (viz obr. 4), který je vstupní informací regulátoru. Regulátor přepíná při překročení mezi nastavené hystereze H , ovšem skutečná teplota v peci y^* narůstá (při ohřevu) nad nebo klesá (při chladnutí) pod tyto meze díky zpožděné informaci regulátoru o dopravní zpoždění T_d .

Ustálená hodnota, již by dosáhla regulovaná veličina při stálém zapnutí akční veličiny je označena $y_{\max}$ a analogicky ustálená hodnota při stálém vypnutí akční veličiny $y_{\min}$. V [2] se uvádí, že pokud žádaná hodnota w leží v rozmezí

$$0,3 (y_{\max} - y_{\min}) < w < 0,7 (y_{\max} - y_{\min}), \quad (1)$$

pak pro rozkmit regulované veličiny platí přibližný vztah



$$\Delta y^* = \frac{T_u}{T_n}(y_{\max} - y_{\min}) + H \quad (2)$$

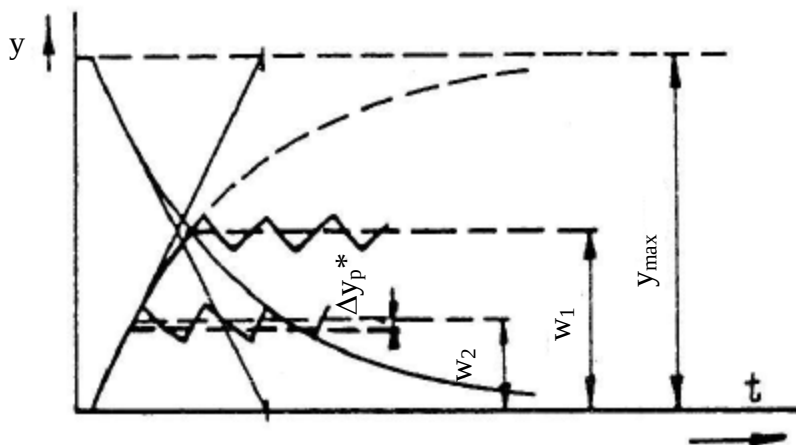
kde H je hystereze regulátoru.

Vliv hystereze na rozkmit regulované veličiny lze obvykle omezit nastavením regulátoru a v praxi má obvykle na kolísání regulované veličiny proti ostatním činitelům nejmenší vliv. Poměr T_u/T_n je dán vlastnostmi regulované soustavy. Doba náběhu T_n je dána vlastnostmi regulované soustavy a nemůžeme ji zpravidla ovlivnit. V době průtahu T_u je obsaženo jak zpoždění dané vlastnostmi soustavy, které nemůžeme ovlivnit, tak i dopravní zpoždění T_d , které jsme v našem idealizovaném případě přisoudili snímači. Toto dopravní zpoždění je možno ovlivnit např. vhodnou volbou snímače – např. plášťového termočlánku místo klasického termočlánku v jímce a ochranné trubici apod. Důležitá je rovněž správná volba umístění snímače v prostoru pece.

Další možnost snížení rozkmitu regulované veličiny nabízí činitel $(y_{\max} - y_{\min})$ ve vztahu (2). Hodnota $y_{\max}$ je obvykle určena potřebným pracovním rozsahem dosažitelných teplot v peci. Často se volí značný příkon do pece a tedy velká (a z důvodu možného poškození konstrukčních materiálů pece vysokou teplotou často pouze teoreticky dosažitelná) hodnota $y_{\max}$ proto, aby měla pec dostatečnou výkonovou rezervu pro rychlé dosažení žádané teploty. Nabízí se tedy pouze možnost změny hodnoty $y_{\min}$ tím, že i při poloze regulátoru ve stavu „vypnuto“ zajistíme do pece takový příkon, aby teplota $y_{\min}$ byla pod žádanou hodnotou w , ale neklesala až k teplotě okolí (šrafovaná část obr. 6).

Při dvupolohové regulaci dochází ještě k dalšímu jevu a to k posunu střední hodnoty regulované veličiny v ustáleném stavu proti žádané hodnotě a to v závislosti na poloze žádané hodnoty w v intervalu $\langle y_{\min}, y_{\max} \rangle$. Tento posun je dán různou strmostí průběhu regulované veličiny při náběhu a při poklesu (obr. 7). Toto posunutí je určeno přibližným vztahem

$$\Delta y_p^* = \frac{T_u}{T_n} \left(\frac{y_{\max} - y_{\min}}{2} - w \right) \quad (3)$$



Obr. 7 Časový průběh regulačního pochodu

Další možnosti zlepšení funkce nabízejí složitější regulátory popsané v následujících odstavcích.

4.3.2 Vícepolohové regulátory

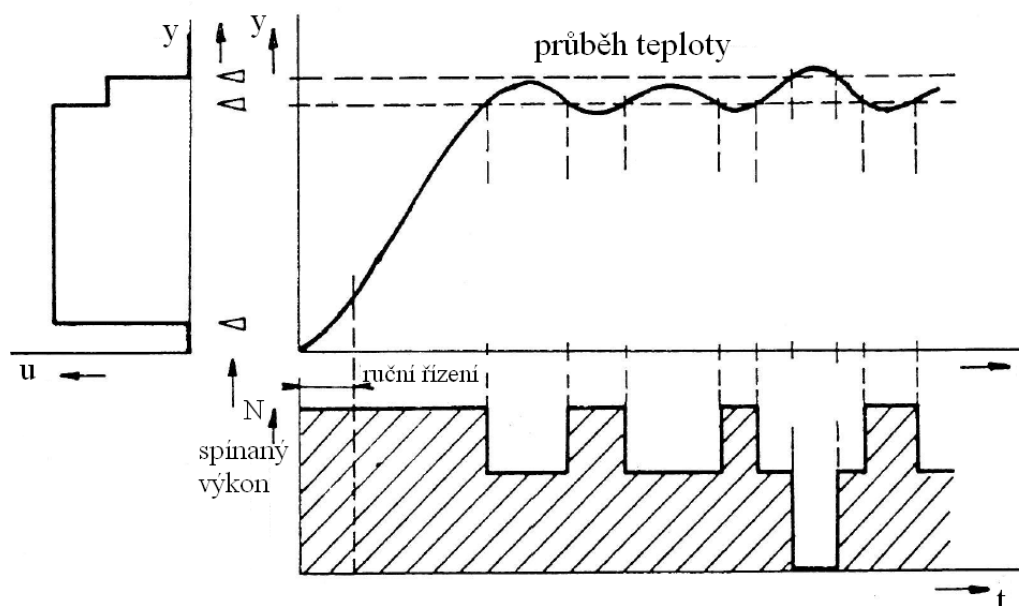
Blokové schéma vícepolohových regulátorů se shoduje s obr. 4, změna je pouze v nelinearitě – hysteresním členu, který může mít stupňovitě několik úrovní akční veličiny, tedy v případě pece spínají výstupní kontakty regulátoru různé hodnoty příkonu do pece. U elektricky odporově vytápěných pecí napájených z třífázové sítě je častý třípolohový regulátor, který přepíná mezi nulovým příkonem, příkonem určeným zapojením topných odporů do hvězdy



(Y – třetina jmenovitého příkonu) a do trojúhelníka (D – maximální příkon). Je možný a často užívaný i větší počet poloh regulátoru.

Zjednodušeně nakreslený průběh regulačního děje třípolohového regulátoru je na obr. 8. Vlevo od svislé osy je nakresleno přiřazení příkonu do pece jednotlivým polohám regulátoru daným nastavením přepínacích bodů, kterými se nastavuje i žádaná hodnota. Není zakreslena hystereze regulátoru.

Je zde zakreslena i častá hardwarová ochrana proti zničení pece např. při přerušení termočlánku zajišťujícího informaci o průběhu regulované veličiny pro regulátor. V tomto případě je signál nulový, a kdyby byl i nulové teplotě přiřazen plný příkon, došlo by k neřízenému přetopení pece a často i k jejímu zničení. Proto se této poloze přiřazuje nulový příkon a obsluha po spuštění pece musí např. přidržet tlačítka zapojit příkon do pece a vyčkat, až když teplota v peci překročí dolní přepínací bod regulátoru a pak už je ohřev řízen automaticky. Je to obdobná funkce jako překlenutí doby spuštění termoelektrické pojistky např. hořáku trouby plynového sporáku.



Obr. 8 Časový průběh regulačního pochodu třípolohového regulátoru

4.4 NESPOJITÉ REGULÁTORY S VNITŘNÍ ZPĚTNOU VAZBOU

Jestliže kolísání regulované veličiny i při využití všech prostředků popsaných v předchozích kapitolách nevyhovuje, je zejména u soustav s velkou hodnotou poměru T_u/T_n nutno použít vhodné úpravy regulátoru, která výrazně zlepší regulační pochod.

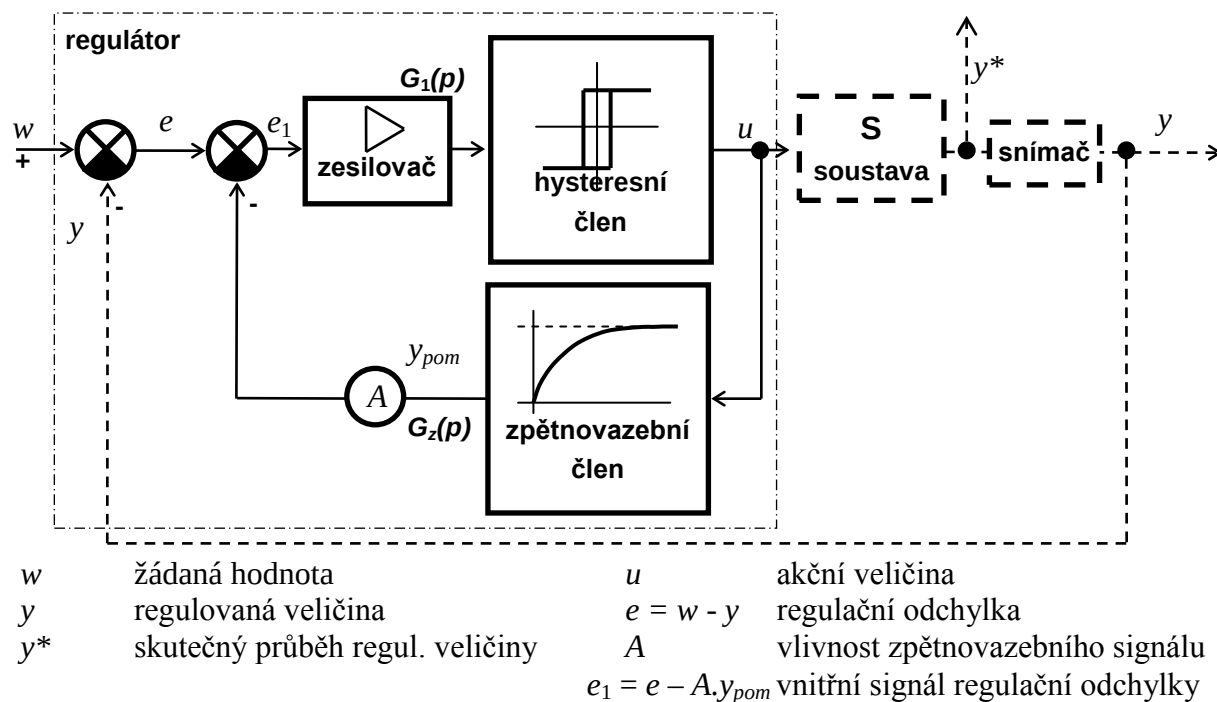
4.4.1 Dvoupolohový regulátor se zpožďující zpětnou vazbou

Z rozboru dvoupolohového regulátoru s hysteresí je vidět, že akční veličina se vypne až při překročení poloviční hystereze $H/2$ a vlivem zejména dopravního zpoždění pak dojde ke značnému překmitu regulované veličiny y.

Regulátor proto doplňujeme takovým obvodem, který předvídá chování regulované soustavy dříve, než dá čidlo signál o překročení hystereze regulátoru – je to jistá forma modelu soustavy.

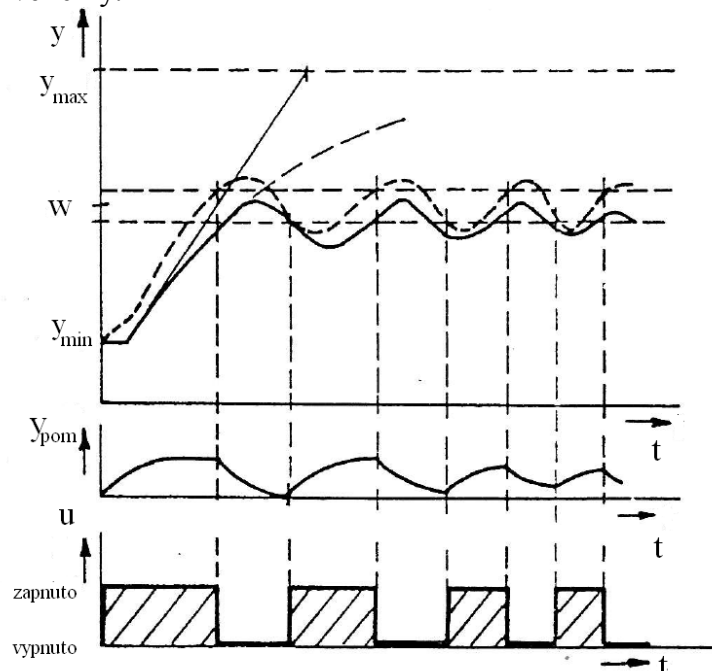
Tento obvod zpravidla realizujeme vnitřní zpětnou vazbou regulátoru - modelem soustavy tvořeným zpravidla proporcionální soustavou 1. řádu s nastavitelným zesílením. Blokové schéma tohoto regulátoru je na obr. 9.





Obr. 9. Blokové schéma dvupolohového regulátoru s vnitřní zpětnou vazbou

Průběh regulačního děje je na obr. 10. Signál y_{pom} generovaný zpětnovazebním členem regulátoru má stejnou polaritu jako regulovaná veličina, tedy „snižuje“ rychleji hodnotu signálu odchylky e_1 na vstupu zesilovače regulátoru proti odchylce e a tudíž dojde k přepnutí regulátoru dříve, než kdyby nebyl instalován zpětnovazební člen. Vlivnost tohoto signálu A se nastavuje na regulátoru. Tím, že dojde k přepnutí dříve než u obyčejného regulátoru, omezí se rozkmit regulované veličiny.



Obr. 10. Průběh regulačního pochodu dvupolohového regulátoru se zpožďující ZV

Pro zhodnocení vlivu zpožďující zpětné vazby vyjdeme z analogie se spojitým regulátorem. Přenos obecného zpětnovazebního obvodu je



$$G(p) = \frac{G_1(p)}{1 + G_1(p) \cdot G_z(p)} = \frac{1}{\frac{1}{G_1(p)} + G_z(p)} \quad (4)$$

přítom $G_1(p)$ je přenos v přímé větvi regulátoru, tj. zesilovače a hysteresečního členu, $G_z(p)$ pak přenos zpětnovazební části regulátoru, tj. vlastního zpětnovazební členu včetně nastavení jeho vlivnosti koeficientem A .

V okamžiku přepnutí hysteresečního členu dochází při malé změně vstupní veličiny k velké změně výstupu, tedy přenos $|G_1(p)| \gg 1$, tudíž bude první člen jmenovatele zlomku blízký nule a výsledný přenos bude určen prakticky pouze převrácenou hodnotou zpětnovazební přenosu

$$G(p) \cong \frac{1}{G_z(p)} \quad (5)$$

Protože zpětnovazební člen regulátoru je realizován obvykle proporcionálním členem prvního řádu s přenosem

$$G_z(p) = \frac{A}{Tp + 1} \quad (6)$$

tedy dosazením do (3.5) je v tomto okamžiku výsledný přenos regulátoru

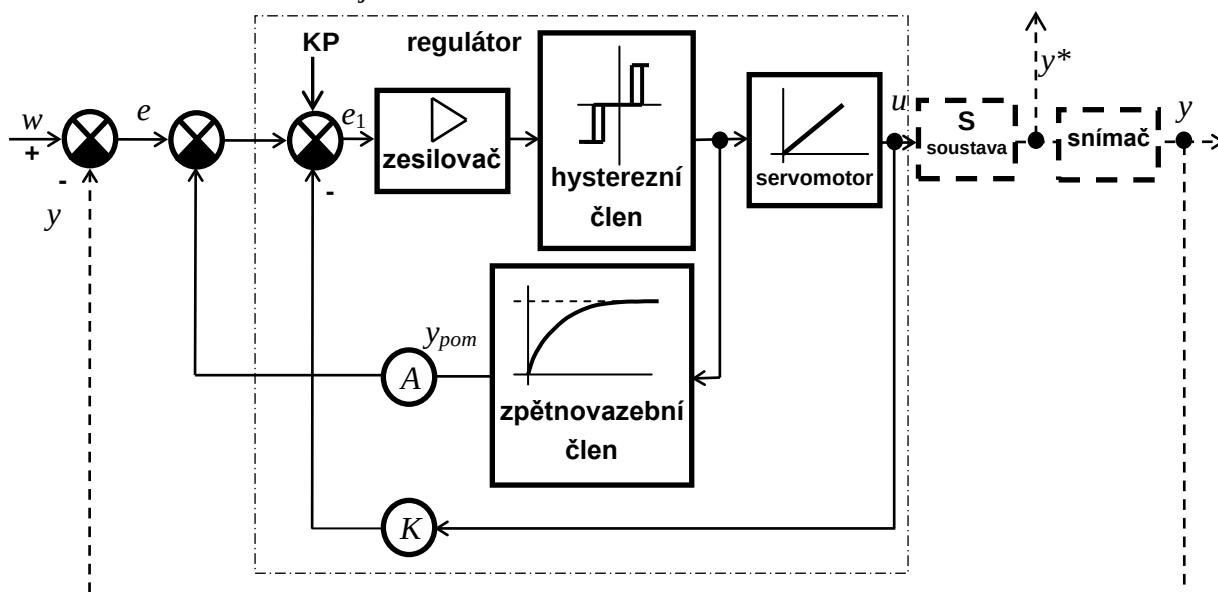
$$G(p) = \frac{1}{A}(1 + pT) \quad (7)$$

a přenos má proporcionálně derivační charakter.

V praxi jsou obvykle nespojité dvoupolohové regulátory se zpětnou vazbou a přenosem proporcionálně – derivačního charakteru velmi využívány.

Třípolohový impulsní regulátor se zpětnou vazbou

Tento regulátor se obvykle používá u těch soustav, kde je akčním orgánem ventil ovládaný motorem. Blokové schéma je na obr. 11.



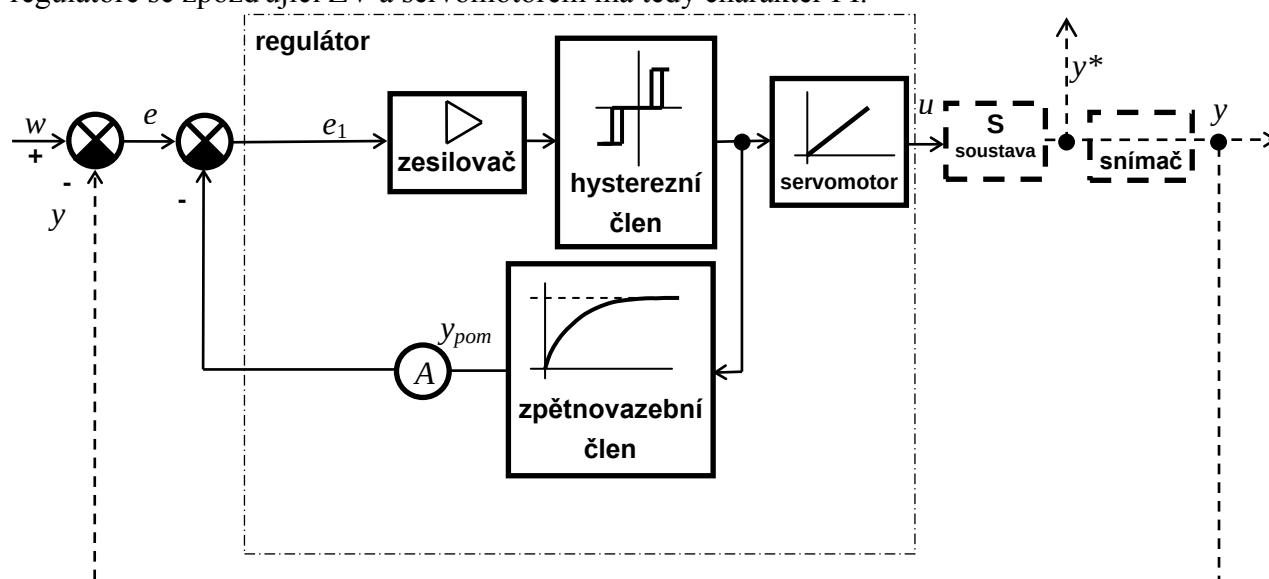
Obr. 11. Blokové schéma impulsního třípolohového regulátoru se zpětnou vazbou

Na schématu je patrné, že regulátor obsahuje dvě záporné zpětné vazby. První zpětná vazba, vychází ze stejné funkce jako u dvoupolohového regulátoru (obr. 9) a je to vnitřní zpětná vazba. Vnější - zvaná pevná záporná zpětná vazba, je záporná ZV vedena od polohy akčního členu. Nastavení této ZV je možno velikosti vlivnosti K a tím ovlivnit impulzování regulátoru.

Regulátor s charakterem PI se používá k regulaci běžných soustav, např. u ventilu ovládaného servomotorem. U tohoto typu regulátoru je zapojena pouze vnitřní zpožďující záporná zpětná vazba (obr. 12), která má charakter PD (viz dvoupolohový regulátor). Ve



výsledném přenosu je nutno uvažovat i servomotor s integračním charakterem, kdy poloha ventilu je úměrná integrálu pulsů ústředního členu regulátoru. Celkový přenos třípolohového regulátore se zpožďující ZV a servomotorem má tedy charakter PI.



Obr. 12. Impulsní regulátor s charakterem PI

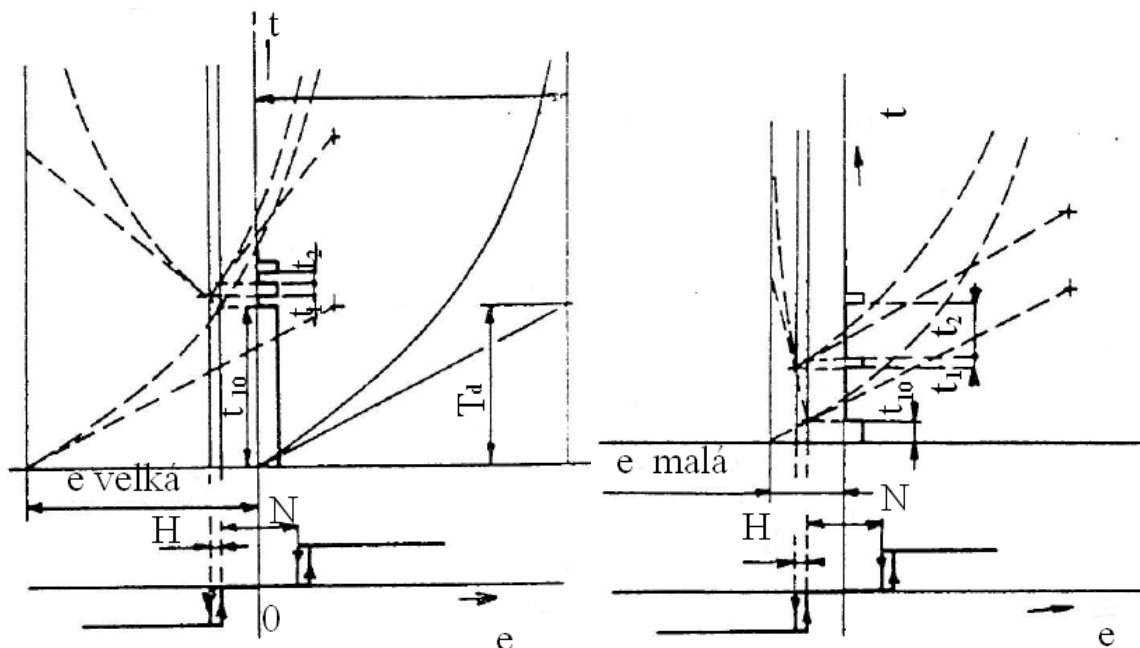
Chování zpožďující ZV:

- Při konstantní regulační odchylce způsobuje ZV pravidelné spínání výstupu regulátoru.
- Impulzování je dáno střídou m , která je při konstantní odchylce také konstantní.

Střída impulsů je definována jako $m = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$, tedy poměr doby trvání impulsu k periodě

impulzu (doba impulsu a mezery mezi impulzy). Na obr. 13 je znázorněna závislost regulační odchylky a střidy impulsu. Se zmenšující regulační odchylkou se i střída impulsu zmenšuje. Výstup servomotoru, tedy poloha ventilu je integrálem těchto pulzů a ventil se otevře do požadované polohy. Při změně polarity regulační odchylky a překročení pásma necitlivosti začne výstup regulátoru opět impulzovat a servomotor začne díky impulzům ventil přivírat. Průběh regulačního pochodu je na obr. 14.

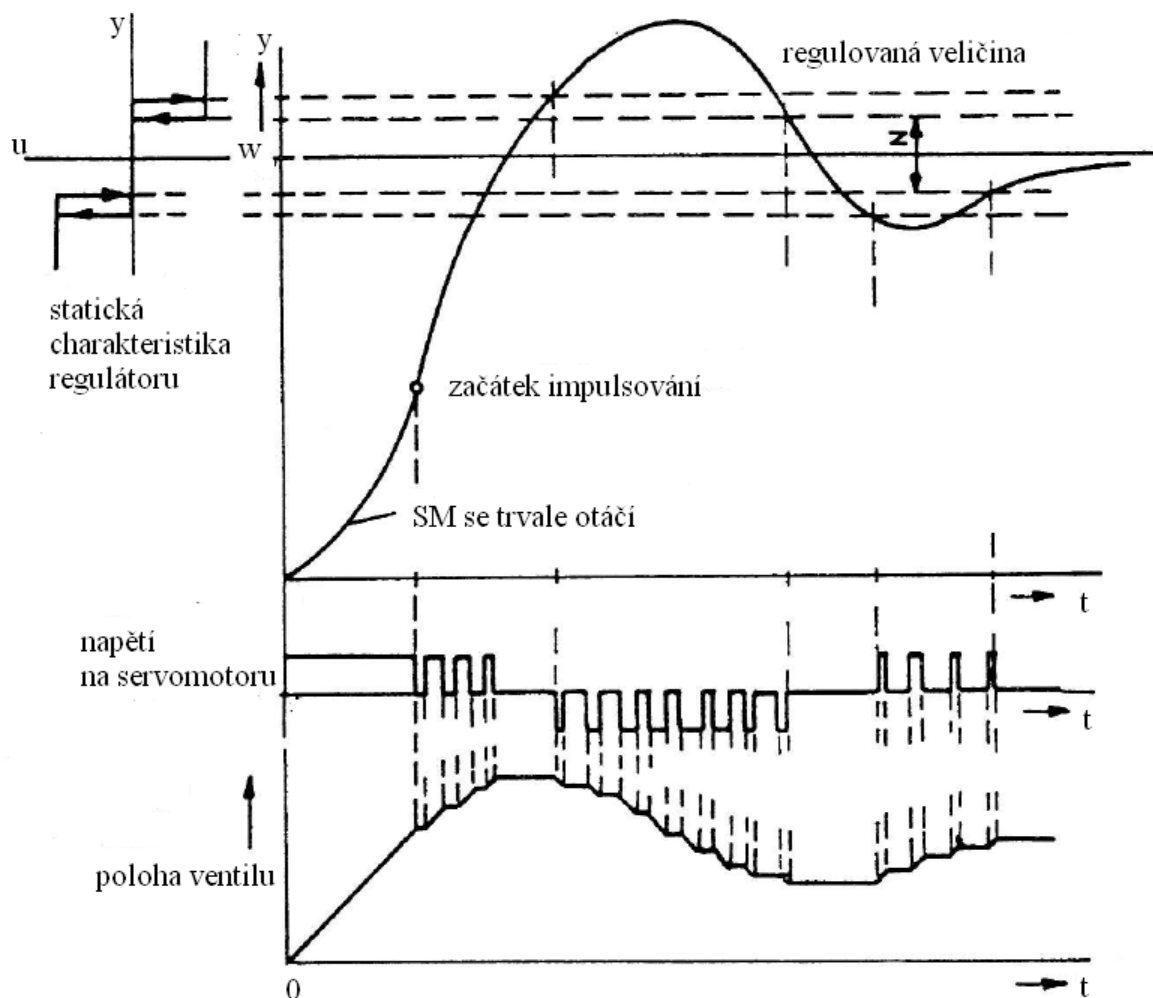




Obr. 13. Závislost pulsování na velikosti regulační odchylky

Regulátor s charakterem P se používá k regulaci soustav s relativně dlouhou dobou průtahu, či dopravním zpožděním. V zapojení je krom vnitřní zpožďující ZV ještě pevná záporná ZV (obr. 11). Výsledný přenos regulátoru s oběma ZV má charakter P. Pevná ZV pracuje jako u spojitých regulátorů a je možno nastavovat počáteční korekci polohy ventilu, tedy přednastavení akčního členu.

Třípolohové impulsní regulátory s pevnou či bez pevné ZV jsou nejpoužívanější nespojité regulátory pro soustavy s akčním členem obsahujícím servopohon a ventil.



Obr. 14. Průběh regulačního pochodu třípolohového impulsního regulátoru s charakterem PI

4.5 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Vlastnosti nespojitých regulátorů.
- Průběh a chování dvupolohových regulátorů.
- Vlastnosti zpětné vazby u nespojitě regulace.
- Třípolohové impulzní regulátory.



5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: *Technické prostředky automatického řízení*/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BERAN, V.: *Technická měření*. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 129 s. ISBN 80-7082-036-5.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: *Technická měření*. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] ĎAĎO, S. – KREIDL, M.: *Senzory a měřicí obvody*. ČVUT, Praha, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [5] ĎAĎO, S.: *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum ČVUT Praha, 1990.
- [6] HOFMANN, D.: *Priemyselná meracia technika*, 3. vydanie, Bratislava: Alfa, 1988, 568 s. ISBN 80-05-00139-8.
- [7] HUSÁK, M.: *Senzorové systémy*. Skriptum ČVUT Praha, 1993.
- [8] KOBĚRSKÝ, J. *Technické prostředky řídicích systémů*. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [9] NUTIL, J., ČECH, V.: *Měření v hutním průmyslu*. SNTL. Praha 1982.
- [10] ROUBAL, J.: *Regulační technika v příkladech. Moderní postupy pro běžnou praxi*. BEN - technická literatura, 2011. ISBN / EAN 978-80-7300-260-2 / 9788073002602.
- [11] SŮVA, S., SKOČDOPOLE, J., NOVÁK, P.: *Prvky řídicích systémů*. 1. vyd. Praha: ČVUT Fakulta elektrotechnická, 1987. 208 s. skriptum.
- [12] STACH, J., aj.: *Československé integrované obvody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975.
- [13] ZEHNULA, K.: *Převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum FE VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0439-6.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Pohony regulačních orgánů

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

5	POHONY REGULAČNÍCH ORGÁNŮ	3
5.1	Pohony regulačních orgánů pneumatické a hydraulické	4
5.2	Pneumatické servopohony	4
5.2.1	Membránové pohony	4
5.2.2	Pohony s korektorem	5
5.2.3	Pístové servomotory	6
5.3	Hydraulické servopohony	7
5.4	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	8
6	POUŽITÁ LITERATURA	9



5 POHONY REGULAČNÍCH ORGÁNŮ



OBSAH KAPITOLY:

Rozdělení pohonů.
Pneumatické servopohony.
Hydraulické servopohony.



MOTIVACE:

Z hlediska energií, které akční členy využívají, můžeme i pohony rozdělit na elektrické, pneumatické a hydraulické. V současné době počítačů, polovodičové techniky a mikroelektroniky se nabízí úvaha, že jediná správná volba je vždy ta elektrická a vše ostatní je dávná historie. Nicméně v těžkých technologických provozech a také výbušných prostředích jsou stále velice silně zastoupeny pohony pneumatické a hydraulické. Jejich výhody jsou nesporné (jednoduchost, ekonomičnost, výkonnost).



CÍL:

Rozdělení a pochopení pneumatických a hydraulických pohonů regulačních orgánů.



5.1 POHONY REGULAČNÍCH ORGÁNŮ PNEUMATICKÉ A HYDRAULICKÉ

Akční člen je podle ČSN-ISO 351-1 člen obvodu obsahující prvky (pohon a regulační orgán), kterými se nastavuje hodnota akční veličiny v závislosti na výstupním signálu regulátoru.



Audio 5.1 Pohony regulačních orgánů



Akční člen se skládá z vlastního **regulačního orgánu**, tj. části akčního členu, která přímo ovládá hodnotu akční veličiny.



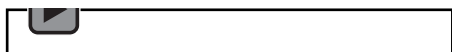
Audio 5.2 Pohony regulačních orgánů



Jsou to např. ventily, šoupátka, regulační klapky apod. Druhou součástí je **pohon regulačního orgánu**, tj. část akčního členu, která nastavuje v závislosti na výstupním signálu regulátoru polohu regulačního orgánu. Tyto pohony se často označují jako **servopohony** nebo **servomotory** a velmi často tvoří samostatnou polohovou regulační smyčku, jejíž žádanou hodnotou je spojitý výstupní signál z regulátoru (ústředního členu).



Audio 5.3 Pohony regulačních orgánů



Podle mechanického napojení na ovládané regulační orgány se vyvinuly:

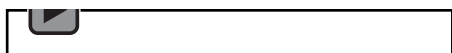
servopohony pákové s otočným pohybem výstupní páky, která je zpravidla táhlem připojena na páku akčního orgánu (regulační klapky apod.)

servopohony s přímočarým pohybem - k přímému ovládní kuželek regulačních ventilů,

servopohony s otočným pohybem výstupní matice - určené k ovládní např. potrubních šoupátek vybavených závitovou tyčí.



Audio 5.4 Pohony regulačních orgánů



5.2 PNEUMATICKÉ SERVOPOHONY

Pneumatické servopohony jsou napájeny zpravidla stlačeným vzduchem. Mohou pracovat přímo s výstupním vzduchem z pneumatických regulátorů – jsou tedy určeny pro napájecí tlak 140 kPa, nebo výkonnější jsou řízeny přes převodník tlaku a pracují se vzduchem z běžné průmyslové sítě o tlaku 600 kPa.

Výhody: konstrukčně jednoduché a tím i lacinější než elektrické, mohou být značně rychlé a výkonné, mohou pracovat ve výbušném prostředí.

Nevýhody: nejsou samosvorné, tedy po výpadku napájení si nezachovávají poslední polohu, což může být naopak v některých případech využito jako výhoda, potřebují poměrně dosti složité napájení čistěným vzduchem – viz přednáška 1, stlačený vzduch je energie poměrně drahá, potřebuje dosti složité a drahé rozvody.

5.2.1 Membránové pohony

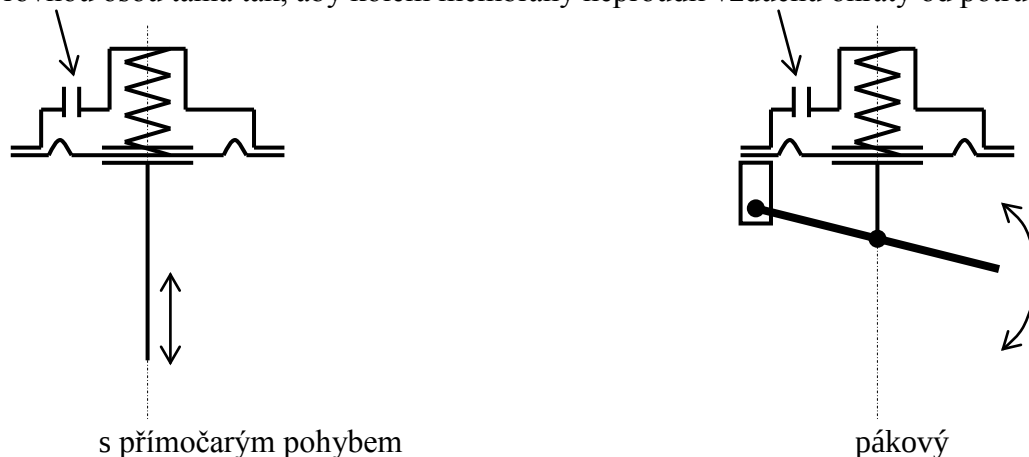
Membránové pohony jsou zpravidla přímo napájeny výstupem z pneumatického regulátoru – výhodné připojení jediným potrubím.

Vyrábějí se pro horní nebo dolní polohu bez tlaku podle umístění pružiny. Pružina je určujícím elementem linearoty pohonu a z důvodu kompensace tření např. v ucpávkách



ventilu, při jednostranném zatížení pohonu apod. musí být servopohon zpravidla silově předimenzován.

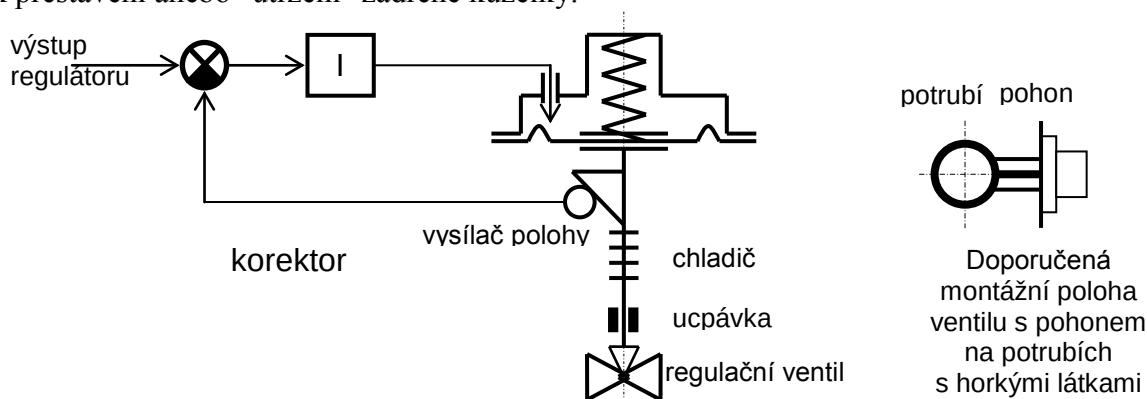
Velmi častá je kompaktní konstrukce tzv. regulačních ventilů, kdy membránový servopohon tvoří s ventilem společný konstrukční celek uchycený pouze za přírubu ventilu na potrubí. Pro ovládání průtoku horkých médií (pára apod.) se vkládá do táhla mezi servopohon a ventil žebrovaná chladičí vložka zamezující přenosu tepla na membránu. Celek se montuje s vodorovnou osou táhla tak, aby kolem membrány neproudil vzduch ohřátý od potrubí.



Obr. 1. Membránový pohon

5.2.2 Pohony s korektorem

V případech, že žádáme vyšší přesnost regulace, u agresivních médií, kdy dochází k zadírání ventilu v ucpávce, při velkých jednostranných zatíženích používáme membránový pohon s korektorem, tedy vlastně samostatnou regulační servosmyčkou, kdy signál z regulátoru vstupuje do obvodu jako žádaná hodnota polohy, která se porovnává se skutečnou polohou z vysílače umístěného na servopohonu (obr. 2.). Regulátor korektoru mívá zpravidla integrační charakter, který zajistí při nedodržení regulační odchylky dostatečný nárůst tlaku k přestavení anebo "utržení" zadřené kuželky.



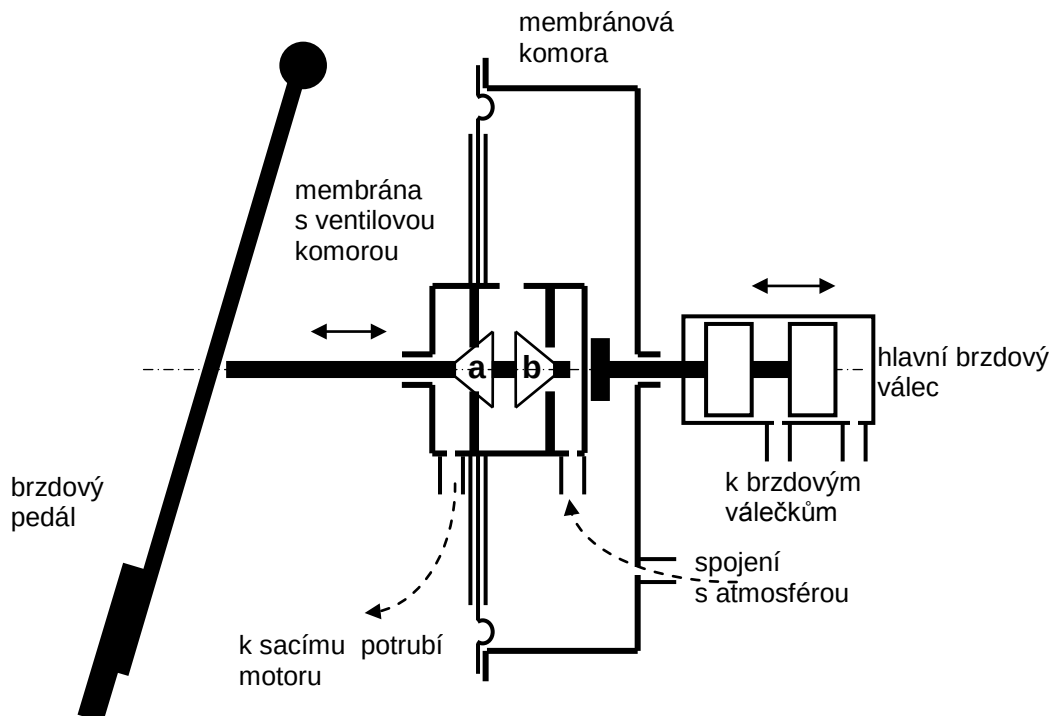
Obr. 2. Pneumatický membránový pohon s korektorem

Dalším příkladem membránového pohonu se zpětnou vazbou je podtlakový posilovač brzd užívaný u běžných typů osobních automobilů principiálně znázorněný na obr. 3.

V klidovém stavu je uzavřen ventil **a** ve ventilové komoře spojené s vyztuženou membránou, takže otevřeným ventilem **b** je prostor membránové komory přes střední část ventilové komory spojen s atmosférou. Stlačením brzdového pedálu se uzavře ventil **b** a otevřeným ventilem **a** se z membránové komory odsaje vzduch do sacího potrubí motoru, ve kterém je při chodu motoru podtlak. Tím se prohne membrána a stlačí písty v hlavním brzdovém válci.

Při uvolnění brzdového pedálu se uzavře ventil **a** a otevře ventil **b**, čímž se opět prostor membránové komory naplní, membrána se vrací do výchozí polohy a tím i písty v brzdovém válci, takže dojde k přerušení brzdného účinku.

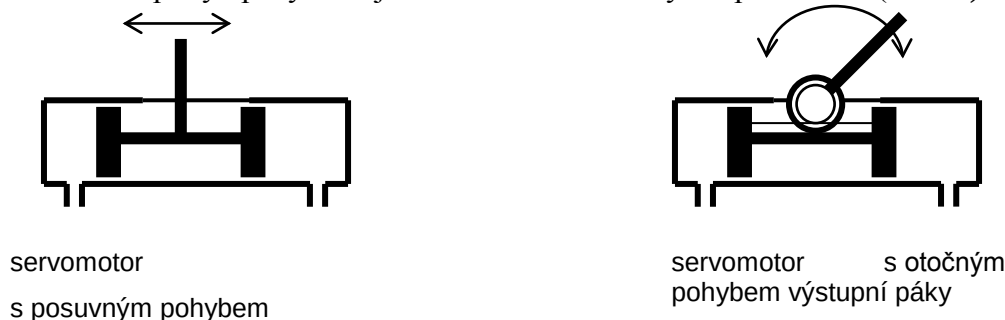
Pokud motor neběží, není v jeho sacím potrubí podtlak, a tudíž posilovač nemůže pracovat. V tomto případě nebo při výskytu jiné poruchy se ventilovou tyčí přeneše síla z brzdového pedálu až na brzdový válec, takže funkce brzd zůstane zachována, i když pro dosažení stejného brzdového účinku je potřeba vyvinout mnohem vyšší tlak na brzdový pedál.



Obr. 3. Podtlakový posilovač brzd

5.2.3 Pístové servomotory

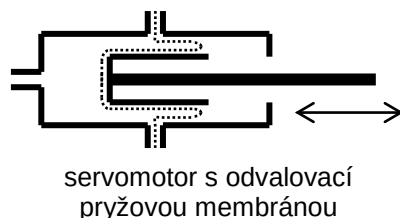
Používají se zejména pro dvupolohové ovládání. Jestliže je potřeba ovládání spojitě, musí být vybaveny korektorem. Mohou být opět v provedení s přímočarým pohybem, nebo pákové - převod na rotační pohyb páky se děje většinou ozubenou tyčí a pastorkem (obr. 4.).



Obr. 4. Konstrukce pístových pneumatických servomotorů

Příkladem levné konstrukce je servomotor s odvalovací pryžovou membránou, která má těsnící funkci, takže vlastní válec a píst mohou být jen laciné plechové výlisky bez dalšího přesného opracování (obr. 5.).

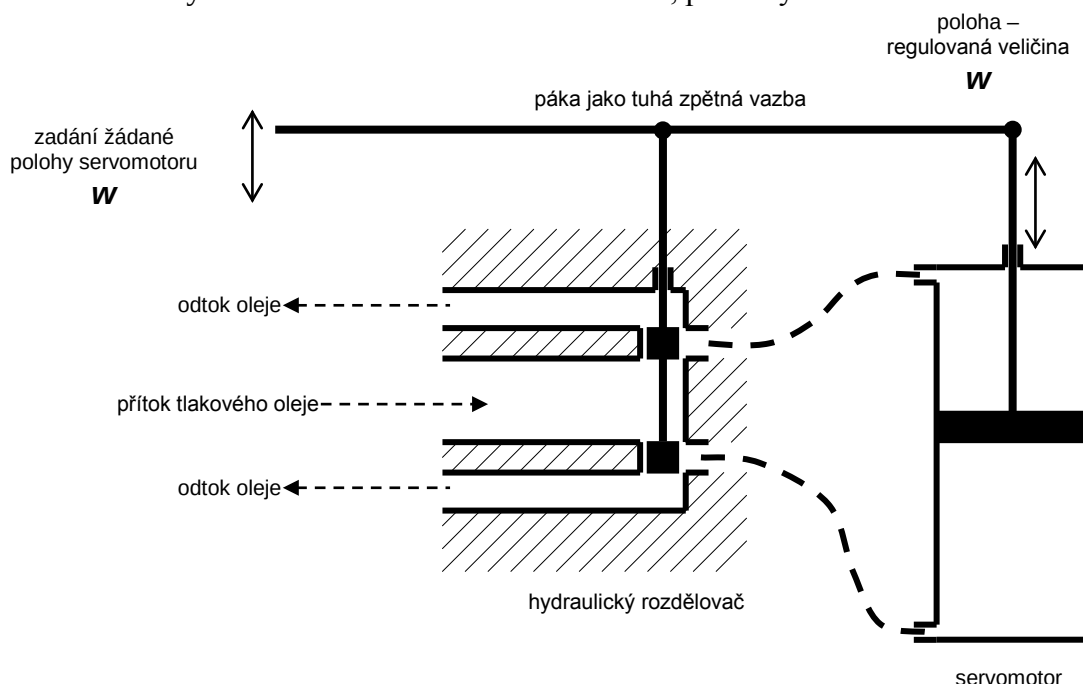




Obr. 5. Konstrukce pístového pneumatického servomotoru s membránou

5.3 HYDRAULICKÉ SERVOPOHONY

Mají v současné době význam jako nejvýkonnější a nejrychlejší servopohony. Užívají se zpravidla jako koncové členy elektronických spojitých nebo číslicových regulací např. číslicově řízených obráběcích strojů, stavebních strojů a v hutnictví zejména jako servomechanismy válcovacích stolic - stavění do tlaku, protiohyb válců atd.



Obr. 6. Hydraulický pístový servopohon

Zajímavé bylo např. hydraulické stavění čtecích hlav u bubnové paměťové jednotky počítače SIEMENS 305.

Nejčastější provedení je pístové. Pohon má integrační charakter, proto musí být zavedena pevná zpětná vazba. Příklad takové vazby je na obr. 6 [1].

Servopohon je regulačním obvodem, kde se žádaná poloha zadává přesunutím levého konce páky označeného w do žádané polohy. Páka spojená s hydraulickým rozdělovačem a pístem vlastního servopohonu tvoří rozdílový člen regulačního obvodu. Např. zvednutím jejího levého konce se zadá žádaná poloha servomotoru. Přitom se zvedne dvojice pístů v rozdělovači a odkryje se přívod oleje nad píst servopohonu a současně odkryje odtok oleje z prostoru pod pístem. Píst se začne pohybovat směrem dolů a unáší druhý konec páky do té doby, než písty v rozdělovači opět zakryjí otvory pro průtok oleje. Při opačném posunu páky se smysl pohybu změní.

Pro navázání hydraulického servopohonu na spojitou elektrickou regulaci musí být užito elektrohydraulického převodníku, který byl uveden v přednášce 2.

5.4 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Obecné rozdělení pohonů podle mechanického napojení na regulační orgány.
- Pneumatické servopohony membránové.
- Pneumatické servopohony pístové.
- Hydraulické servopohony.



6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: *Technické prostředky automatického řízení*/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BERAN, V.: *Technická měření*. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 129 s. ISBN 80-7082-036-5.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: *Technická měření*. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] ĎAĎO, S. – KREIDL, M.: *Senzory a měřicí obvody*. ČVUT, Praha, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [5] ĎAĎO, S.: *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum ČVUT Praha, 1990.
- [6] HOFMANN, D.: *Priemyselná meracia technika*, 3. vydanie, Bratislava: Alfa, 1988, 568 s. ISBN 80-05-00139-8.
- [7] HUSÁK, M.: *Senzorové systémy*. Skriptum ČVUT Praha, 1993.
- [8] KOBĚRSKÝ, J. *Technické prostředky řídicích systémů*. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [9] NUTIL, J., ČECH, V.: *Měření v hutním průmyslu*. SNTL. Praha 1982.
- [10] ROUBAL, J.: *Regulační technika v příkladech. Moderní postupy pro běžnou praxi*. BEN - technická literatura, 2011. ISBN / EAN 978-80-7300-260-2 / 9788073002602.
- [11] SŮVA, S., SKOČDOPOLE, J., NOVÁK, P.: *Prvky řídicích systémů*. 1. vyd. Praha: ČVUT Fakulta elektrotechnická, 1987. 208 s. skriptum.
- [12] STACH, J., aj.: *Československé integrované obvody*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975.
- [13] ZEHNULA, K.: *Převodníky fyzikálních veličin*. Skriptum FE VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0439-6.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Elektrické zátěže a jejich spínání

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

6	ELEKTRICKÉ ZÁTĚŽE A JEJICH SPÍNÁNÍ	3
6.1	Elektrické zátěže a jejich spínání	4
6.2	Odporová zátěž.....	4
6.3	Indukční zátěž	5
6.4	Kapacitní zátěž	6
6.5	Spínání střídavého proudu.....	6
6.6	Spínání stejnosměrného proudu.....	7
6.7	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	7
7	POUŽITÁ LITERATURA	8



6 ELEKTRICKÉ ZÁTĚŽE A JEJICH SPÍNÁNÍ



OBSAH KAPITOLY:

Odporová zátěž.

Indukčnostní zátěž.

Kapacitní zátěž.

Spínání střídavého a stejnosměrného proudu.



MOTIVACE:

V automatizovaných systémech řízení se setkáváme s velmi rozmanitými úkoly řízení. Proto i zátěže, které mají rozdílné potřeby a požadavky, ovlivňují použité prvky řízení. Základní typy zátěží můžeme rozdělit podle pasivní vlastnosti, která je prezentuje, tzn. elektrický odpor, indukčnost a kapacita. Jejich spínání ovlivňuje taky velikost výkonová, či proudové omezení a typ proudu. To vše je nutno analyzovat a následně zohlednit při správném návrhu technických prostředků řídicích systémů.



CÍL:

Vysvětlit vliv elektrické zátěže a její chování při spínání, případně rozpínání v procesu automatizovaného řízení.



6.1 ELEKTRICKÉ ZÁTĚŽE A JEJICH SPÍNÁNÍ

Spínacími členy musíme zajistit zapnutí a vypnutí elektrického příkonu do zátěže - spotřebiče energie. Běžné průmyslové zátěže dosahují výkonů od několika mW až po desítky MW při napětích od řádu mV do desítek kV a při proudech od jednotek mA až po stovky A. Přitom jsou zátěže napájeny buď proudem stejnosměrným, střídavým, střídavým třífázovým, vysokofrekvenčním atd.

Zátěží může být např. svítivá dioda, žárovka, topení v elektrické peci, elektromotor, osvětlovací soustava atd. Charakter zátěže je dán jejich elektrickou realizací.

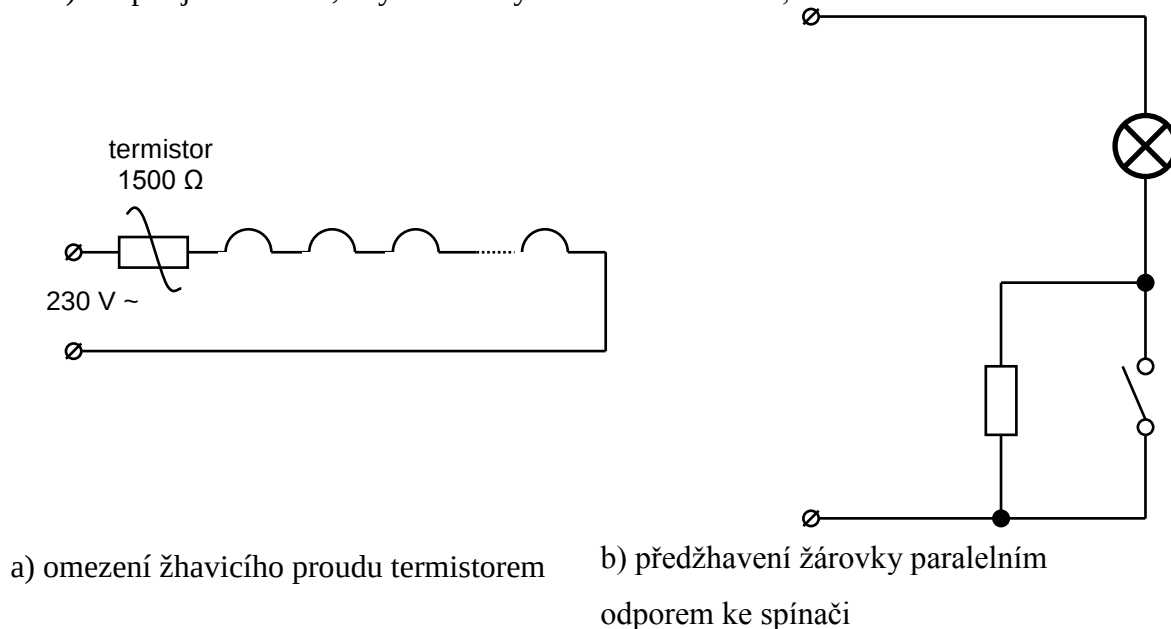
6.2 ODPOROVÁ ZÁTĚŽ

Odporové zátěže mají charakter výhradně činného ohmického odporu. Jeho vlastnosti vychází z rovnice:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad (1)$$

Spínání ani rozepínání odporových zátěží nečiní při správně dimenzovaných spínačích závažné problémy. Jistým problémem může být zapínání různých odporových tepelných zařízení nebo žárovek, kdy odpor topných vodičů za studena je i o několik řádů nižší než odpor v zahřátém stavu, což má za následek velký nárazový proud při zapnutí. Tento proud, který musí být často vhodným způsobem omezován, aby se nepoškodilo spínané zařízení nebo nesnížila jeho životnost. Na tento zvýšený zapínací proud musí být spínač samozřejmě dimenzován.

Příklady vhodných opatření jsou na obr. 1. Na obr. a) je ochrana žhavicích vláken elektronek. U televizorů byla vlákna elektronek zapojená v sérii chráněna proti proudovému rázu sériově zapojeným termistorem. Při zapnutí termistor svým odporem za studena cca $1,5\text{k}\Omega$ omezuje proud. Jeho postupným ohřevem klesne jeho odpor na řádově jednotky Ω a poměry v obvodu jsou nadále určeny vlastnostmi žhavicích vláken elektronek. Prodloužení životnosti vlákna často spínané žárovky lze dosáhnout jejím předžhavením paralelním odporem ke spínači – obr. b). Odpor je volen tak, aby vlákno bylo mírně nažhaveno, ale viditelně nesvítilo.



Obr. 1. Omezení zapínacího proudu u odporové zátěže

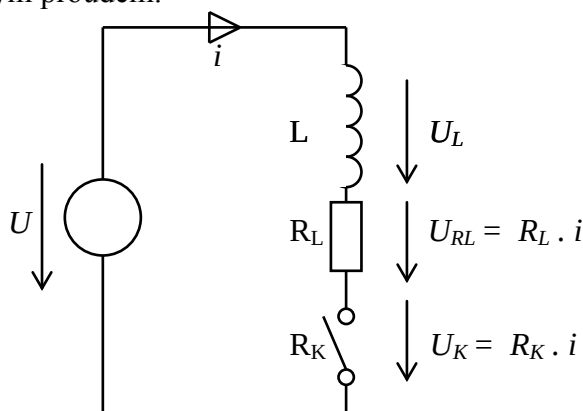
6.3 INDUKČNÍ ZÁTĚŽ

Indukční zátěže mají významný charakter indukčnosti, často v různých kombinacích s ohmickým odporem. Tento druh zátěže je představován prvky jako např. elektromotory, elektromagnety, cívky relé, stykačů, solenoidových ventilů, výbojková svítidla s předřadnými indukčnostmi atd.

Vlastnosti vlastní indukčnosti vychází z rovnice:

$$L = \mu \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l} \quad [H] \quad (2)$$

Hlavním problémem indukčnostních zátěží je ošetření spínače při vypnutí. Cívka průtokem elektrického proudu vytvoří magnetické pole, které představuje mnohdy značnou naakumulovanou energii – viz obr. 5.2. Při výkladu budeme uvažovat poměry na indukčnosti napájené stejnosměrným proudem.



Obr. 2. Poměry při vypínání indukční zátěže

Cívka má indukčnost L a odpor vinutí R_L . Pro indukčnost L platí základní vztahy: napětí na indukčnosti U_L [V] protékané proudem i [A] proměnném v čase t [s]

$$U_L = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (3)$$

impedance indukčnosti při kruhové frekvenci ω

$$\hat{Z} = j\omega L \quad (4)$$

a reálné cívky pak

$$\hat{Z} = R_L + j\omega L \quad (5)$$

Odpor kontaktu je R_K . Z Krichhoffova zákona

$$U = U_L + R_L \cdot i + R_K \cdot i \quad (6)$$

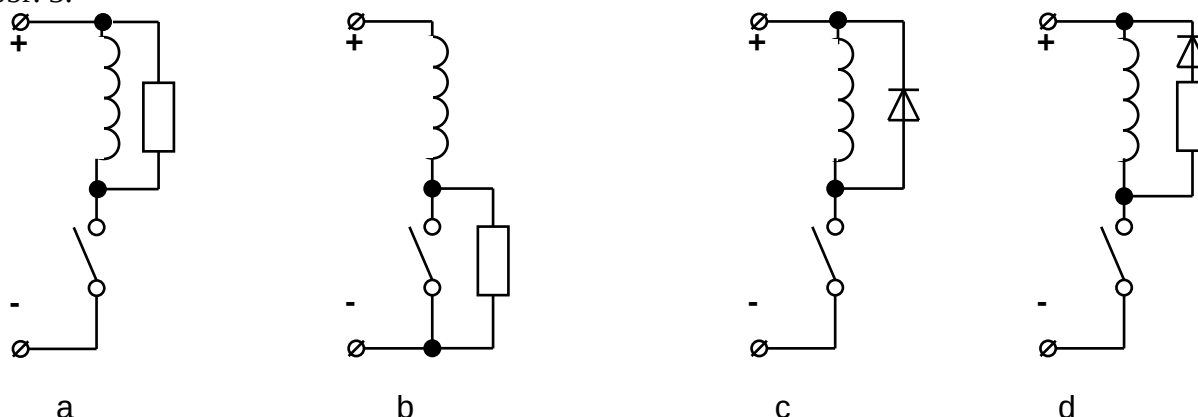
V sepnutém stavu spínače je odpor kontaktu $R_K \rightarrow 0$ a v ustáleném stavu je proud obvodem určen pouze odporem R_L a je roven $i = U/R_L$. Napětí na kontaktu je $U_K = R_K \cdot i \rightarrow 0$.

Při vypnutí se skokem změní odpor kontaktu $R_K \rightarrow \infty$. Magnetické pole cívky se začne hroutit a jeho energie se bude snažit udržet v obvodu proud stejného směru a velikosti jako původně protékající proud i . Cívka se začne chovat jako ideální zdroj proudu a jestliže je do cesty tomuto proudu vřazen velký odpor v tomto případě vypnutého spínače, vznikne na rozpojeném kontaktu napětí $U_K = R_K \cdot i \rightarrow \infty$, aby proud mohl protékat a to i za cenu vzniku elektrického oblouku.

Tyto jevy jsou obzvláště markantní u cívek se železným jádrem příp. ještě více s jádrem pohyblivým, např. u různých elektromagnetů, relé a stykačů, kde je ještě navíc nutno odvést i nahromaděnou energii mechanickou, která se při zpětném pohybu kotvy těchto magnetů změní v energii elektrickou. Toto napětí na kontaktu může spínač zničit, nebo alespoň poškodit vzniklým elektrickým obloukem.



Ochrana proti vzniku přepětí na spínači se nejčastěji provádí tak, že se takto vzniklému proudu vytvoří zvláštní cesta s malým odporem a to mimo kontakt. Příklady jsou uvedeny na obr. 3.



Obr. 3. Příklady ochrany kontaktů proti přepětí při vypnutí

Problém uvedených způsobů ochrany je časová konstanta průtoku proudu cívkou. Indukčnost v sérii s odporem se chová jako dynamická proporcionální soustava 1. řádu jejíž časová konstanta je $\tau = L/R$, kde R je odpor v elektrickém obvodu. Při velkých indukčnostech a malých odporech může být tato časová konstanta značně velká a může způsobovat značně zpožděný odpad elektromagnetů (ochranné obvody mají zpravidla malý odpor, tedy časová konstanta magnetu při odpadu je tedy značná). To může působit značné potíže např. při ovládání rychlých procesů, jako jsou např. magnety jehel jehličkové tiskárny apod. Zvýšení odporu ochranného obvodu naopak způsobuje zvýšení napětí na rozpínajícím se kontaktu. V každém případě je nutno zejména polovodičové spínače v obvodech indukční zátěže vhodně ošetřit.

V obvodech napájených střídavým proudem je výhodné využít možnosti spínání a zejména vypínání zátěže při průchodu proudu nulou, kdy je energie magnetického pole rovněž nulová a tedy nedochází k problémům jejího maření (např. vznikem oblouku na kontaktech).

6.4 KAPACITNÍ ZÁTĚŽ

Zátěž má v tomto případě převažující kapacitní charakter. Jeho vlastnosti vychází z rovnice:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \quad [F] \quad (7)$$

Se spínáním kapacitní zátěže se setkáváme např. při zapínání napájecích zdrojů různých zařízení, které jako filtry používají poměrně značné kapacity, při spínání kompenzačních kondenzátorových baterií pro kompenzaci účinnosti apod.

Hlavním problémem je velký nabíjecí proud při zapnutí, tedy obdobně jako u spínání odporových zátěží tvořených žhavenými vodiči. Opatření jsou analogická tomuto případu.

Vypínání kapacitních zátěží zpravidla nečiní potíže. Z bezpečnostních důvodů je nutno často zajistit vybití kondenzátorů po vypnutí zařízení z provozu tak, aby nezůstal na nich zbytkový náboj. Zpravidla se vybití zajišťuje pevně připojeným paralelním odporem vysoké hodnoty.

Silnoproudé kondenzátory je proto nutno při skladování přemostit odporem, protože vlivem dlouhodobého odeznívání elektrostatické hystereze dielektrika se může po nějaké době objevit na svorkách odpojeného kondenzátoru značné, životu nebezpečné napětí.

6.5 SPÍNÁNÍ STŘÍDAVÉHO PROUDU

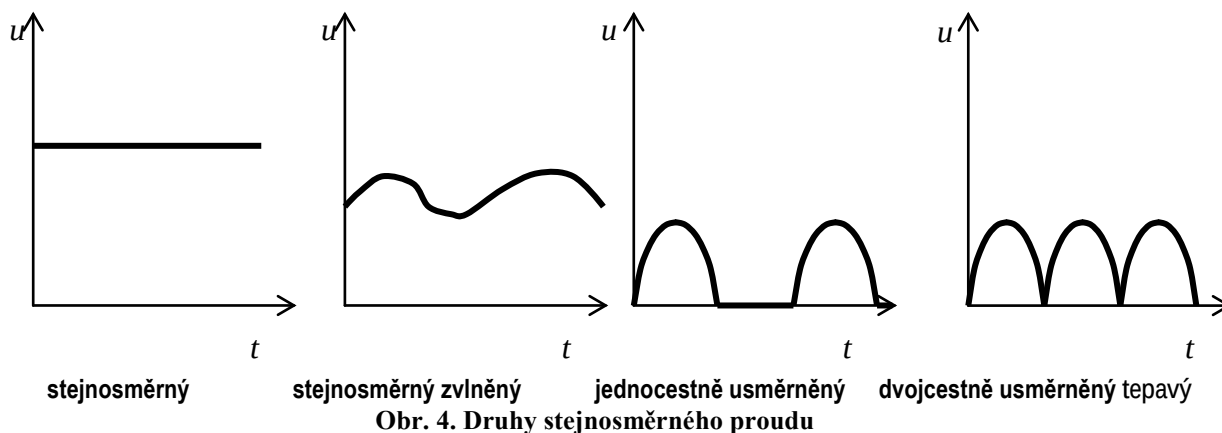
V každé periodě dosahuje proud dvakrát nulové hodnoty, což se příznivě projevuje právě lepší možnosti zhášení elektrických oblouků při vypnutí, protože existují časové okamžiky,



kdy elektrický výkon do oblouku je nulový, elektrické pole rovněž, oblouk nedostává energii a chladne. Proto ionty, které vedou proud v oblouku, mají možnost rekombinovat. Složitější problémy vznikají při spínání vysokofrekvenčních proudů, kdy se výrazně uplatňují kapacity kabelů a kontaktů, které mají při vyšších frekvencích malou impedanci a projevují se jako svodové impedance - tedy odpor kontaktu při rozepnutí nevzroste na velmi velkou hodnotu.

6.6 SPÍNÁNÍ STEJNOSMĚRNÉHO PROUDU

Stejnsměrný proud protéká stále jedním směrem a s výjimkou tzv. tepavého proudu - vzniklého usměrněním střídavého proudu, se nikdy nevrací k nule. Může mít dosti velkou střídavou složku, což lze např. zjistit rozvojem příslušného průběhu do Fourierovy řady.



Se spínáním stejnsměrného proudu zpravidla nejsou problémy. Hlavní problémy jsou s jeho rozpínáním, kdy skutečnost, že proud se obvykle nevrací k nule, způsobuje vznik a stálé hoření oblouku na kontaktech. Tato skutečnost je respektována v technických parametrech kontaktů, kde se např. udává jmenovitý proud kontaktu - tedy schopnost spínat i rozpínat při zaručené životnosti proud 2 A střídavé, ale jen 0,1 A stejnsměrných při napětí 220 V.

6.7 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Vlastnosti a chování odporových zátěží při spínání a rozpínání.
- Vlastnosti a chování indukčnostních zátěží při spínání a rozpínání.
- Vlastnosti a chování kapacitních zátěží při spínání a rozpínání.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: *Technické prostředky automatického řízení*/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BERAN, V.: *Technická měření*. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 129 s. ISBN 80-7082-036-5.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: *Technická měření*. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] ĎAĎO, S., KREIDL, M.: *Senzory a měřicí obvody*. ČVUT, Praha, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [5] KOBĚRSKÝ, J. *Technické prostředky řídicích systémů*. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Řízení elektrického výkonu

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

7	ŘÍZENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU	3
7.1	Elektrický výkon	4
7.2	Řízení stejnosměrného výkonu	6
7.3	Řízení výkonu střídavého proudu	7
7.4	Spínací prvky.....	8
7.4.1	Relé	8
7.4.2	Stykače.....	8
7.4.3	Kontakty a jejich ošetření před účinky elektrického oblouku	8
7.5	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	9
8	POUŽITÁ LITERATURA	10



7 ŘÍZENÍ ELEKTRICKÉHO VÝKONU



OBSAH KAPITOLY:

Řízení stejnosměrného výkonu.

Řízení střídavého výkonu.

Základní spínací prvky.



MOTIVACE:

V souvislosti s elektrickými pohony je nutno zavést pojem elektrický výkon a jeho způsoby vyjádření. Protože řízení elektrického výkonu patří do rozsáhlé oblasti elektroniky, v této kapitole jen uvedeme několik příkladů sloužících k teoretickému pochopení této problematiky. Pro spínání elektrického proudu do zátěže slouží elektromechanické spínací prvky jako je relé, stykač aj.



CÍL:

Vysvětlit řízení výkonu stejnosměrného a střídavého proudu a základní typy spínacích prvků v automatizaci.

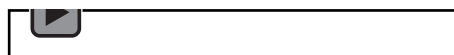


7.1 ELEKTRICKÝ VÝKON

Elektrický výkon p je dán součinem okamžitých hodnot napětí u a proudu i na zátěži.



Audio 7.1 Elektrický výkon



$$p(t) = u(t) \cdot i(t) \quad (1)$$

Úmluva: V elektrotechnice je zvykem označovat okamžité hodnoty veličin malými písmeny, tedy např. $p(t)$, $u(t)$, $i(t)$, ustálené hodnoty písmeny velkými, např. u stejnosměrného proudu, efektivních a středních hodnot veličin střídavého proudu apod.

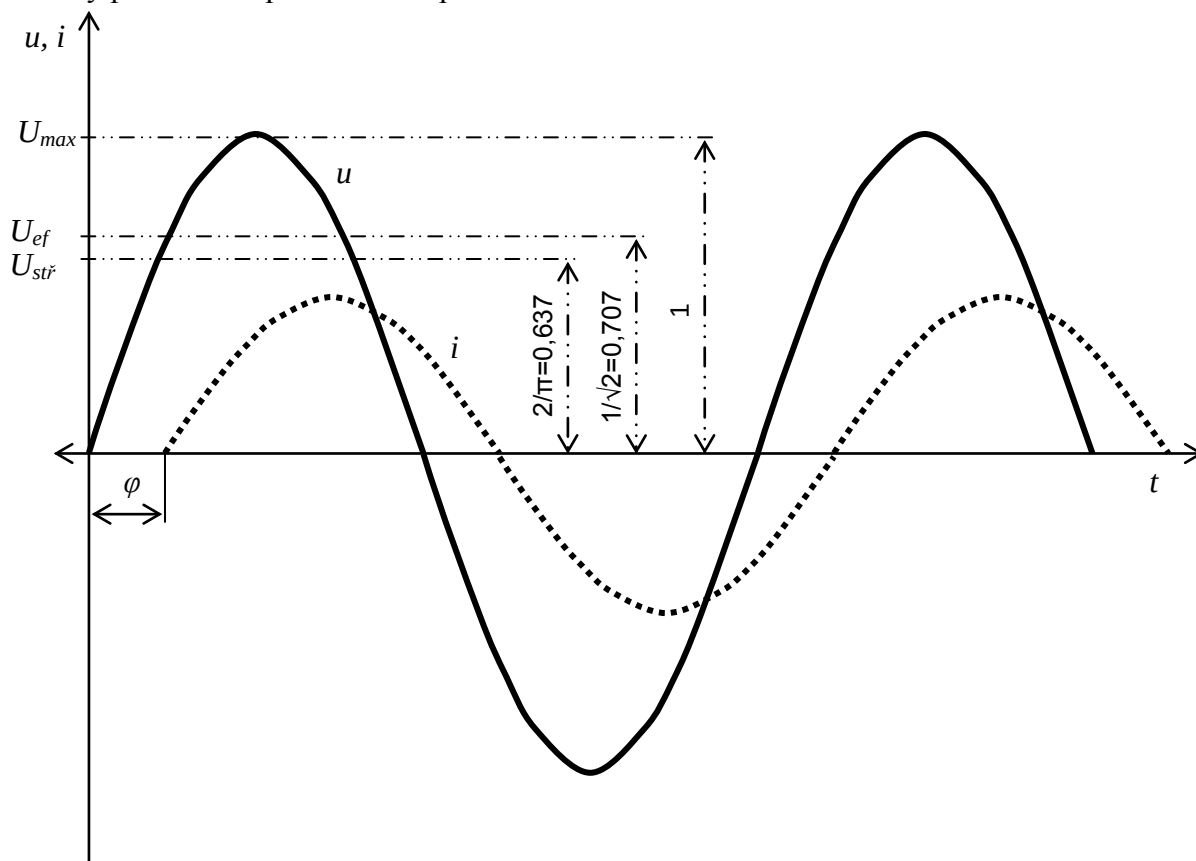
U stejnosměrného proudu, kde jsou proud i napětí konstantní, tedy platí

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

U střídavého proudu sinusového průběhu lze z (1) odvodit, že výkon

$$P = U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi, \quad (3)$$

kde U_{ef} , I_{ef} jsou efektivní hodnoty napětí a proudu, φ fázový posun mezi proudem a napětím - viz obr. 1.



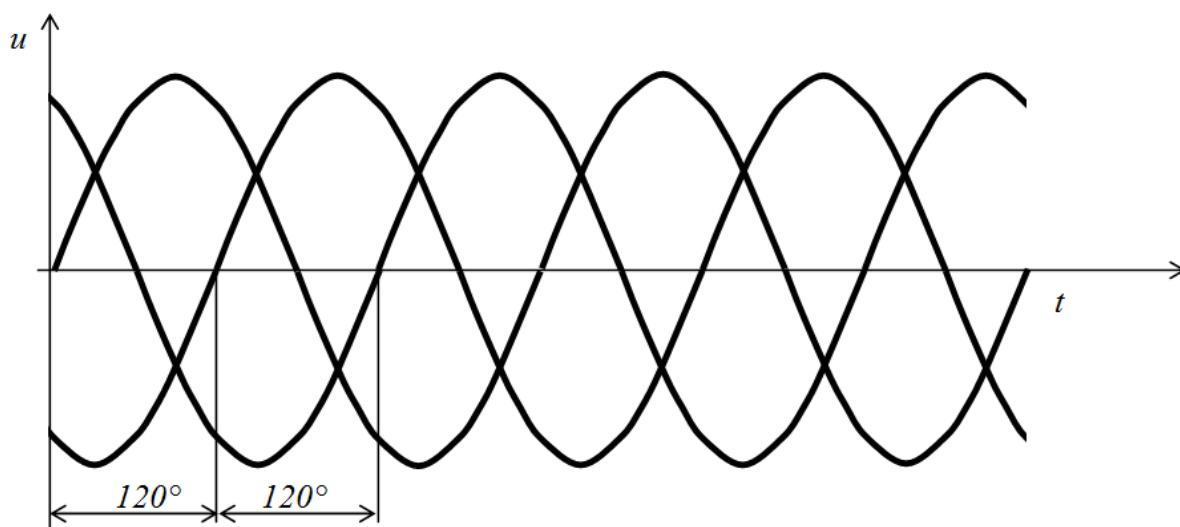
Obr. 1. Důležité střídavé veličiny

Třífázová soustava je tvořena třemi sinusovými napětími – fázemi -fázově posunutými o 120° přenášeny třemi tzv. fázovými nebo též krajními vodiči. Jeho výkon je

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

přitom proud měříme ve fázovém vodiči, napětí měříme mezi krajními vodiči.





Obr. 2. Třífázový střídavý proud

Efektivní hodnota střídavého napětí U_{ef} je definována vztahem:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) \cdot dt}, \quad (5)$$

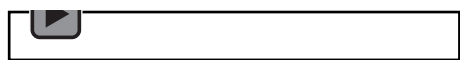
kde T je perioda průběhu napětí.

Analogicky je definována efektivní hodnota proudu I_{ef} .

Efektivní hodnota střídavého napětí resp. proudu je číselně rovna hodnotě stejnosměrného napětí resp. proudu, která má na stejném odporu stejný tepelný účinek.



Audio 7.2 Elektrický výkon



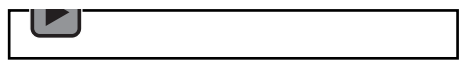
Střední hodnota napětí je definována vztahem:

$$U_{st} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot dt \quad (6)$$

a analogicky i střední hodnota proudu I_{st} . Střední hodnota střídavé veličiny je číselně rovna hodnotě stejnosměrné veličiny, která má stejné chemické (elektrolytické) účinky.



Audio 7.3 Elektrický výkon



Pro **sinusové průběhy**, které jsou symetrické podle osy času, by byla střední hodnota nulová, proto se definuje střední hodnota v půlperiodě, tedy

$$U_{st} = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{\frac{T}{2}} u(t) \cdot dt = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} U_{\max} \sin t \cdot dt = \frac{2}{T} U_{\max} [-\cos t]_0^{\frac{T}{2}} = \frac{2}{T} U_{\max} [-\cos \frac{T}{2} + \cos 0] = \frac{2}{T} U_{\max} [1 - (-1)] = \frac{4}{T} U_{\max} \quad (7)$$

Analogickým postupem lze odvodit z definičního vztahu (5) pro efektivní hodnotu **sinusového průběhu** vztah:

$$U_{ef} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Vztah mezi efektivní a střední hodnotou **sinusového průběhu** je pak dán koeficientem:



$$U_{ef} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{\pi}{2} U_{st}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} \cdot U_{st} \quad (9)$$

Shodné vztahy a koeficienty platí pro sinusový průběh proudu.

Pro jiné tvary křivky těchto veličin než jsou sinusové, zejména různé impulsní průběhy se strmými hranami, je efektivní hodnota proti střední hodnotě velmi vysoká, což může způsobit neočekávaná přehřátí některých míst rozvodu.

Některé měřicí přístroje, které svou fyzikální podstatou měří střední hodnotu proudu (např. magnetoelektrické), ale jejich stupnice je popsána v efektivních hodnotách sinusového průběhu. Jestliže je měřený průběh nesinusový, může v takových případech dojít ke značným chybám měření, kdy střední hodnota měřené veličiny je malá, tedy přístroj ukazuje jen velmi malou hodnotu, ale efektivní hodnota je velmi vysoká.

7.2 ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÉHO VÝKONU

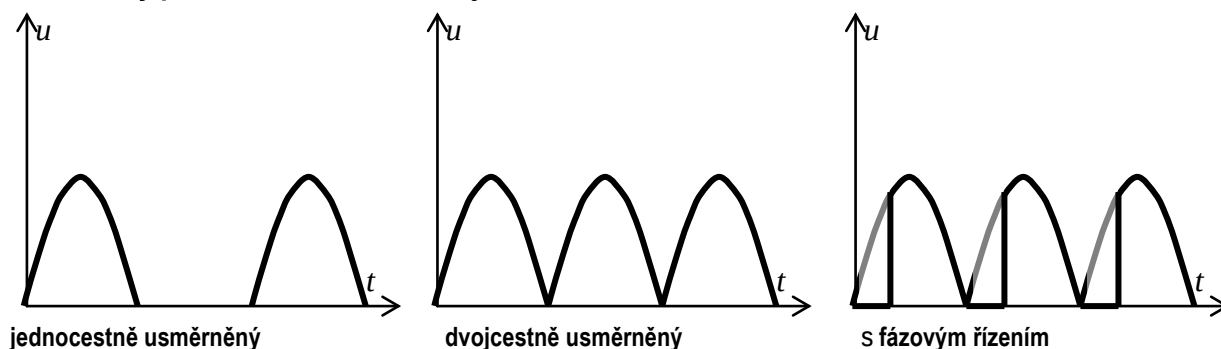
Stejnsměrný proud je takový, jehož polarita se nemění. Jeho výkon je dán vztahem (2).

Pro řízení výkonu stejnosměrného proudu byly dříve všeobecně užívány předřadné odpory. Nevýhodou byly velké výkonové ztráty v předřadných odporech, které musel být dimenzován na velké proudy i značný odvod ztrátového tepla. Moderní výkonová polovodičová technika umožnila impulsní řízení proudu, při kterém dochází jen k malým ztrátám na spínacích polovodičových prvcích, takže jsou možné různé způsoby řízení znázorněné na obr. 6.3. Spínacím prvkem impulsně přerušujeme proud do zátěže. Výkon je určen střední hodnotou proudu.

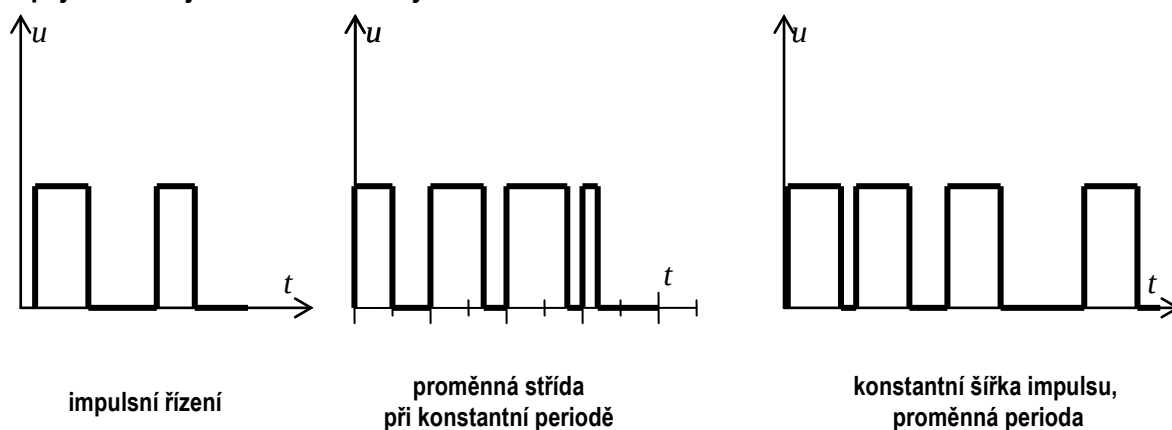
Jestliže získáváme stejnosměrný proud usměrněním střídavého proudu, lze užitím tyristorů zpožděním doby jejich zážehu dosáhnout tzv. fázového řízení výkonu. Tyristor se zapaluje se zpožděním a propustí pouze část půlperiody proudu. Při průchodu proudu nulou se vypne. Této metody lze použít pro jedno- i dvojcestně usměrněný proud (obr. 3.). Ztráty při tomto řízení jsou malé – napětí na otevřeném tyristoru je cca 2 V. Nevýhodou je to, že rychlé sepnutí tyristoru způsobuje rychlou změnu proudu, což má za následek vznik velkého množství vyšších harmonických kmitočtů nebo nežádoucích impulsů značné amplitudy i výkonu. Je tedy nutno zapojovat ochranné filtry a provádět další opatření pro omezení šíření těchto poruch nejen do napájecí sítě, ale i ve formě elektromagnetických vln v prostoru.

Problémy s rušením lze odstranit u některých zátěží s větší setrvačností tzv. „spínáním v nule“, kdy se tyristor sepne na začátku půlperiody a automaticky vypne při průchodu nulou na jejím konci. Výkon se řídí počtem půlperiod, které zátěží projdou (obr. 4.).

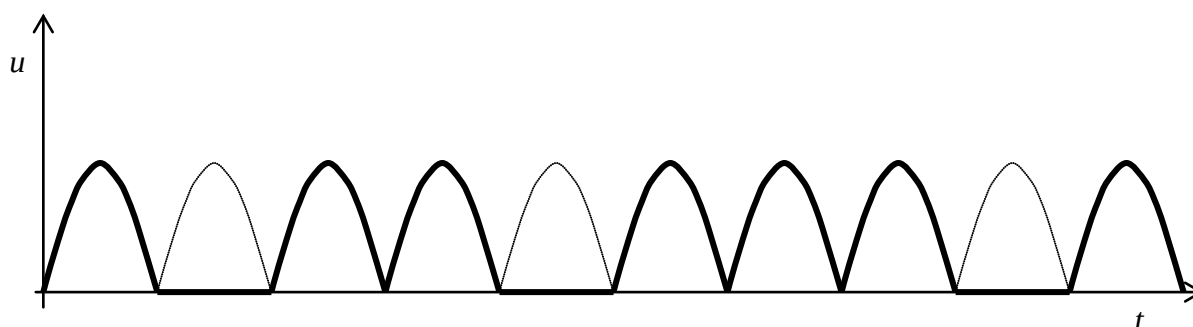
Usměrněný proud ze střídavého zdroje:



Napájení ze stejnosměrného zdroje:



Obr. 3. Impulsní řízení stejnosměrného proudu

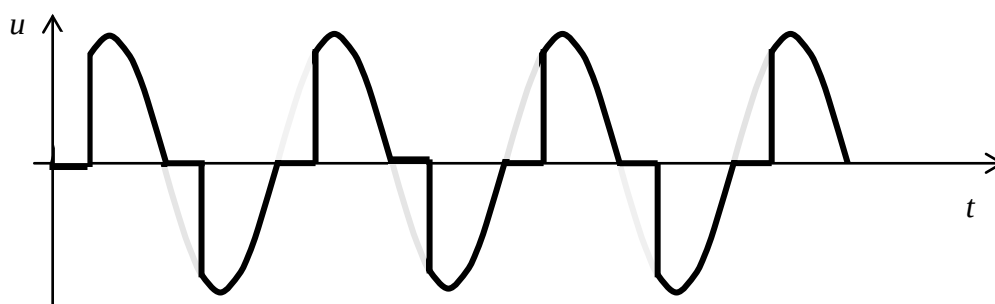


Obr. 4. Řízení výkonu spínáním v nule

7.3 ŘÍZENÍ VÝKONU STŘÍDAVÉHO PROUDU

Střídavý výkon lze řídit obdobně jako stejnosměrný předřadnými odpory. Nákladnější ale podstatně účinnější metoda je užití transformátorů s přepínatelnými odbočkami nebo pro menší výkony regulačním autotransformatorem s kruhovým vinutím, po jehož odizolované části se posouvá uhlíkový jezdec.

Užití výkonových polovodičů – tyristorů a triaků – umožňuje fázové řízení výkonu v obou půlvlnách (obr. 5.).



Obr. 5. Fázové řízení střídavého výkonu

Mezi nejkomplikovanější způsoby patří moderní elektronické měniče pro řízení otáček asynchronních motorů. Tento měnič bude podrobněji popsán v kapitole věnované střídavým motorům.

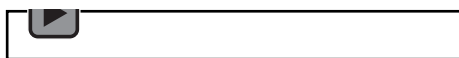


7.4 SPÍNACÍ PRVKY

Elektromechanické spínací prvky slouží ke kontaktnímu spínání elektrického proudu do zátěže.



Audio 7.4 Spínací prvky

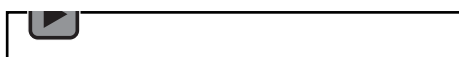


7.4.1 Relé

Relé je tvořeno elektromagnetem, který ovládá spínání kontaktů – obvykle pérového svazku nesoucího jednotlivé kontakty.



Audio 7.5 Relé



Kontakty mohou být spínací (pracovní) – při přivedení napětí na cívku relé tento kontakt sepne, u rozpínacích (klidových) naopak původně sepnutý kontakt vypne. Používaný je i kontakt přepínací - střední kontakt přepíná mezi klidovým a pracovním kontaktem.

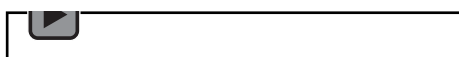
Existuje rozsáhlá řada typů a konstrukcí relé. Jejich obecné použití je spínání malých výkonů, jako logických prvků v menších logických systémech, k ovládání výkonových stykačů atd.

7.4.2 Stykače

Stykače jsou výkonová relé sloužící ke spínání větších elektrických výkonů.



Audio 7.6 Stykače



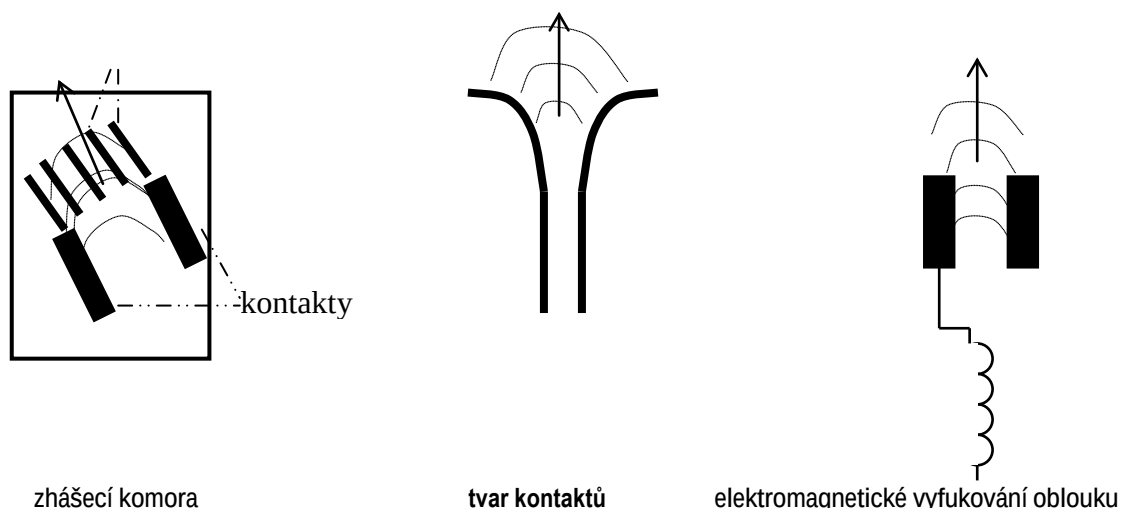
Elektromagnet spíná výkonové kontakty dimenzované na větší proudy. Vyrábějí se ve výkonových rozsazích cca 10 – 1000 A při napětích do 500 V. Mohou být určeny pro spínání jednofázového, třífázového střídavého a dále stejnosměrného proudu.

7.4.3 Kontakty a jejich ošetření před účinky elektrického oblouku

Výkonové kontakty musí být svou plochou dimenzovány na přenos jmenovitého proudu. Při vypínání dochází ke vzniku elektrického oblouku, který je nutno v krátké době uhasit a zamezit tak nejen erosi kontaktů, ale např. u přepínaných obvodů i zkratu při sepnutí opačné polarizace ještě v době, kdy hoří oblouk na kontaktech předtím vypnutého stykače.

Kromě opatření ve vlastní konstrukci kontaktu jsou výkonové kontakty vybavovány tzv. zhášecími komorami. Jsou to zpravidla keramické komůrky vybavené kovovými lamelami (obr. 6.). Oblouk se rozdělí lamelami na menší díly, které se ochladí, tím dojde k rekombinaci iontů v oblouku a oblouk zhasne.





Obr. 6. Ochrana kontaktů při vypínání

Další opatření je tvar kontaktů - směrem nahoru se vzdálenost mezi kontakty zvětšuje. Hořící oblouk přirozeně stoupá směrem nahoru, tím se prodlužuje a více se chladí, čím dojde k rekombinaci iontů a oblouk zhasíná.

Tento účinek bývá zejména u stejnosměrných spínačů podporován elektromagnetickým vyfukováním oblouku. Do série s kontaktem je zapojena cívka tvořena několika závitů, jejíž magnetické pole je směřováno tak, že silově působí na hořící oblouk – vlastně vodič protékaný proudem – a ten je vyfukován směrem nahoru.

Pro velké výkonové spínače vysokého napětí v elektroenergetice jsou používány i jiné způsoby, např. umístění kontaktů v oleji nebo jiných speciálních kapalinách, zvýšení tlaku v komoře kontaktu, vyfukování oblouku stlačeným vzduchem apod.

Při spínání střídavého proudu oblouk při průchodu proudu nulou dvakrát za periodu zhasne a ochladí se, tedy zhášení oblouku u střídavého proudu je jednodušší. Proto kontakty stejné konstrukce mají z tohoto důvodu různé jmenovité hodnoty pro stejnosměrný a střídavý proud, např. pomocná relé mají běžně udávané hodnoty 2 A střídavé a 0,1 A stejnosměrných.

7.5 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Charakteristické vlastnosti elektrického výkonu.
- Řízení výkonu stejnosměrného a střídavého proudu v automatizovaných řídicích systémech.
- Základní výkonové spínací prvky.



8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: Technické prostředky automatického řízení/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BERAN, V.: Technická měření. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1996. 129 s. ISBN 80-7082-036-5.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: Technická měření. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] KOBĚRSKÝ, J. Technické prostředky řídicích systémů. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [5] NUTIL, J., ČECH, V.: Měření v hutním průmyslu. SNTL. Praha 1982.
- [6] ZEHNULA, K.: Převodníky fyzikálních veličin. Skriptum FE VUT Brno, 1990.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Elektromagnety

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

8	ELEKTROMAGNETY	3
8.1	Elektromagnety	4
8.2	Magnetické vlastnosti materiálů.....	4
8.3	Stejnoseměrné elektromagnety.....	6
8.4	Střídavé elektromagnety	9
8.5	Elektrohydraulický odbrzdovač	10
8.6	Jiné typy lineárních servopohonů.....	10
8.7	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám:	10
9	POUŽITÁ LITERATURA	11



8 ELEKTROMAGNETY



OBSAH KAPITOLY:

Magnetické vlastnosti materiálů.

Stejnoseměrné elektromagnety.

Střídavé elektromagnety.



MOTIVACE:

Nejjednodušším elektrickým pohonem, jako součást akčního členu, je elektromagnet. Jeho praktická realizace vychází z principu chování magnetických materiálů v magnetickém poli. Jeho jednoduché konstrukční uspořádání a ekonomická dostupnost umožňuje snadné nasazování v mnohých automatizovaných systémech řízení.



CÍL:

Vysvětlit magnetické vlastnosti, chování a zákonitosti elektromagnetů z hlediska využití v automatizovaných systémech řízení.



8.1 ELEKTROMAGNETY

Elektromagnety jsou nejjednoduššími elektrickými servopohony převážně s lineárním posunem. Elektromagnet je tvořen zpravidla dvoudílným magnetickým obvodem z magneticky měkkého materiálu. Pevná část s cívkou se nazývá jho, pohyblivá kotva (obr. 2).



Audio 8.1 Elektromagnety



Používají se zejména k dvojpohotovému ovládání kuželek ventilů, brzd, klapek apod. [1]. Spojení elektromagnetu s ventilem označujeme pojmem solenoidový ventil a může být konstruován pro stejnosměrný i střídavý proud, otevřený nebo zavřený ventil v bezproudém stavu.

K ovládání proudu elektromagnetu se používají buď kontakty relé nebo stykačů nebo spínání polovodičovými prvky, tranzistory, tyristory, triaky apod.

8.2 MAGNETICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

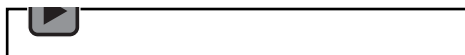
Magnetické vlastnosti různých materiálů jsou popsány zejména jejich relativní permeabilitou μ , což je poměr skutečné permeability materiálu k permeabilitě vakua μ_0 . Tato veličina, zjednodušeně řečeno, popisuje schopnost materiálu vést siločáry magnetického pole.

Podle velikosti relativní permeability dělíme látky na:

- diamagnetické - permeabilita $\mu < 1$,
- paramagnetické - permeabilita $\mu > 1$,
- feromagnetické - permeabilita $\mu \gg 1$.



Audio 8.2 Magnetické vlastnosti materiálů



U diamagnetických i paramagnetických látek se permeabilita liší je málo od jedničky – řádově v setinách. U látek feromagnetických je permeabilita značná – v řádech 100 – 10 000 a proto je užíváme k vedení a tvarování magnetických polí.

Relativní permeabilita vzduchu je 1, tedy poměr permeability feromagnetických látek k permeabilitě vzduchu je cca 10^3 , což je poměr relativně nízký zejména ve srovnání s poměrem měrných elektrických vodivostí vodičů a nevodičů, který je až 10^{20} .

Proto při vedení a tvarování magnetického pole užíváme jak částí magneticky vodivých konstruovaných z feromagnetik, tak i vedení vzduchem, tzv. vzduchových mezer, které tvoří magnetické odpory.

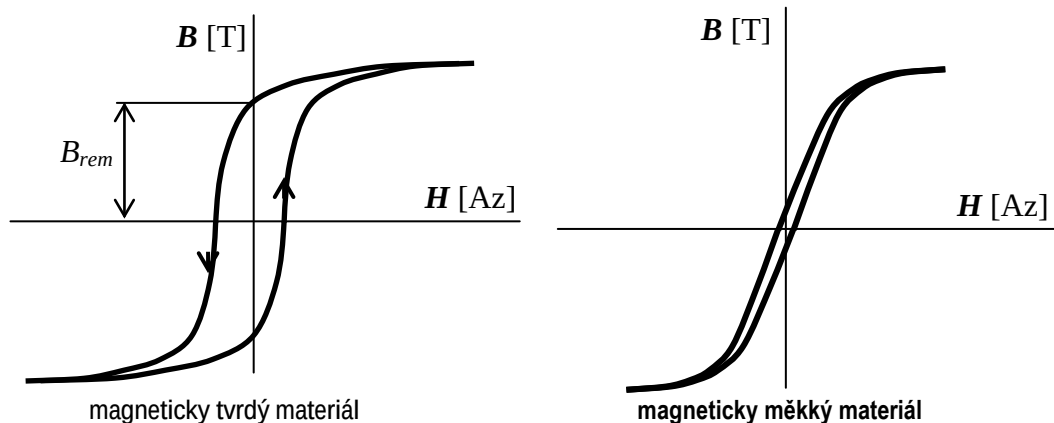
Mezi magnetickou indukcí B , vyjadřující počet siločar, a magnetomotorickou silou – intenzitou magnetického pole H platí vztah

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H \quad (1)$$

Permeabilita je u feromagnetických látek zpravidla nelineární funkcí intenzity. Tento vztah se zobrazuje tzv. hysteresní smyčkou udávající velikost magnetické indukce B v závislosti na velikosti intenzity magnetického pole H (obr. 1.).

U magneticky tvrdých materiálů je hysteresní smyčka široká, materiál zůstane při nulové intenzitě namagnetován. Zůstane tzv. remanentní magnetismus označený na obr. 1. indukcí B_{rem} . Tyto materiály jsou užívány zejména pro konstrukci permanentních – stálých magnetů. Jsou to např. slitiny železa, hliníku, niklu a kobaltu nebo keramické tzv. tvrdé ferity.





Obr. 1. Hysteresní smyčka magneticky tvrdého a magneticky měkkého materiálu

Jestliže je hysteresní smyčka úzká, materiál neklade odpor při přemagnetování, hovoříme o magneticky měkkém materiálu. Tyto materiály jsou používány pro magnetické části elektrických strojů, které vedou střídavé magnetické pole. Snažíme se, aby tato smyčka měla co nejmenší plochu, protože práce potřebná pro přemagnetování, tedy i ztráty vzniklé při přemagnetování jsou úměrné ploše hysteresní smyčky. Tyto ztráty se projevují zahříváním magnetického jádra. Současně je nutné, aby byl minimální i remanentní magnetismus, tj. magnetická indukce při nulové intenzitě magnetického pole H .

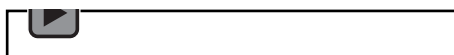
Jako magneticky měkké materiály pro elektrické stroje jsou používány speciální transformátorové oceli. Protože feromagnetické látky jsou obvykle i elektricky vodivé, dochází při střídavém magnetování k protínání magnetických siločar těmito vodiči a tudíž i k indukovaní vířivých proudů v nich a tím k dalším nežádoucím ztrátám. Proto jsou magnetická jádra tvořena vzájemně izolovanými plechy, aby se co nejvíce omezil průřez vodiče pro indukci vířivých proudů. Navíc se materiály legují křemíkem pro zvýšení jejich elektrického odporu.

Jádra moderních transformátorů jsou tvořena tzv. orientovanými plechy, u kterých se ve směru válcování dosahuje podstatně lepších magnetických vlastností než ve směru příčném.

Činnost elektromagnetu lze popsat např. aplikací Thompsonova zákona o maximu energie, který říká, že soustava připojená na zdroje energie se snaží zaujmout takovou polohu, ve které je celková energie soustavy maximální.



Audio 8.3 Magnetické vlastnosti materiálů

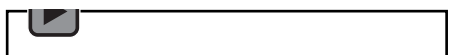


Přivedeme-li na cívku magnetu napětí, vytvoří se v magnetickém obvodu magnetické pole. Velikost magnetického pole je omezena magnetickým odporem obvodu, který je tvořen jednak feromagnetickými částmi jha a kotvy a dále vzduchovými mezerami mezi nimi. Aby energie systému byla maximální, přitáhne se kotva ke jhu, čímž se zmenší vzduchové mezery a magnetické pole tak dosáhne největší energie.

Po odpojení napětí z cívky vznikne soustava bez zdrojů energie a ta se podle Thompsonova zákona o minimu energie snaží zaujmout takovou polohu, ve které je celková energie soustavy minimální.



Audio 8.4 Magnetické vlastnosti materiálů



Magnetické pole se zhroutí, silové účinky mezi jádrem a kotvou zaniknou a magnet odpadne.



8.3 STEJNOSMĚRNÉ ELEKTROMAGNETY

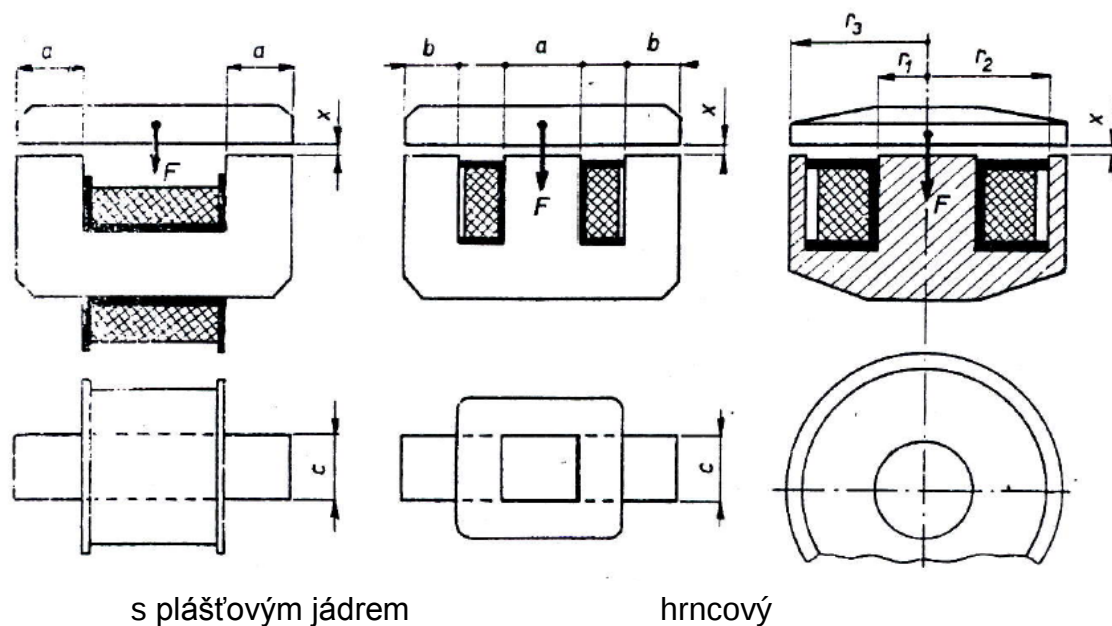
Stejnoseměrné elektromagnety jsou napájeny stejnosměrným proudem. Jejich magnetický obvod je vyroben zpravidla z masivního magneticky měkkého železa [1].

Konstrukce magnetu závisí na účelu, zejména na požadovaném průběhu síly při zdvihu magnetu. Podle toho lze magnety rozdělit na dva základní typy [2]:

využívající změny délky vzduchové mezery - vhodné pro malé zdvihy, síla je nepřímo úměrná kvadrátu délky vzduchové mezery,

využívající změny průřezu vzduchové mezery - pro dlouhé zdvihy s prakticky konstantní silou (obr. 4.).

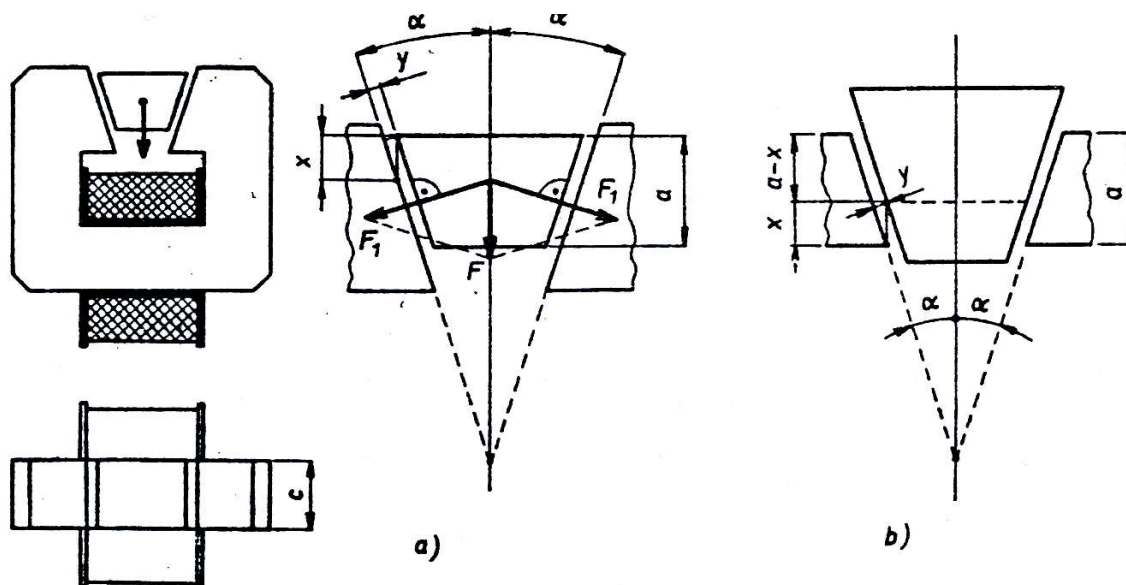
Konstrukce elektromagnetů s proměnnou délkou vzduchové mezery určené pro malý zdvih kotvy jsou uvedeny na obr. 2 [2].



Obr. 2. Elektromagnety s proměnnou délkou vzduchové mezery

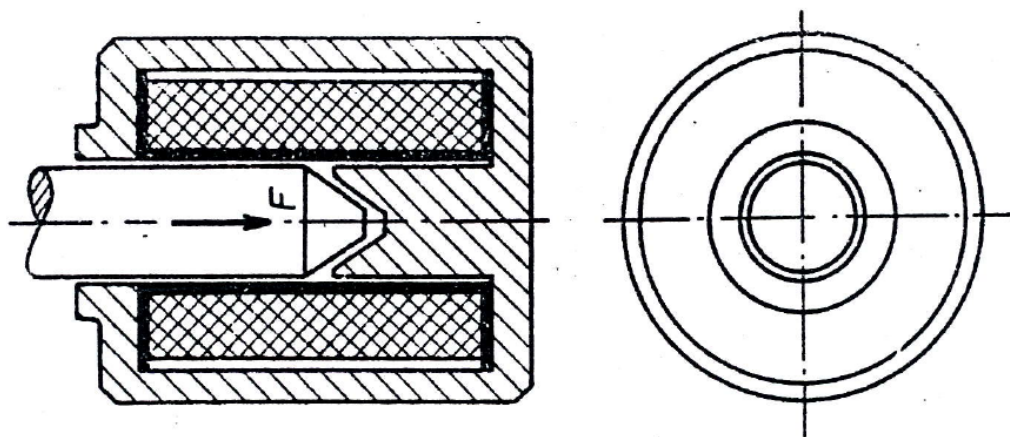
Větší zdvih umožňuje sešikmení ploch kotvy (obr. 3). Rovněž zde je síla úměrná druhé mocnině vzdálenosti dle vztahu:

$$F \approx \frac{1}{x^2} \quad (1)$$



Obr. 3. Elektromagnety se šikmými plochami kotvy i pólů

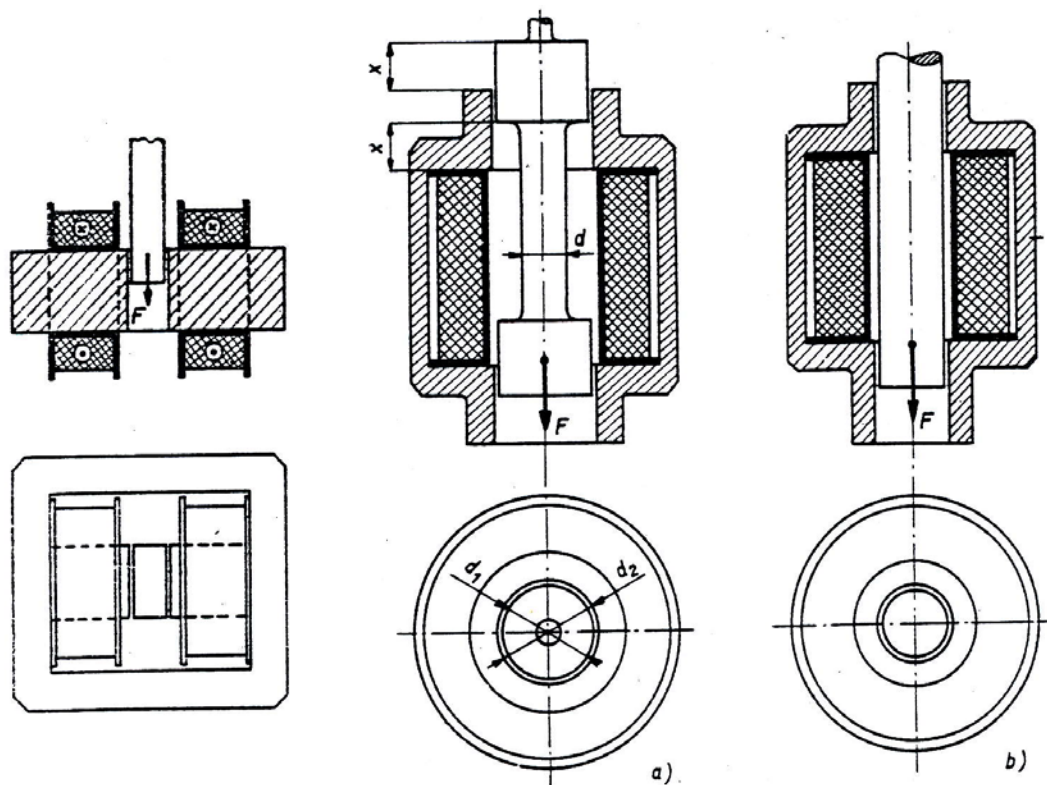
Pístové magnety s proměnnou délkou vzduchové mezery (obr. 4) jsou vhodné pro větší zdvihy kotvy.



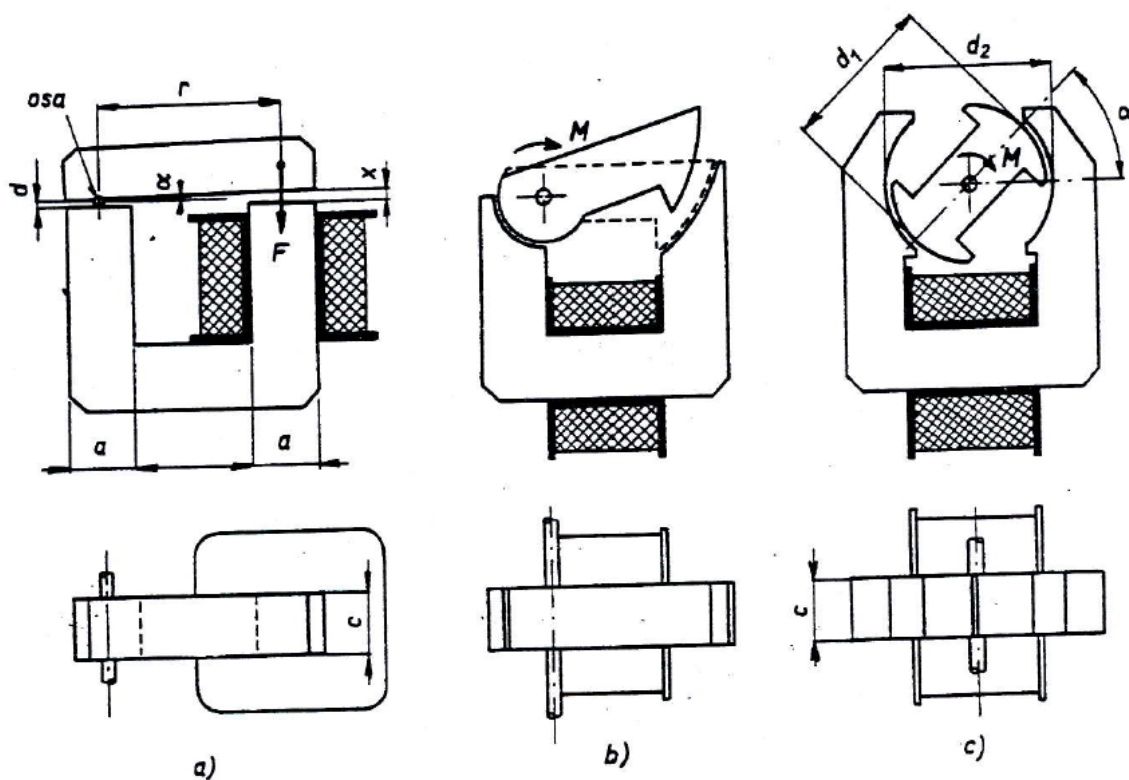
Obr. 4. Pístový elektromagnet

Konstrukce magnetů s proměnnou plochou vzduchové mezery jsou uvedeny na obr. 5. Zde je v jistých mezích přitažlivá síla nezávislá na zdvihu magnetu.

Příklady konstrukcí elektromagnetů s rotačním pohybem kotvy jsou uvedeny na obr. 6 [2].



Obr. 5. Konstrukce elektromagnetů s proměnnou plochou vzduchové mezery


 a) změna délky
vzduchové mezery

 b) změna délky i
průřezu vzduchové
mezery

 c) změna průřezu
vzduchové mezery

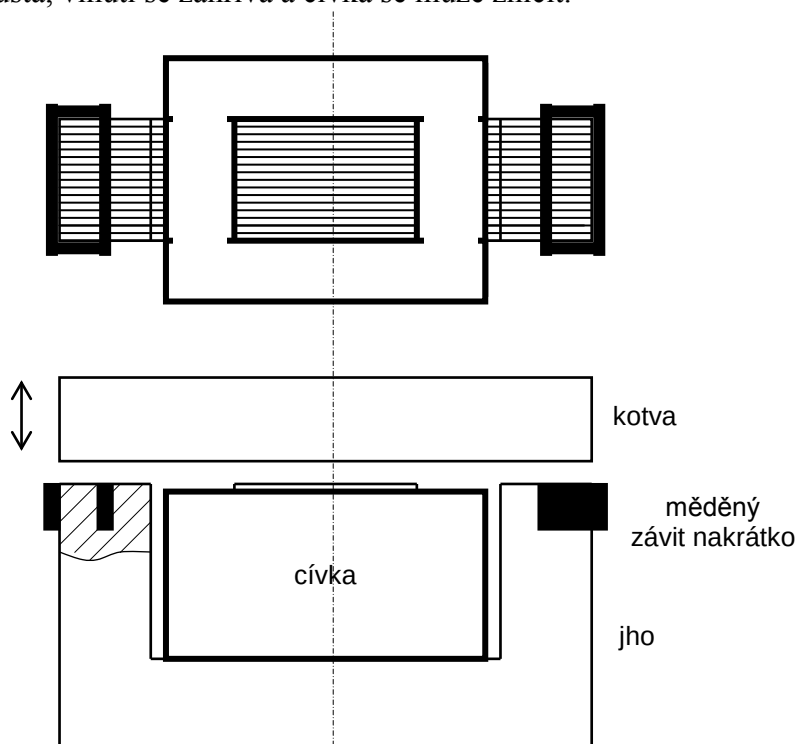
Obr. 6. Elektromagnety s rotačním pohybem kotvy



8.4 STŘÍDAVÉ ELEKTROMAGNETY

Cívky těchto magnetů jsou napájeny střídavým napětím. Pro zamezení vzniku vířivých proudů jsou jádra těchto elektromagnetů tvořena izolovanými plechy obdobně jako jádra transformátorů.

Protože přitažlivá síla magnetu závisí na kvadrátu protékajícího proudu [1], dochází při napájení střídavým proudem k nárůstu přitažlivé síly od nuly k maximu a to s dvojnásobnou frekvencí napájecího napětí. Pokles síly k nule způsobuje "odskakování" magnetu, které se projevuje jeho silným "bručením". Nejčastěji se tento jev odstraňuje překrytím části pólových nástavců závitem nakrátko, ve kterém se indukuje fázově zpožděný proud, který vytváří přitažnou sílu v době, kdy magnetický tok hlavní cívky je nulový (obr. 7). Při poruše tohoto závitu nakrátko magnet silně "bručí", magnet odskakuje, čímž roste vzduchová mezera, snižuje se indukčnost magnetu, která svou impedancí $Z = j\omega L$ určuje velikost proudu cívkou. Proud silně narůstá, vinutí se zahřívá a cívka se může zničit.



Obr. 7. Střídavý elektromagnet (vytvoření fázově posunutého proudu závity nakrátko)

Jsou užívány obdobné konstrukce jako u elektromagnetů stejnosměrných, ale ve srovnání se stejně konstruovanými stejnosměrnými elektromagnety je přitažná síla střídavých magnetů vždy menší.

Jestliže je střídavý elektromagnet napájen vícefázovým, např. třífázovým proudem, časové průběhy sil vyvolané různými fázemi se překrývají, takže přitažlivá síla neklesá k nule a magnet nemusí být vybaven závity nakrátko.

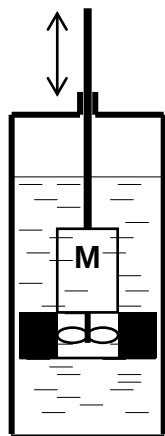
Průběh přitažlivé síly magnetu v čase je dán především časovým průběhem proudu cívky magnetu. Protože cívky magnetů s železným jádrem představují obvykle velké indukčnosti L , je průběh proudu určen časovou konstantou $\tau = L/R$, kde R je ohmický odpor cívky. Při přitahu magnetu se uzavírá magnetický obvod, čímž roste indukčnost a rychlost náběhu proudu se dále zpomaluje. V přitaženém stavu je proud cívkou omezen hodnotou jejího ohmického odporu. Stejně při odpadu magnetu se proměňuje nahromaděná energie magnetického pole i energie mechanická v elektrickou energii.



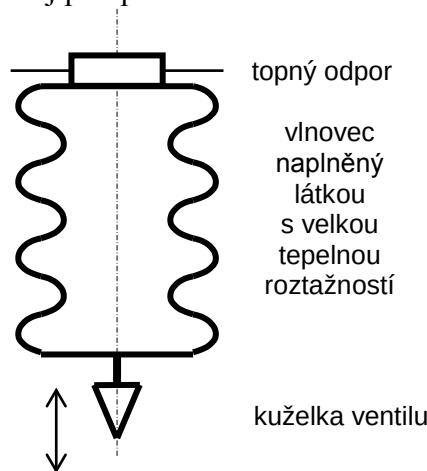
8.5 ELEKTROHYDRAULICKÝ ODBRZĐOVAČ

Často používaným lineárním servopohonem je elektrohydraulický odbrzdovač (označovaný obvykle vžitým firemním označením ELDRO).

Ve válci naplněném olejem (obr. 8.) se pohybuje píst opatřený elektromotorkem s rotačním čerpadlem. Při zapnutí proudu motorek čerpá olej pod píst a ten se zvedá.



Obr. 8. Elektrohydraulický odbrzdovač



Obr. 9. Elektricky ovládaný termostatický ventil

Po vypnutí proudu do motoru olej protéká zpět mezi lopatkami čerpadla a píst se vrací do dolní polohy působením vnějšího závaží, pružiny apod.

Je to rychlý servopohon s velkým lineárním zdvihem a velkou přestavnou silou, zpětný chod je nutno zajistit buď zpětnou pružinou, závažím nebo druhým odbrzdovačem.

Použití: ovládání brzd jeřábů, závor, klapek velkých průřezů apod.

V poslední době se servopohony tohoto typu začínají využívat jako levné pohony pro ovládání klapek klimatizačních zařízení. Nepoužívá se v nich rotačního čerpadla, ale čerpadla membránového.

8.6 JINÉ TYPY LINEÁRNÍCH SERVOPOHONŮ

V topenářské technice se v současné době začínají značně využívat pro ovládání radiátorových ventilů servopohony vycházející z konstrukce měchových (vlnovcových) termostatických ventilů.

Jedná se vlastně o doplnění vlnovcového termoregulačního ventilu topným odporem (obr. 9). Náplň vlnovce s velkou tepelnou roztažností se ohřívá přitmeleným topným odporem. Příkon do tohoto topného odporu je obvykle ovládán zařízením zajišťujícím řízení teploty v jednotlivých místnostech na základě zadaného programu, které může např. prostřednictvím dvou- nebo třídrátové sběrnice a příslušných terminálů adresně měřit teplotu v místnosti, srovnat s žádanou teplotou a sepnutím nebo vypnutím proudu do topného odporu hlavice ovládat příslušný ventil.

8.7 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM:

- Magnetické vlastnosti různých materiálů a fyzikální principy magnetismu.
- Chování a uspořádání stejnosměrného elektromagnetu.
- Chování a uspořádání střídavého elektromagnetu.
- Příklady jednoduchých lineárních servopohonů.



9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: Technické prostředky automatického řízení/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] dufek, m. Konstrukce měřicích a řídících přístrojů. Praha: ČVUT Fakulta elektrotechnická, 1966.
- [3] BRÁZDA, A., JENČÍK, J.: Technická měření. 5.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 208 s. ISBN80-01-01495-9.
- [4] ĎAĎO, S.: Měřicí převodníky fyzikálních veličin. Skriptum ČVUT Praha, 1990.
- [5] HOFMANN, D. Priemyselná meracia technika. Bratislava: Alfa, 1988, 568 s. ISBN 80-05-00139-8.
- [6] KOBĚRSKÝ, J. Technické prostředky řídicích systémů. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [7] NUTIL, J., ČECH, V.: Měření v hutním průmyslu. SNTL. Praha 1982.
- [8] stach, J., aj.: Československé integrované obvody. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975.
- [9] ZEHNULA, K.: Převodníky fyzikálních veličin. Skriptum FE VUT Brno, 1990.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Elektromotory

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

9	ELEKTROMOTORY	3
9.1	Názvosloví	4
9.2	Základní vztahy	4
9.3	Další vlastnosti elektromotoru	5
9.3.1	Rozběh elektromotorů	5
9.3.2	Brzdění elektromotorů	6
9.4	Vztah motoru a poháněného zařízení	6
9.5	Stejnoseměrné elektromotory	7
9.5.1	Princip	7
9.5.2	Reakce kotvy	8
9.5.3	Dělení stejnosměrných motorů	8
9.5.4	Brzdění	8
9.5.5	Motor s cizím buzením	8
9.5.6	Motor s vlastním buzením	9
9.5.7	Rotační zesilovače	12
9.5.8	Stejnoseměrná soustrojí	12
9.6	Střídavé elektromotory	13
9.6.1	Úvod	13
9.6.2	Točivé magnetické pole	14
9.6.3	Třífázové motory	15
9.6.4	Motory třífázové asynchronní	16
9.6.5	Motory synchronní	20
9.6.6	Zvláštní konstrukce třífázových motorů	21
9.6.7	Elektrická hřídel	22
9.6.8	Jednofázové střídavé motory	23
9.6.9	Motory dvoufázové	28
9.7	Krokové motory	28
9.8	Elektrické servopohony	30
9.9	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	31
10	POUŽITÁ LITERATURA	32



9 ELEKTROMOTORY



OBSAH KAPITOLY:

Základní názvosloví elektromotorů.

Stejnoseměrné elektromotory.

Střídavé elektromotory.

Krokové elektromotory.

Elektrické servopohony.



MOTIVACE:

Z hlediska akčních členů regulátorů jsou elektromotory velice využívány pro svou různorodou konstrukční rozmanitost a širokou škálu použitelnosti. Elektromotory dělíme podle mnoha hledisek jako je zdroj energie, kterým je motor napájen, konstrukční uspořádání, regulovatelnost otáček, výkonové omezení atp. Základní vlastnosti a chování elektromotorů vysvětlíme a ukážeme na jednotlivých typech motorů. Zaměříme se na motory, z hlediska jejich využití v elektrických akčních pohonech, při řízení technologických procesů.



CÍL:

Cílem kapitoly je popsat chování různých typů elektromotorů z hlediska využití v automatizovaných systémech řízení.

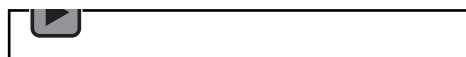


9.1 NÁZVOSLOVÍ

Elektromotory jsou zařízení sloužící k přeměně elektrické energie v mechanickou.



Audio 9.1 Názvosloví



Základním principem motorů je silový účinek magnetického pole na vodič, kterým prochází elektrický proud.



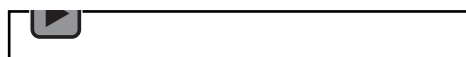
Audio 9.2 Názvosloví



Mechanicky jsou motory tvořeny dvěma částmi. Pevnou – **statorem** - a otočnou - **rotorem**.



Audio 9.3 Názvosloví



Ve statoru je obvykle umístěno vinutí vytvářející magnetické pole, tzv. budicí vinutí, na rotoru pak vodiče protékane proudem.

Část elektrického stroje, ve kterém se indukuje proud, nazýváme **kotva**, což je při obvyklém konstrukčním uspořádání rotor.

Přeměna elektrické energie v mechanickou práci je inverzní k přeměně mechanické energie v elektrickou. Proto většina elektromotorů může být využita i v této opačné funkci jako **generátory**, i když mezi oběma typy strojů jsou zpravidla menší konstrukční odchylky.

Generátor stejnosměrného proudu nazýváme **dynamo**, generátor střídavého proudu **alternátor**.

9.2 ZÁKLADNÍ VZTAHY

Na vodič protékající proudem umístěný v magnetickém poli působí síla daná vztahem

$$F = B \cdot l \cdot I, \quad (1)$$

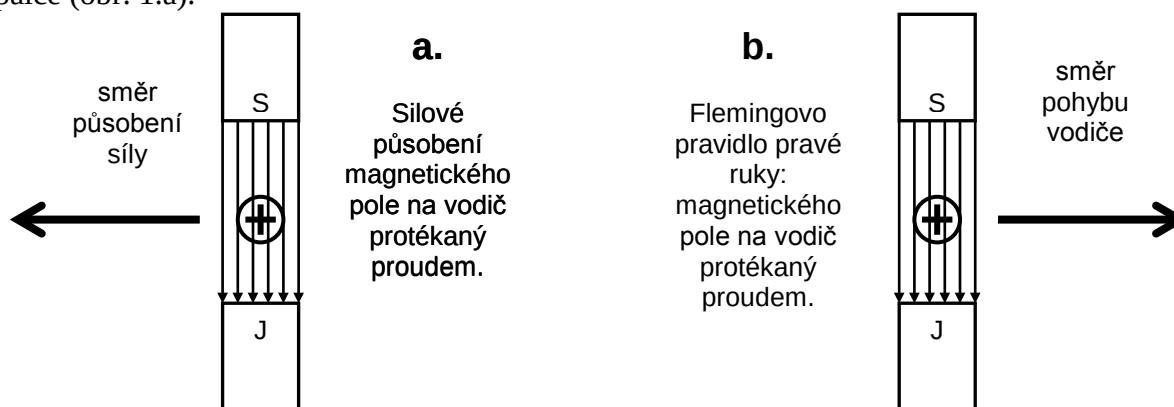
Kde F je síla působící na vodič [N],

B magnetická indukce v blízkosti vodiče [T],

l délka vodiče v magnetickém poli o indukci B [m],

I proud protékající vodičem [A].

Směr síly určíme podle pravidla levé ruky – položíme-li levou ruku na vodič tak, aby siločáry vstupovaly do dlaně a prsty ukazovaly směr proudu, pak síla působí ve směru odkloněného palce (obr. 1.a).



Obr. 1. Silové působení magnetického pole na vodič protékající proudem

Na druhé straně ale pohybem téhož vodiče v magnetickém poli se ve vodiči indukuje elektrické napětí, u elektromotorů označované jako protinapětí



$$U_p = B \cdot l \cdot v = k \cdot B \cdot n, \quad (2)$$

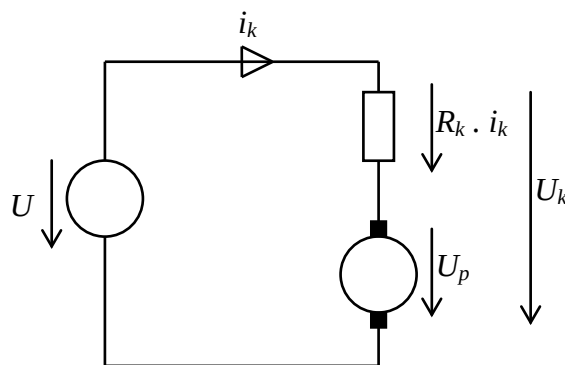
kde U_p je napětí indukované ve vodiči [V],

v rychlost vodiče ve směru kolmém k magnetickým siločarám [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

n otáčky kotvy [min^{-1}],

k konstanta vyplývající z konstrukce motoru.

Směr tohoto napětí určíme podle Flemingova pravidla pravé ruky: „Položíme-li pravou ruku na vodič tak, aby siločáry vstupovaly do dlaně a palec ukazoval směr pohybu vodiče, pak prsty ukazují směr indukovaného proudu, (indukovaného napětí).“



Obr. 2. Schéma obvodu kotvy elektromotoru

Toto protinapětí působí proti napájecímu napětí kotvy. Pro obvod kotvy uvedený na obr. 2 platí:

$$U_k = R_k \cdot I + U_p, \quad (3)$$

kde U_k je celkové napětí na kotvě motoru [V],

R_k odpor vinutí kotvy [Ω],

I proud procházející kotvou motoru [A],

U_p indukované protinapětí v kotvě [V].

Pro úplnost je ještě nutno upozornit, že při linearizaci vlastností magnetických obvodů plyne pro magnetickou indukci vyvolávanou proudem protékajícím statorovými elektromagnety I_{stat} úměra

$$B \approx I_{stat} \quad (4)$$

Z uvedených vztahů vyplývají tyto základní vlastnosti motorů:

při konstantním napětí na kotvě a konstantním buzení s rostoucími otáčkami motoru roste indukované protinapětí (3), klesá proud kotvy a tedy i moment motoru,

velikost protinapětí lze ovládat změnou indukce B resp. proudu statoru I_{stat} (3), (4), tím lze měnit i velikost proudu kotvy a tedy i otáčky resp. točivý moment motoru,

změnu otáček lze provádět změnou celkového napětí na kotvě U_k při konstantním buzení,

při spouštění motorů jsou otáčky a tedy i protinapětí nulové, takže při připojení na síť je proud omezen pouze impedancí vinutí. Proto vzniká při připojení na síť velký proudový náraz velikosti deseti až patnáctinásobku jmenovitého proudu.

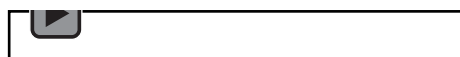
9.3 DALŠÍ VLASTNOSTI ELEKTROMOTORU

9.3.1 Rozběh elektromotorů

Moment motoru při rozběhu závisí na typových vlastnostech i jeho konkrétní konstrukci. Velkým problémem je získání dostatečně velkého **záběrového momentu** při nulových a nízkých otáčkách.



Audio 9.4 Rozběh elektromotorů



Dalším problémem je omezení tzv. **záběrových proudů**, které mohou být mnohonásobkem jmenovitého proudu motoru.



Audio 9.5 Rozběh elektromotorů



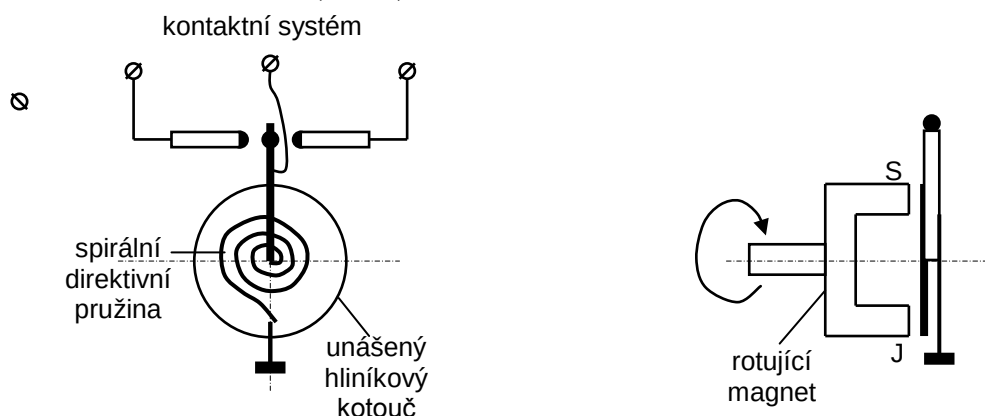
Konkrétní řešení těchto problémů bude uvedeno u každého typu motoru samostatně.

9.3.2 Brzdění elektromotorů

Motory mohou většinou pracovat i jako generátory, tedy přeměňovat mechanickou energii v elektrickou. To umožňuje použít elektromotoru jako brzdy. Získanou elektrickou energii lze buď **rekuperovat** zpět do napájecí sítě – toto brzdění označujeme pojmem **brzdění do sítě**, nebo ji maříme - proměňujeme v teplo - v odporech – označujeme jako **brzdění do odporu**.

Při použití motoru v generátorovém režimu jako brzdy je nutno si uvědomit, že napětí se ve vodiči indukuje pouze při nenulové rychlosti (2), tedy s klesajícími otáčkami rychle klesá brzdňý účinek. Pro uvedení zařízení do klidu a jeho zajištění v tomto stavu je tedy nutná další, zpravidla mechanická třecí brzda.

Většina elektromotorů umožňuje snadnou reversaci směru otáčení. Této skutečnosti se rovněž využívá k **brzdění reversací**. Nevýhodou tohoto způsobu je značné proudové namáhání vinutí motoru, přitom brzdňý účinek podle konstrukce motoru nemusí být nejvyšší. Při tomto způsobu brzdění je ale nutno po dobrzdění zamezit roztočení pohonu opačným směrem. K tomu je na hřídel motoru mechanicky připojen tzv. elektrodynamický hlídač brzdění známý pod obchodním názvem Alnico (obr. 3).



Obr. 3. Elektrodynamický hlídač brzdění

Rotující permanentní magnet indukuje v hliníkovém kotouči vířivé proudy a jejich silovými účinky je tento kotouč unášen ve směru točení magnetu. V klidu je kotouč ve střední poloze udržován direktivními pružinami. Na kotouči je upevněn střední kontakt, který se při roztočení magnetu spojí s některým z pevných kontaktů. Přes tyto kontakty je zapojen stykač brzdícího proudu motoru. Při dosažení otáček blízkých nule vrátí direktivní pružina kotouč do střední polohy, kontakty se rozejdou, tím odpadne stykač brzdícího proudu a nedojde tak k rozběhu celého pohonu opačným směrem.

U střídavých motorů je možné i brzdění stejnosměrným proudem. Způsob využití motoru jako brzdy bude uveden u každého typu motoru samostatně.

9.4 VZTAH MOTORU A POHÁNĚNÉHO ZAŘÍZENÍ

V ustáleném stavu je moment motoru roven momentu potřebnému k pohonu zařízení. Často požadujeme od motoru udržování přibližně konstantních otáček při změně zatěžovacího

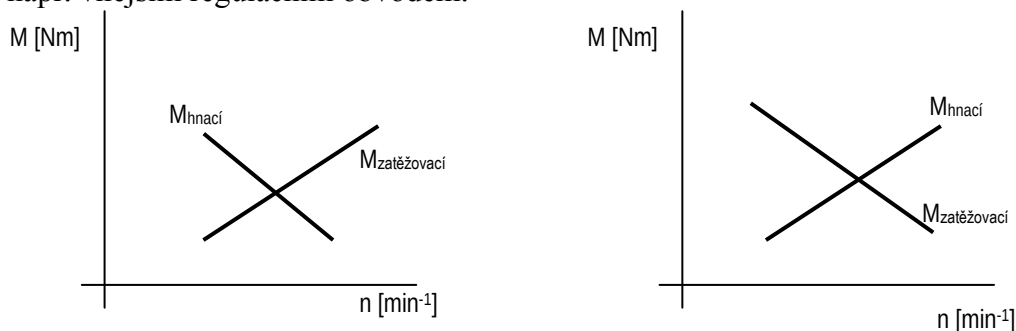


momentu. Tyto vlastnosti motoru hodnotíme pomocí momentové charakteristiky, tj. závislosti momentu na otáčkách.

Mezi motorem a poháněným zařízením mohou nastat dva stavy:

a) stabilní chování - jestliže při nárůstu otáček vzroste moment zátěže a poklesne moment motoru a naopak, pohon má snahu udržovat otáčky odpovídající průsečíku charakteristik (obr. 8.4 a).

b) nestabilní chování - při změně momentu se rovnost poruší a díky sklonu charakteristik dojde buď k zastavení motoru, nebo naopak k jeho roztočení na nekontrolovatelně vysoké otáčky, které mohou způsobit havárii stroje (obr. 5b). V tomto případě je nutno udržovat otáčky např. vnějším regulačním obvodem.



a - stabilní spojení motoru s pohonem

b - nestabilní spojení

Obr. 4. Momentové charakteristiky motoru a poháněného zařízení

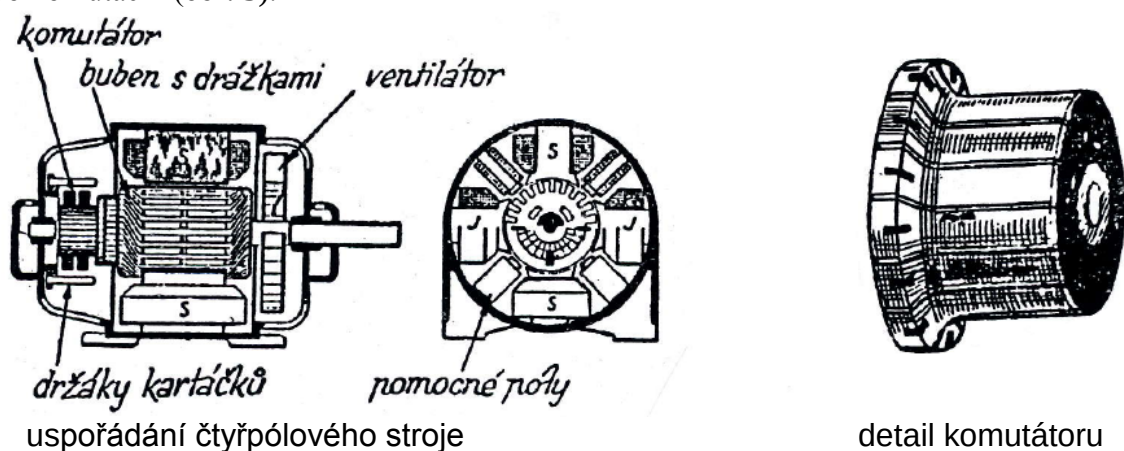
9.5 STEJNOSMĚRNÉ ELEKTROMOTORY

9.5.1 Princip

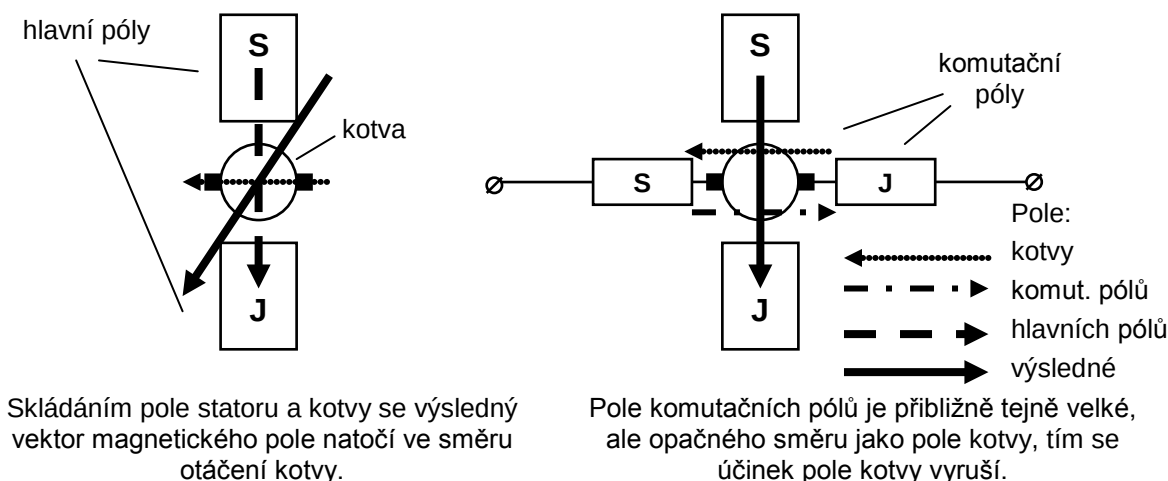
V magnetickém poli vytvářeném statorovými stejnosměrnými magnety zpravidla s jádrem z masivní magneticky měkké oceli se otáčí rotor (kotva) s magnetickým obvodem tvořeným dynamovými plechy a řadou cívek. Směr proudu v jednotlivých cívkách je při změně smyslu pohybu vodiče vůči magnetickému poli přepínán zpravidla **komutátorem**, tj. měděným válcem sestávajícím z jednotlivých izolovaných lamel, ke kterým je přiváděn proud uhlíkovými hranoly označovanými jako **kartáče**. U moderních pohonů může být komutátor nahrazen elektronickým spínáním. Je rovněž možná zaměněná funkce statoru a rotoru.

V dalším textu budeme uvažovat klasickou konstrukci motoru se statorem tvořeným elektromagnety a rotorem s komutátorem.

Stator má jak tzv. póly hlavní, které vytvářejí hlavní magnetický tok, tak tzv. póly pomocné nebo komutační (obr. 5).



Obr. 5. Základní uspořádání stejnosměrného elektromotoru



Obr. 6. Reakce kotvy

9.5.2 Reakce kotvy

Průchodem proudu vodiči kotvy vzniká její vlastní magnetické pole kolmé na magnetické pole statoru. Tím dochází k deformaci statorového pole a tím k natočení tzv. neutrální osy, tj. okamžiku, kdy se vodiče kotvy pohybují rovnoběžně se siločarami statorového pole a kdy dochází právě ke komutaci - přepínání směru proudu v rotorových vodičích. Následkem tohoto jevu označovaného jako **reakce kotvy** je zvýšené jiskření kartáčů na komutátoru. Komutační póly zapojené do série s kotvou působí proti magnetickému poli kotvy, tím lze v rámci technických možností odstranit tuto deformaci statorového pole tak, aby při jakémkoli zatížení motoru byla opět neutrální osa v místě dotyku kartáčů s komutátorem (obr. 6).

9.5.3 Dělení stejnosměrných motorů

Podle způsobu získávání statorového magnetického pole dělíme stejnosměrné motory:

- Motor **s cizím buzením** – proud pro vytvoření magnetického pole statoru se získává z jiného zdroje než proud rotoru. Zvláštním případem tohoto typu motoru jsou motory se statorem tvořeným permanentními magnety.
- Motor **s vlastním buzením** - budící proud statorových elektromagnetů je získáván ze stejného zdroje jako napájecí proud rotoru.

9.5.4 Brzdění

Stejnoseměrné motory mohou velmi dobře pracovat v generátorovém režimu, tedy převádět mechanickou energii na elektrickou. Mohou tedy brzdít. Většinou se užívá brzdění "do sítě" nebo "do odporu", brzdění reversací se obvykle u stejnosměrných motorů nedoporučuje, protože při něm dochází k velkému přetěžování a jiskření na komutátoru, který se tím může poškodit.

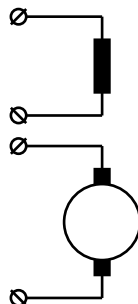
9.5.5 Motor s cizím buzením

Vinutí rotoru a statoru jsou napájena ze dvou nezávislých zdrojů.

9.5.5.1 Klasická konstrukce motoru s cizím buzením - s vinutým statorem

Je to nejčastěji používaný průmyslový stejnosměrný regulační pohon. Základní uspořádání je na (obr. 7).





Obr. 7. Schéma motoru s cizím buzením

Pro napájení motoru byla dříve používána stejnosměrná síť a regulace proudů byla prováděna zařazováním regulačních odporů. V moderních pohonech jsou zpravidla používány řízené tyristorové usměrňovače jak pro napájení statoru, tak i kotvy motoru.

Spouštění:

Motor se spouští při maximálním budicím proudu zvyšováním napětí na kotvě.

Momentové vlastnosti:

Změnou obou napětí lze regulovat moment v širokém rozsahu. Při konstantním buzení a konstantním napětí na kotvě má motor snahu udržovat prakticky konstantní otáčky.

Regulace otáček:

Především změnou napětí na kotvě, případně i regulací buzení - tento způsob je obtížnější pro velmi velkou časovou konstantu $\tau = L/R$ budicího vinutí. Regulace otáček je možná ve velmi širokých mezích.

Reversace:

Změnou polarity jednoho zdroje, tedy buď změnou směru proudu v budicím vinutí nebo změnou polarity napájecího napětí kotvy.

Brzdění:

Motor může bez problému pracovat jako stejnosměrný generátor - dynamo, je tedy možné brzdění do sítě nebo odpojením kotvy od sítě a jejím připojením "do odporu". Brzdňý moment lze regulovat změnou buzení i změnou zatěžovacího odporu.

Použití:

Pro své výborné regulační vlastnosti patří mezi často užívané stroje pro velmi náročné regulační pohony. Používají v celém výkonovém rozsahu od výkonu řádu W až po velké válcovské nebo těžní motory s výkony řádu MW.

9.5.5.2 Motor s permanentními magnety

Stator tohoto motoru je tvořen permanentními magnety. Tato konstrukce je používána u malých motorků do výkonu stovek W, např. pro pohon hraček, malých spotřebičů v automobilech, pro roboty apod. Vlastnosti tohoto motoru jsou shodné jako u motoru s budicím vinutím, ale pro regulaci otáček nelze využívat stupně volnosti daného možností měnit budicí proud.

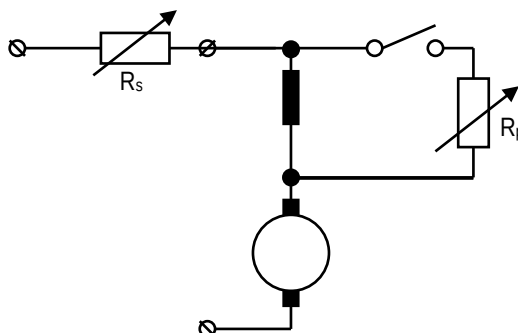
Zvláštní kategorií tohoto druhu motorů jsou motory s diskovým rotorem používané zejména v pohonech s rychlou změnou otáček (pohon robotů apod.). Tyto motory mají vlastní moment setrvačnosti minimalizován tzv. diskovým rotorem, kdy rotor je tvořen vlastně jedinou oboustrannou deskou z plošných spojů, na které jsou vytvořeny jak vodiče, tak i komutátor. Rotor se otáčí v úzké mezeře hrncového statorového magnetu.

9.5.6 Motor s vlastním buzením**9.5.6.1 Sériový motor**

Budicí vinutí statoru má málo závitů a je zapojeno do série s kotvou (obr. 8).

Spouštění:

Motor se spouští s odpojeným paralelním odporem k buzení R_p a se zařazeným sériovým spouštěcím odporem R_s jeho postupným vyřazováním, nebo postupným zvyšováním napětí na motoru. Po rozběhu motoru vyřazením odporu R_s je možné další zvyšování otáček připojením a snižováním buzení paralelním odporem R_p . Protože snížením buzení klesá i protinapětí, roste přitom proud kotvy a při velkém přetížení může dojít k jejímu poškození.



Obr. 8. Zapojení sériového motoru

Momentové vlastnosti:

Protože stejný proud protéká rotorem i statorem, pak při úměrnosti $B \sim I$ (viz vztah 4) je síla působící na vodič a tedy moment motoru úměrný kvadrátu velikosti protékajícího proudu (viz vztah 2). Z těchto vztahů tedy plyne:

- moment motoru je úměrný druhé mocnině protékajícího proudu,
- proud kotvou a tedy i moment je tím větší, čím jsou nižší otáčky motoru (klesá protinapětí, tedy roste proud a moment).

Regulace otáček:

- otáčky motoru silně závisí na zatížení motoru,
- lze je regulovat změnou napájecího napětí nebo paralelním odporem k budicímu vinutí, tzv. odbuzováním, zde ale nelze přestoupit určitou mez, kdy při velmi malém buzení velmi narůstá proud kotvy,
- s klesajícími otáčkami moment motoru podstatně roste,
- při odlehčení motoru rostou jeho otáčky a může dojít k havárii rotoru velkými odstředivými silami, tedy sériový motor nesmí být nikdy odlehčen.

Reversace:

Změnou polarity napájení rotoru proti statoru a naopak, tedy změnou směru magnetické indukce B nebo směru protékajícího proudu kotvou.

Brzdění:

Motor může pracovat jako stejnosměrný generátor - dynamo, ale je možné jen obtížně regulovat výstupní napětí. Proto není prakticky možné brzdění do sítě, ale lze brzdít "do odporu". Brzdňý moment lze regulovat změnou zatěžovacího odporu. Pro možnost brzdění do sítě mají některé trakční motory samostatné statorové vinutí používané pouze při brzdění, kdy se z motoru prakticky stává motor kompaudní – viz dále.

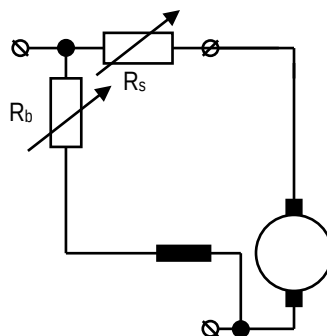
Použití:

Motor se používá pro pohony, kde nezáleží na udržení konstantních otáček, ale kde je nutný velký zejména záběrový moment. Nejčastější použití je jako trakční motor v tramvajích, lokomotivách atd. Ve střídavé verzi jako tzv. universální motor (viz dále) se používá často v elektrickém nářadí (vrtačky, vysavače, pily apod.).

9.5.6.2 Derivační motor

Motor má samostatné budicí vinutí s mnoha závity připojené paralelně ke kotvě (obr. 9).





Obr. 9. Zapojení derivačního motoru

Spouštění:

Motor se spouští při maximálním budicím proudu ($R_b = 0$) zvyšováním napětí na kotvě nebo vyřazováním sériového odporu R_s .

Momentové vlastnosti:

Derivační motor má poměrně malý záběrový moment. Kotva se otáčí v relativně konstantním magnetickém poli statoru. Při zvětšeném zatížení poklesnou otáčky, ale tím klesne i indukované protinapětí a vzroste proud kotvy, tedy i moment motoru a otáčky zůstávají poměrně stálé. Celé chování se blíží chování motoru s cizím buzením.

Regulace otáček:

Především změnou budicího proudu odporem R_b . Regulace otáček je možná ve velmi širokých mezích.

Reversace:

Změnou polarity jednoho pole, tedy buď změnou směru proudu v budicím vinutí nebo změnou polarity napájecího napětí kotvy.

Brzdění:

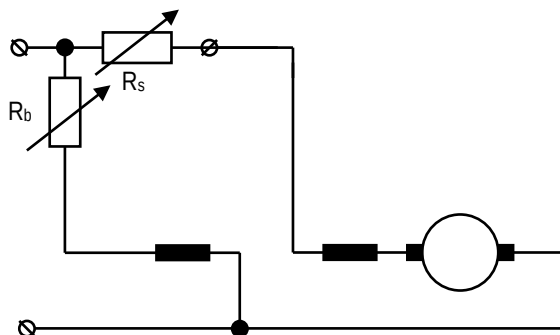
Motor může bez problému pracovat jako stejnosměrný generátor - dynamo, je tedy možné brzdění do sítě nebo odpojením napájení kotvy a jejím připojením na zatěžovací odpor "do odporu". Brzdný moment lze regulovat změnou buzení i změnou zatěžovacího odporu.

Užití:

Pohon pracovních strojů téměř konstantními, ve značném rozsahu nastavitelnými otáčkami. Obdobné použití jako motor s cizím buzením.

9.5.6.3 Kompaudní motor

Má dvě satorová vinutí. Vinutí derivační a sériové. Tím v sobě shrnuje vlastnosti obou motorů, tj. udržování konstantních otáček i nárůst momentu motoru při nižších otáčkách. Konkrétní vlastnosti motoru závisí na jeho konstrukci, především na tom, které satorové vinutí má převažující vliv (obr. 10).



Obr. 10. Zapojení kompaučního motoru



Spouštění:

Motor se spouští při maximálním budicím proudu vyřazováním sériového spouštěcího odporu R_s .

Momentové vlastnosti:

Momentové vlastnosti se blíží sériovému nebo derivačnímu motoru podle toho, které budicí vinutí má převažující vliv. Nejčastěji je motor konstruován s cílem dosažení lepších vlastností derivačního motoru – tedy větší stability otáček při značném kolísání zatěžovacího momentu.

Regulace otáček:

Především změnou derivačního budicího proudu odporem R_b . Regulace otáček je možná ve velmi širokých mezích.

Reversace:

Změnou polarity, nejlépe kotvy.

Brzdění:

Motor může bez problému pracovat jako stejnosměrný generátor - dynamo, je tedy možné brzdění do sítě nebo "do odporu". Brzdný moment lze regulovat změnou buzení i změnou zatěžovacího odporu.

Užití:

Pohon pracovních strojů téměř konstantními, ve značném rozsahu nastavitelnými otáčkami nezávislými i na rychlých změnách zatěžovacího momentu.

9.5.7 Rotační zesilovače

Jak již bylo uvedeno, může pracovat motor s cizím buzením jako generátor označovaný jako dynamo s cizím buzením. Malým budicím proudem lze ovládat velký výkon, který lze odebírat z rotoru dynama. Tento stroj je proto využíván jako rotační zesilovač a často i ve funkci regulátoru ve starších pohonech.

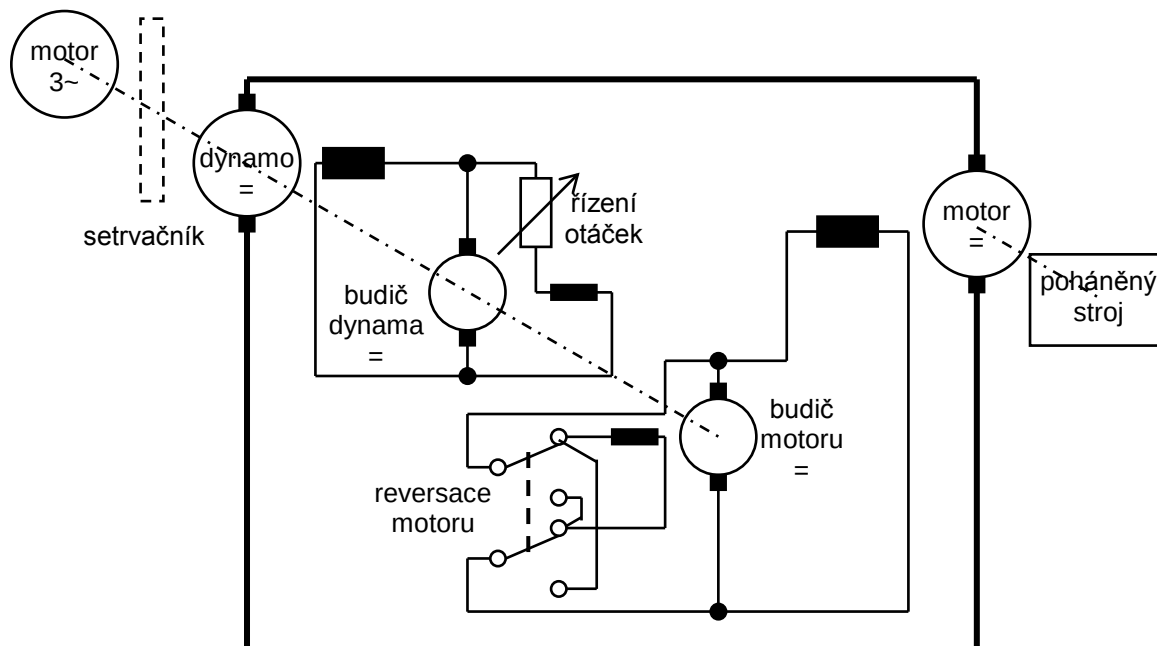
S rostoucími požadavky vznikly další varianty tohoto stroje s podstatně vyšším zesílením, několika budicími vinutími, která tvořila např. součtový člen v regulačním obvodu apod. Tyto stroje jsou známy pod názvy ROTOTROL a AMPLIDYN. V současné době jsou prakticky nahrazeny polovodičovými zesilovači, proto se jim nebudeme dále věnovat.

9.5.8 Stejnosměrná soustrojí

Výhodných regulačních vlastností stejnosměrných strojů bylo využíváno již dříve, před vynálezem polovodičů pro realizaci náročných pohonů zejména na starších válcovnách, u těžních strojů apod. Změny napájecího napětí kotvy motoru se dosahovalo řízením dynam, která byla poháněna zpravidla střídavými motory napojenými na běžnou střídavou síť. Změnou buzení těchto dynam se poměrně malým výkonem řídil velký výkon - napájecí napětí motoru. Základním typem tohoto soustrojí je tzv. Ward-Leonardova skupina, nebo WL soustrojí. Jedna varianta jeho zapojení je na obr. 11.

Střídavý neregulovatelný motor pohání dynamo s cizím buzením, jehož rotor je přímo spojen s rotorem motoru. Dále pohání malá dynamo, tzv. budiče, jejichž řízením se řídí budicí proud dynama, případně motoru. Ovládáním malého proudu budiče lze tedy ovládat výkonový obvod hlavního motoru a zajistit tak velmi kvalitní řízení otáček hlavního stejnosměrného motoru, přepínáním malých budicích proudů budiče se provádí reversace motoru. Přitom v obvodu kotvy motoru nejsou žádné spínací či regulační prvky, které by musely být dimenzovány na velké stejnosměrné proudy.





Obr. 11. Příklad zapojení Ward – Leonardova (Ilgnero) soustrojí

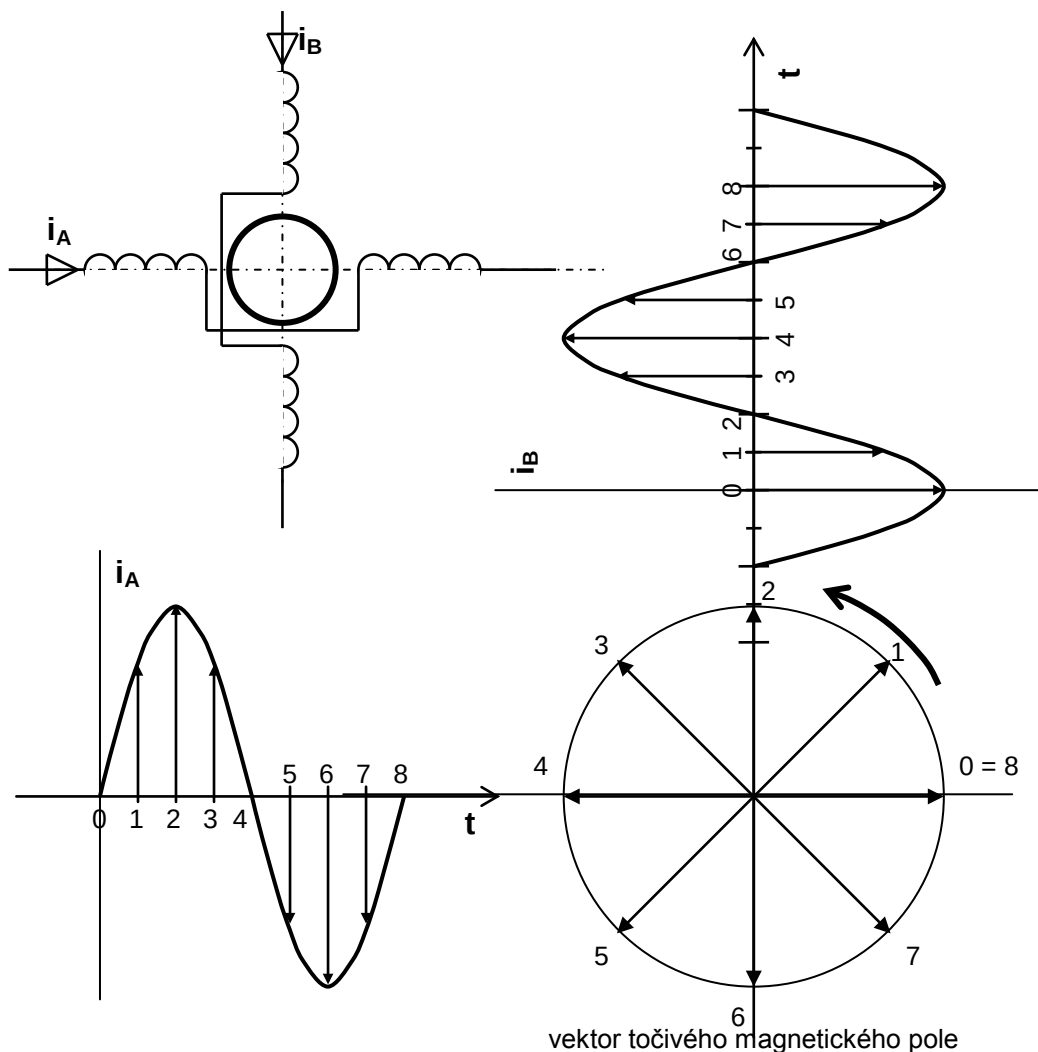
Pro kompenzaci výkonových či momentových špiček pohonu bývá často motorgenerátor doplněn ještě setvačníkem, ve kterém je akumulována energie využívaná k překrytí těchto špiček vznikajících např. při nápichu vývalku do stolice. Tyto výkonové špičky se pak nepřenášejí jako proudové špičky do napájecí střídavé sítě. Toto soustrojí se označuje jako soustrojí Ilgnero.

9.6 STŘÍDAVÉ ELEKTROMOTORY

9.6.1 Úvod

Jsou napájeny střídavým proudem zpravidla z rozvodné sítě. Střídavé motory se skládají obvykle z napájeného statoru a nenapájeného rotoru. Jádra obou částí motoru jsou vzhledem ke střídavé magnetizaci tvořena z izolovaných plechů. Rotorové proudy se indukují působením střídavého magnetického pole statoru. K pohybu rotoru dochází na stejném principu silového působení magnetického pole na vodič protékaný proudem jako u stejnosměrných motorů. Otáčející se rotor svým magnetickým polem způsobuje zpětnou indukci napětí do vinutí statoru a tím se snižuje statorový proud - obdoba protinapětí v kotvě stejnosměrných motorů.





Obr. 12. Vznik točivého magnetického pole

9.6.2 Točivé magnetické pole

Základem činnosti většiny střídavých motorů je vznik točivého magnetického pole.



Audio 9.6 Točivé magnetické pole



Uvedeme zde příklad dvoufázového motoru s cívkami natočenými mechanicky o 90° napájenými dvěma střídavými proudy shodné amplitudy a frekvence ale fázově posunutými o 90° (obr. 11).

Otáčky tohoto pole, tzv. synchronní otáčky jsou dány vztahem

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (5)$$

kde n je počet otáček [min^{-1}],

f frekvence napájecího napětí [Hz],

p počet pólových párů pro jednu fázi.

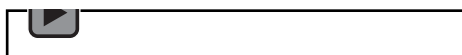
Pole jednopólových motorů má tedy při síťové frekvenci 50 Hz synchronní otáčky 3000 min^{-1} , dvojpólových 1500 min^{-1} atd.

Protože otáčky hřídele motoru závisí na synchronních otáčkách pole, plynou z tohoto vzorce i skutečnost omezené možnosti řízení otáček.





Audio 9.7 Točivé magnetické pole



Spojitě je můžeme řídit změnou frekvence, což umožňuje až současná polovodičová technika. Po skocích je možno otáčky řídit přepínáním vinutí, tj. počtu pólových párů pro jednu fázi vinutí. Takové víceotáčkové motory mohou mít dvojí a maximálně technicky realizovatelné trojí otáčky. Těchto motorů se používá např. v automatických pračkách (praní/odstřed'ování), ve výtazích - rozjezd-jízda-dojezd apod.

9.6.3 Třífázové motory

9.6.3.1 Úvod

Skládáním tří střídavých magnetických polí vytvářených cívkami mechanicky posunutých o 120° a napájených jednotlivými fázemi třífázového systému – tedy sinusovkami fázově posunutých o 120° vzniká obdobným způsobem, jak bylo uvedeno v odst. 1.6.2. (Točivé magnetické pole ve statoru). Pro otáčky tohoto pole platí rovněž vztah (5).

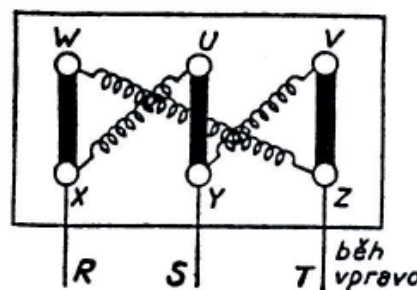
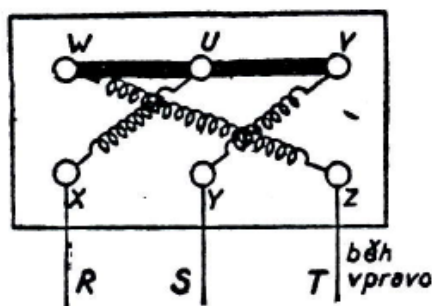
9.6.3.2 Zapojení statoru

Statorové vinutí může být zapojeno do hvězdy Y nebo do trojúhelníka D.

Je-li motor navinut při zapojení vinutí do trojúhelníka na napětí x , pak při přepojení vinutí do hvězdy je ho pro dosažení stejného výkonu na hřídeli třeba napájet napětím $x\sqrt{3}$, tedy např. 230 V zapojení D, 400 V v zapojení Y, nebo dvojice napětí 400 a 690 V. Způsob zapojení vinutí se volí zkratovacími spojkami na svorkovnici motoru (viz obr. 12).

9.6.3.3 Reverzace třífázových motorů

Provádí se změnou směru točení točivého magnetického pole. Toho se dosáhne vzájemným přehozením dvou libovolných fázových přívodů k motoru (obr. 13).



Zapojení vinutí třífázového motoru na svorkovnici
zapojení do hvězdy **Y**

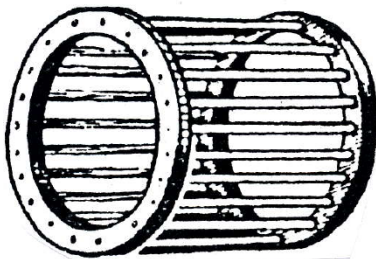
zapojení do trojúhelníka **D**



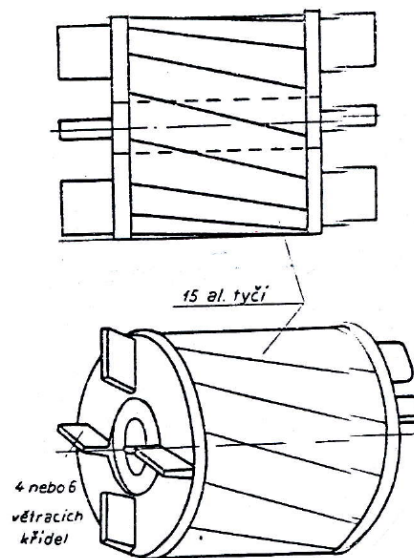


reverzace třífázového motoru

Obr. 13. Zapojení vinutí třífázového motoru [1]



původní provedení klece



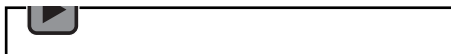
kotva provedená tlakovým litím do rotorového svazku
Obr. 13. Kotva nakrátko

9.6.4 Motory třífázové asynchronní

Otáčky těchto motorů nejsou synchronní – souběžné s otáčkami točivého magnetického pole statoru.



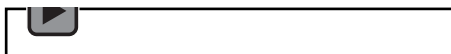
Audio 9.8 Motory třífázové asynchronní



Nevýhodou (v některých případech naopak výhodou) jsou prakticky konstantní otáčky nižší o tzv. **skluz** než jsou synchronní otáčky statorového pole. Skluz je nutný k tomu, aby docházelo k relativnímu posunu vodičů kotvy vůči magnetickému poli statoru – tedy k protínání siločar statorového pole vodiči rotoru - a tím k indukci proudu do rotorových vodičů.



Audio 9.8 Motory třífázové asynchronní



Při nárůstu zatížení skluz roste.

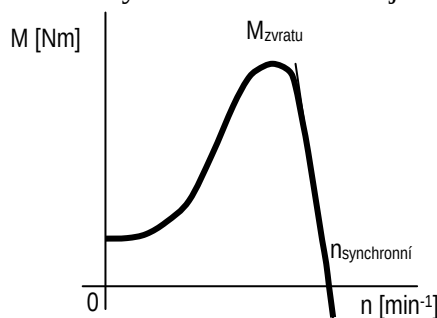


9.6.4.1 Motory s kotvou nakrátko

Rotor je tvořen magnetickým obvodem z dynamových plechů, v jejíž drážkách je uložena tzv. kotva nakrátko tvořená z vodivých tyčí spojených čelními vodivými kruhy (obr. 13). Je to konstrukčně i výrobně nejjednodušší motor.

Momentové vlastnosti:

Typická momentová charakteristika asynchronního motoru je na obr. 14.



Obr. 14. Momentová charakteristika asynchronního motoru s kotvou nakrátko

Motor má poměrně malý záběrový moment, tedy při spouštění nemůže být příliš zatěžován. Normálně pracuje až na téměř svislé části momentové charakteristiky za tzv. momentem zvratu.

Spouštění:

Přímým připojením na síť, kdy ale vzniká proudový náraz omezený jen odporem vinutí a obvykle dosahuje desetinásobku jmenovitého proudu. Podle toho musí být dimensováno jištění motoru – nesmí odpojit motor od sítě při krátkodobé proudové špičce způsobené rozběhem motoru.

Další možností používanou pro větší motory a těžší rozběh je spouštění přepínačem hvězda - trojúhelník (Y/D). Motor musí být navinut tak, aby byl pro síťové napětí zapojen do trojúhelníka. Zvláštním přepínačem se v jeho prvé poloze přepojí vinutí motoru do hvězdy (na vyšší jmenovité napětí než je napětí síťové) a motor připojí na síť. Motor se rozbíhá, ale vzhledem k relativně sníženému napájecímu napětí (vinutí je přepojeno na vyšší jmenovité napětí než je v síti) pracuje jen s třetinovým výkonem. Po rozběhu se přepínač přepne do další polohy, ve které se vinutí statoru přepojí do trojúhelníka – tedy na jmenovité napětí v síti – a motor pracuje s plným výkonem. Pokud k tomuto přepnutí po rozběhu nedojde, motor je přetěžován. Teče jím velký proud a může dojít ke zničení vinutí.

Regulace otáček:

V normálním zapojení není možná, motor si udržuje téměř konstantní otáčky blízké synchronním. Např. pro čtyřpólový stroj jsou obvyklé otáčky 1400 min^{-1} . Obecně jsou otáčky měnitelné pouze po skocích přepínáním počtu pólů statorového vinutí.

Brzdění:

a) motor je připojen na síť

Je možno brzdít změnou směru točení – **reversací**. Nevýhodou je poměrně malý brzdný moment a značný proudový náraz do vinutí. V tomto případě je nutno hlídat okamžik zastavení motoru, aby se neroztočil na opačnou stranu. K tomuto účelu se používá tzv. elektrodynamický hlídač brzdění (Alnico) – viz kap. 1.3.2.

Nadsynchronní brzdění - jestliže motor připojený na síť je poháněným strojem roztočen nad synchronní otáčky (např. při spouštění břemene jeřábem apod.), motor se začne chovat jako střídavý generátor a začne dodávat zpět do sítě energii, což se projeví brzdným momentem na hřídeli motoru (obr. 15), moment má záporné znaménko.

b) motor je odpojen od sítě

Brzdění stejnosměrným proudem - stator odpojíme od sítě a na některou z cívek připojíme menší stejnosměrné napětí - stačí i jednocestně usměrněný střídavý proud. Tím se indukuje v



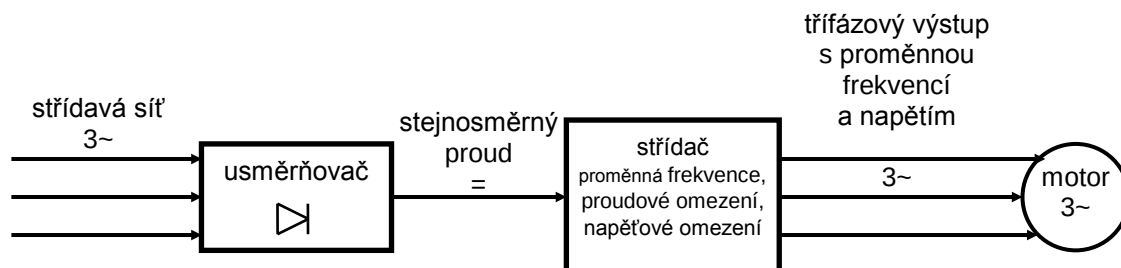
rotoru proud a vzniká brzdňý moment. Můžezde ale dojít k tepelnému přetížení rotoru, protože celá energie brzdění se promění v teplo v rotoru.

Použití:

Nejrozšířenější střídavý motor pro nejrůznější účely, kde stačí poměrně konstantní otáčky a malý záběrový moment. Ve spojení s výkonovou elektronikou nejmodernější regulační pohon.

9.6.4.2 Frekvenční řízení otáček asynchronních motorů

Rozvojem výkonové elektroniky byly vyvinuty výkonové měniče frekvence. Blokové schéma takového měniče je na obr. 15.

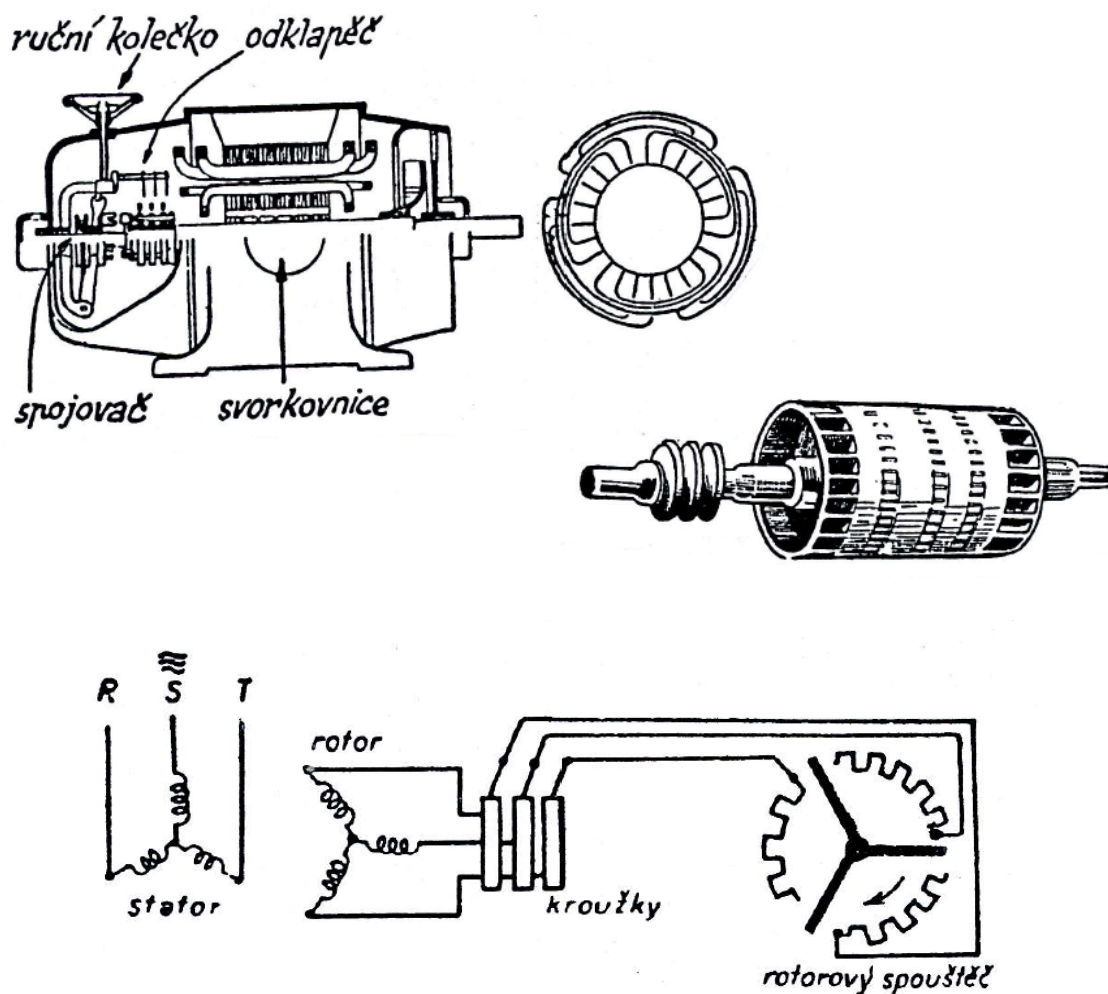


Obr. 15. Schéma frekvenčního měniče

Jak plyne ze vztahu (5) pro otáčky magnetického pole statoru motoru, je možná změna otáček změnou frekvence. Výsledkem rozvoje moderní výkonové elektroniky jsou měniče, které střídavý proud nejprve usměrní a z něho pak opět vytvoří jedno- nebo třífázový proud s proměnnou frekvencí a napětím, přitom současně řídí proud do motoru (obr. 15). Kombinace těchto měničů, vyráběných ve výkonových mezích cca 200 W až po výkony desítek MW s asynchronními motory s kotvou nakrátko se stala nejmodernější pohonnou jednotkou i pro tak náročné aplikace jako jsou výtahy, těžní stroje, válcovací stolice atd. a prakticky vytlačily užití stejnosměrných strojů. Kombinuje se zde nejjednodušší motor s velmi komplikovanou výkonovou elektronikou.

9.6.4.3 Motor s kotvou kroužkovou

Nevýhodné záběrové vlastnosti motoru s kotvou nakrátko lze obejít volbou motoru s kotvou kroužkovou. Kotva motoru (obr. 16) má obvykle třífázové vinutí zapojené do hvězdy, které je vyvedeno na tři vzájemně izolované kroužky, kterými jsou rotorové proudy přes kartáče převáděny do tzv. rotorového spouštěče, což je vlastně proměnný odpor. U některých motorů je tzv. odklápeč kartáčů, kterým se nejprve zkratují kroužky a pak se odklopí kartáče, aby se zbytečně neopotřebovávaly.



Obr. 16. Motor s kotvou kroužkovou

Momentové vlastnosti:

Podle velikosti odporu v rotoru se mění momentová charakteristika, jak je uvedeno na obr. 17.

Zařazením velkého odporu do rotoru lze tedy dosáhnout většího záběrového momentu pro těžký rozběh i částečné regulace otáček.

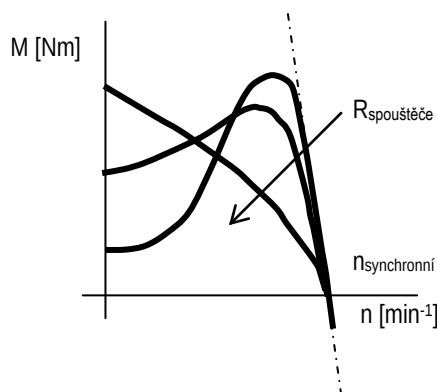
Spouštění:

Zařadí se maximální odpor rotoru a spustí se kartáče. Motor se připojí na síť, kde díky většímu odporu rotoru nedochází k tak velkému proudovému nárazu jako u motoru s kotvou nakrátko, přitom má i značný záběrový moment. Při narůstajících otáčkách se postupně vyřazuje rotorový odpor až k nule, tedy dále se motor chová jako motor s kotvou nakrátko. Je-li motor vybaven odklápěčem kartáčů, tyto se po dokončení rozběhu odklopí. Před novým rozběhem je nutno opět kartáče přiklopit a spouštěč uvést do výchozí polohy, což často bývá zabezpečeno logickým obvodem v ovládání hlavního stykače motoru.

Regulace otáček:

Z momentové charakteristiky na obr. 17 plyne, že je v jistých rozmezích možná změnou odporu spouštěče. Rozsah regulace je poměrně malý, ale technicky může vyhovět i pro dosti náročné pohony montážních jeřábů. Je možné i frekvenční řízení, ale pak je tento motor proti motoru s kotvou nakrátko zbytečně složitý.

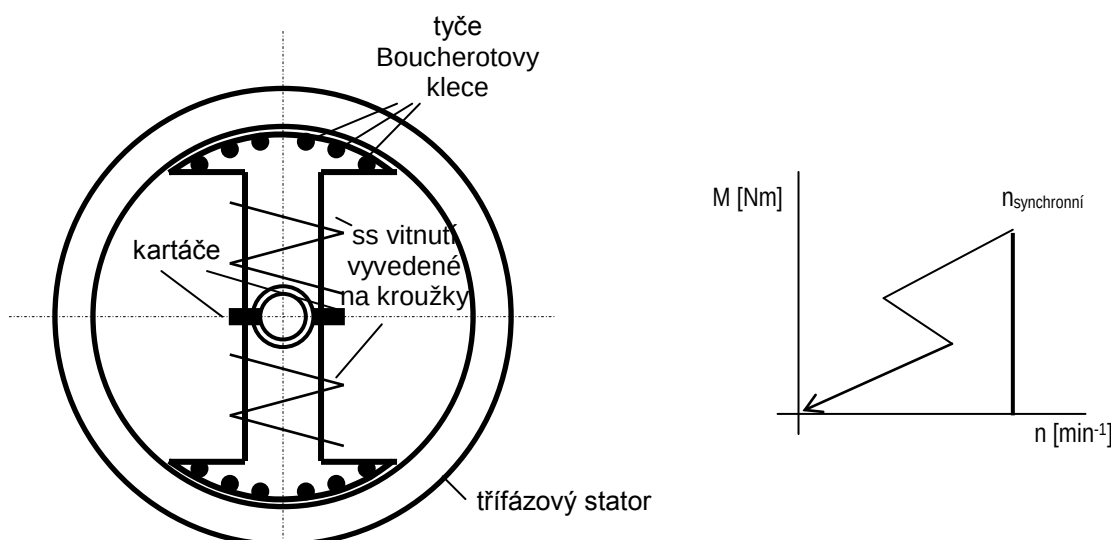




Obr. 17. Momentová charakteristika kroužkového motoru

Použití:

Motorů s kroužkovou kotvou se užívá zejména pro pohony s těžkým rozběhem, např. kolotoče, pohony mechanických lisů s velkými setrvačníky apod. a dále tam, kde je nutná jistá regulace otáček, např. na jeřábech.



Obr. 18. Synchronní motor a jeho momentová charakteristika

9.6.5 Motory synchronní

Otáčky rotoru tohoto motoru jsou rovny synchronním otáčkám magnetického pole podle vztahu (5). Stator tohoto motoru je v podstatě shodný se statorem asynchronního motoru, rotor je tvořen stejnosměrným magnetem (permanentním nebo napájeným stejnosměrným proudem přes kroužky), často s vystouplými pólovými nástavci a jádrem z masivní oceli (obr. 18). Shodně jsou konstruovány i generátory střídavého proudu - alternátory.

Momentové vlastnosti:

Motor vykazuje pohonný moment pouze tehdy, jestliže je rotor v synchronních otáčkách se statorovým polem podle vztahu (5). Při přetížení motor „vypadne ze synchronismu“ a zastaví se.

Spouštění:

Motor sám nerozběhne a musí být rozbíhán buď pomocným motorem, nebo je rotor vybaven klecí nakrátko, tzv. Boucherotovou klecí, kdy se rozběhne jako motor nakrátko a po rozběhu se zapne stejnosměrné buzení rotoru a motor "vběhne" do synchronismu.

Regulace otáček:

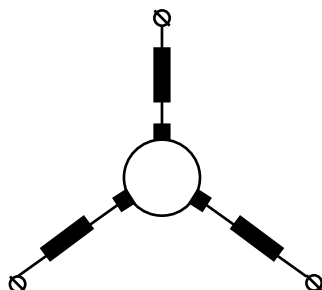
Tyto motory mají pouze jedny konstantní otáčky. Změna otáček je možná pouze změnou frekvence napájecí sítě, ale pro tyto účely je výhodnější použít jednoduchého motoru s kotvou nakrátko a elektronickým měničem.



Použití:

Výhodou těchto motorů je to, že vhodnou velikostí buzení motoru lze dosáhnout různého elektrického chování motoru - motor se vůči síti může chovat jako spojení odporu s kapacitou nebo odporu s indukčností. Těto vlastnosti se používá ke kompenzaci účinníku sítě v závodě a dříve byly tyto motory instalovány pouze do této funkce, aniž cokoli poháněly, jako tzv. synchronní kompenzátory.

Motory se používají zejména pro velké stále běžící pohony, jako jsou např. ventilátory, kompresory apod., anebo jako pohonné motory motorgenerátorů v soustrojích (viz kap. 1.5.10).



Obr. 19. Komutátorový sériový motor

9.6.6 Zvláštní konstrukce třífázových motorů

Obtížná změna otáček střídavých motorů vedla k vývoji regulačních střídavých motorů. Jsou poměrně složité a jejich význam poklesl po osvojení polovodičových měničů frekvence, proto je zde uvedeme pouze pro malou informaci.

9.6.6.1 Komutátorové motory

Obdobné konstrukce jako stejnosměrné sériové motory, ale stator je rovněž tvořen z dynamových plechů. Používaly se nejčastěji pro trakční účely a jsou napájeny proudem o snížené frekvenci $50 : 3 = 16 \frac{2}{3}$ Hz. Viz obr. 8.19.

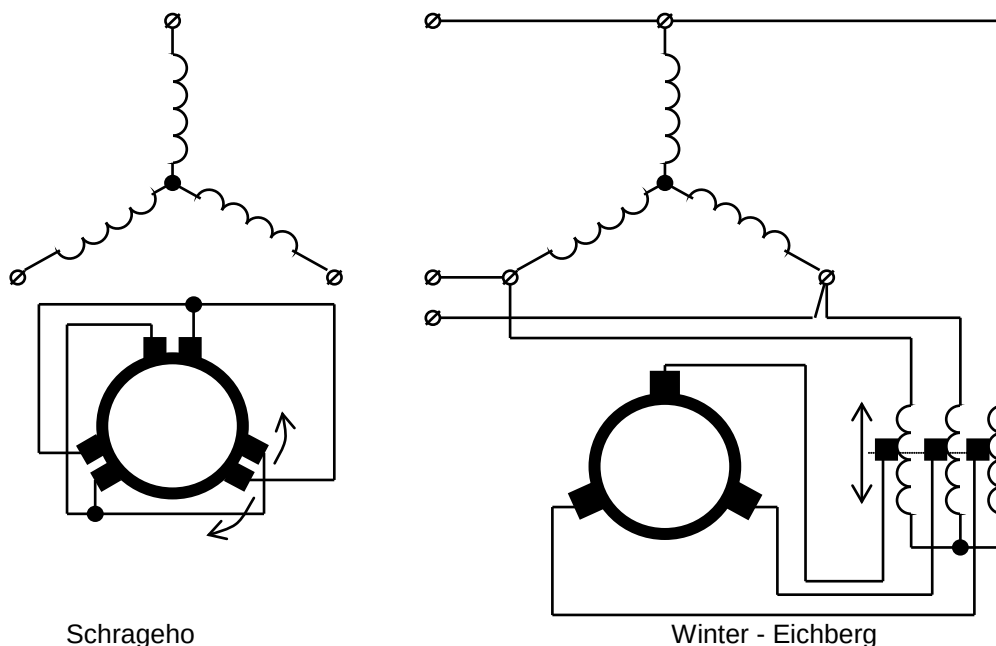
9.6.6.2 Motor Schrage(ho)

Regulační motor s klasickým statorem a rotorem s komutátorem. Změny otáček se dosahuje protiběžným natáčením jedné sady kartáčů na komutátoru vůči druhé. Koncem 60. let 20. století značně rozšířený pohon hlavně pro obráběcí stroje (obr. 20).

9.6.6.3 Motor Winter - Eichberg

Mnohem méně rozšířený regulační motor s klasickým statorem a vinutým rotorem vyvedeným na komutátor. Změny otáček se dosahuje pomocí speciálního regulačního transformátoru zapojeného do obvodu rotoru (obr. 20).



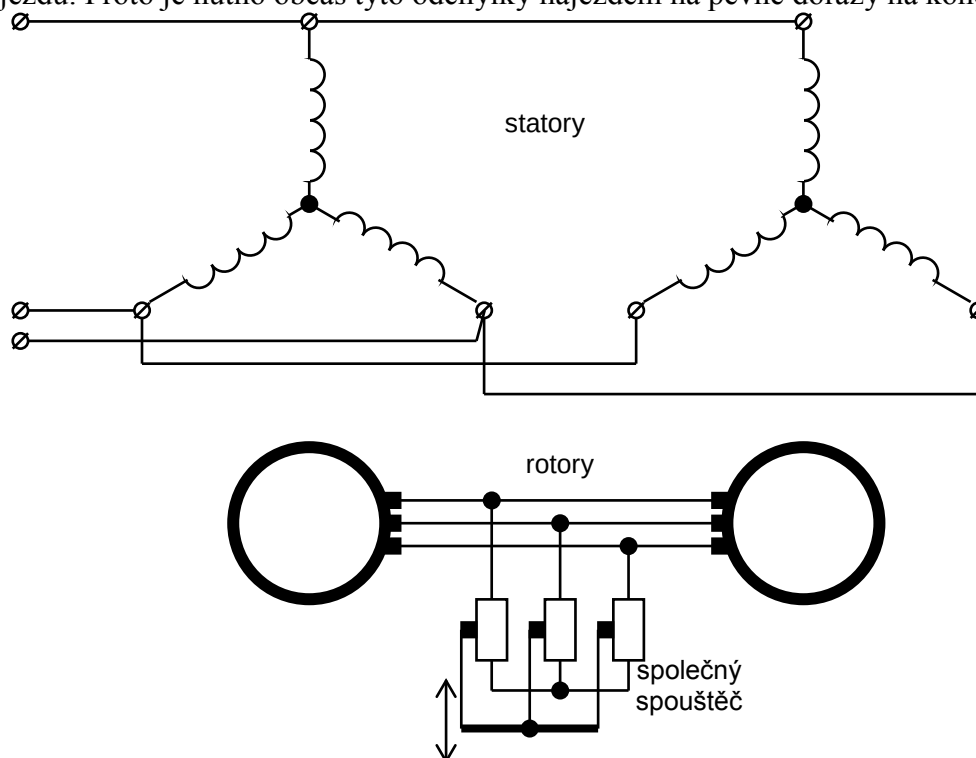


Obr. 20. Střídavé komutátorové motory

9.6.7 Elektrická hřídel

Třífázové asynchronní motory s kroužkovou kotvou lze využít k synchronnímu ovládání dvou vzdálených pohonů bez mechanické vazby – např. dvou vzdálených podvozků jeřábu. Statory i rotory obou motorů jsou zapojeny paralelně (obr. 21) a jsou spouštěny společným spouštěčem. Pokud se rotory neotáčejí synchronně vůči magnetickým polím statorů, vzniknou v nich diferenční proudy, které způsobí vzájemné dorovnání rotorů. Princip činnosti je velmi podobný činnosti přenosu úhlové výchylky pomocí selsynů.

I když elektrická hřídel zajišťuje synchronní přenos otáček rotoru, může při mírně odlišném průměru např. pojezdových kol jeřábu, dojít ke vzpříčení mostu tím, že se odlišuje ujetá dráha obou pojezdů. Proto je nutno občas tyto odchylky nájezdem na pevné dorazy na konci dráhy.



Obr. 21. Elektrická hřídel



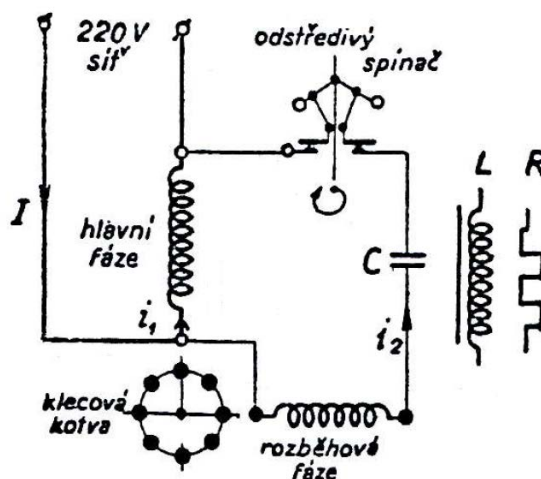
9.6.8 Jednofázové střídavé motory

9.6.8.1 Motory s kotvou nakrátko

Pracuje na stejném principu jako obdobný motor třífázový. Základním problémem je získání točivého nebo alespoň eliptického magnetického pole statoru při napájení motoru jednou fází střídavého proudu.

9.6.8.1.1 Motor s pomocnou fází

Rotační pole se získává zvláštním vinutím, tzv. pomocnou fází. Je to samostatné vinutí geometricky pootočené proti hlavnímu vinutí o 90° , napájené proudem s uměle posunutou fází o 90° proti průběhu proudu v hlavním vinutí (obr. 22).



Obr. 22. Motor s pomocnou fází [1]

Fázového posunu v pomocné fázi se dosahuje:

- odporem - vinutí je z odporového drátu, např. mosazného,
- indukčností - v sérii s vinutím je zapojena indukčnost,
- kapacitou - v sérii s vinutím je zapojen kondenzátor.

Protože při rozumné velikosti těchto prvků nelze dosáhnout přesného fázového posunu o 90° , není výsledné točivé magnetické pole statoru kruhové, ale eliptické, což ale pro rozběh motoru zcela vyhovuje. Praxe ukazuje, že je-li motor rozběhnut, stačí pro jeho udržování v chodu napájet pouze hlavní fází a napájení pomocné fáze lze odpojit.

Proto zpravidla nebývá vinutí pomocné fáze dimenzováno na stálý provoz a musí tedy být zajištěno jeho odepnutí po rozběhu motoru. Nejčastěji se k tomuto účelu používá odstředivý spínač zabudovaný v motoru, nebo vhodně konstrukčně řešený hlavní vypínač motoru. Pokud není vinutí pomocné fáze včas odpojeno, např. při poruše spínače, motor silně "bručí", zahřívá se a může dojít k zničení vinutí pomocné fáze nebo ke zničení např. rozběhového kondenzátoru.

Momentové vlastnosti:

Průběh momentové charakteristiky jednofázového asynchronního motoru s kotvou nakrátko odpovídá zhruba charakteristice obdobného motoru třífázového, pouze má nižší záběrový moment a zpravidla o málo nižší skluz.

Spouštění:

Přímým připojením na síť, kdy ale vzniká proudový náraz omezený jen odporem vinutí a obvykle dosahuje desetinásobku jmenovitého proudu. Podle toho musí být dimenzováno jištění motoru.

Při rozběhu musí být zapojeno vinutí pomocné fáze. Jestliže po spuštění otáčky náhodným přetížením při vypnutí pomocné fáze poklesnou pod moment zvratu, může se motor zastavit a



sám se nerozeběhne, pokud není znovu připojeno vinutí pomocné fáze. Motor stojí, silně bručí a protéká jím velký proud, který může poškodit statorové vinutí.

Reversace:

Změna směru otáček se zajišťuje změnou polaritu napájení jednoho z vinutí.

Regulace otáček:

V normálním zapojení není možná, motor si udržuje téměř konstantní otáčky blízké synchronním. Např. pro čtyřpólový stroj jsou obvyklé otáčky 1420 min^{-1} , které jsou obvykle poněkud vyšší než u stejně výkonného stroje třífázového. Pro malé výkony se používá frekvenční řízení jednofázových motorů obdobným způsobem, jako u pohonů třífázových.

Brzdění:

a) motor je připojen na síť

Brzdění reversací není zpravidla možné, protože roztočený motor nemá připojenou pomocnou fázi, takže jeho magnetické pole není točivé, ale střídavé.

Nadsynchronní brzdění - shodně jako u třífázových motorů - jestliže jsou poháněným strojem motoru vnuceny otáčky větší než synchronní, motor se chová jako střídavý generátor a brzdí.

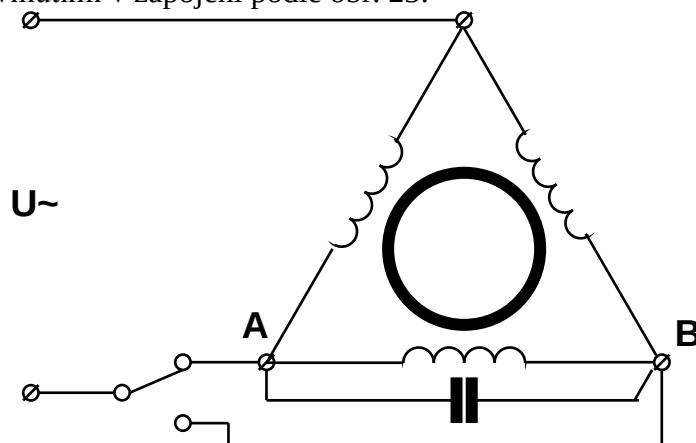
b) motor je odpojen od sítě

Brzdění stejnosměrným proudem - je možné stejným způsobem jako u třífázových motorů.

Použití:

Jednoduchý robustní motor pro nenáročné pohony menšího výkonu cca do 1,5 kW, zejména pro domácí spotřebiče, čerpadla apod. Méně náročné pohony kde stačí poměrně konstantní otáčky a malý záběrový moment.

Elektrické jednofázové servopohony s konstantními otáčkami a v poslední době prakticky všechny moderní jednofázové motory používají stator se stále připojeným kondensátorem a třemi statorovými vinutími v zapojení podle obr. 23:



Obr. 23. Zapojení jednofázového servomotoru

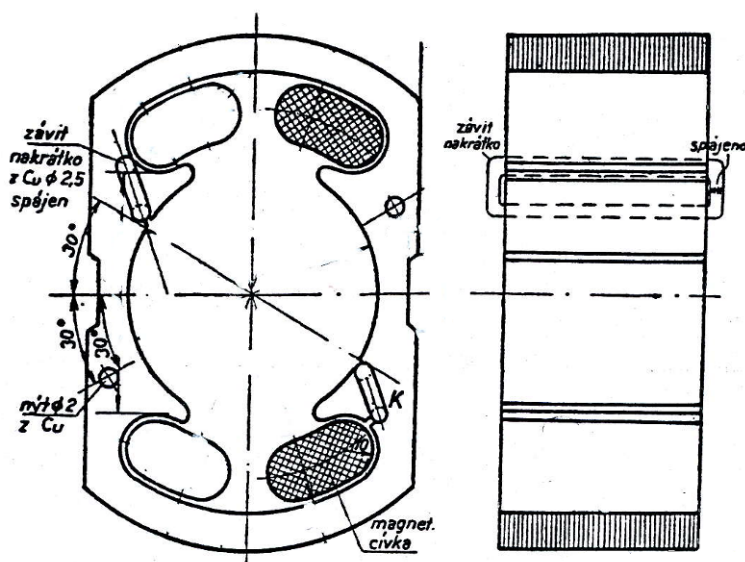
Změna směru otáčení se dosahuje napájením motoru do bodu A nebo B statorového vinutí. Tato konstrukce se v poslední době rozšiřuje i na motory pro všeobecné použití. Výhodou je, že odpadá rozběhový spínač pomocné fáze a stále připojený kondensátor má podstatně menší kapacitu, než jako musel mít kondenzátor klasického motoru s pomocnou fází.

9.6.8.1.2 Motorek se stíněným pólem

Kotva nakrátko, statorové vinutí má zpravidla dva nebo čtyři vyniklé póly, jejichž část je obepnuta měděným závitem nakrátko (obr. 24).

Magnetické pole hlavních cívek indukuje v závitě nakrátko proud fázově zpožděný přibližně o 90° . Důsledkem tohoto proudu je vlastní magnetické pole se shodným zpožděním. Skládáním hlavního magnetického pole a pole vzniklého proudem závitů nakrátko vznikne značně deformované točivé pole.





Obr. 24: Motorek se stíněným pólem

Momentové vlastnosti:

Podobné jako motor s pomocnou fází, ještě nižší záběrový moment.

Spouštění:

Přímým připojením na síť jednoduchým spínačem.

Reversace:

Není možná, směr točení je dán polohou závitů nakrátko na pólových nástavcích.

Regulace otáček:

Prakticky není možná, motor si udržuje téměř konstantní otáčky blízké synchronním.

Brzdění:

Funguje nadsynchronní brzdění, ale vzhledem k jednoduchosti takových pohonů není tento aspekt důležitý.

Použití:

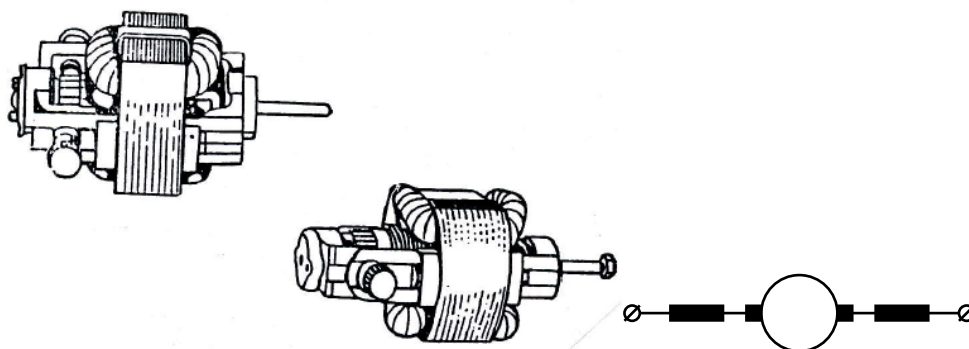
Velice jednoduchý motorek pro nejmenší výkony do desítek W. Použití pro kuchyňské spotřebiče, fěny, gramofony apod. s kratší dobou chodu, protože díky ztracenému výkonu v závitů nakrátko se tento motorek dosti značně zahřívá.

9.6.8.2 Komutátorové jednofázové motory**9.6.8.2.1 Universální komutátorový motor**

Je to v podstatě sériový stejnosměrný motor s tím rozdílem, že jeho stator není z plné masivní oceli, ale je vytvořen z dynamových plechů. Může být provozován jak na střídavý, tak i na stejnosměrný proud. Je-li konstruován pro použití na oba druhy proudu, mívá zpravidla přepínatelné statorové vinutí - při stejnosměrném napájení je zapojeno více závitů.

Kotva je vinutá, s komutátorem, jádro kotvy stejně jako u stejnosměrných motorů vytvořeno z dynamových plechů (obr. 25).





Obr. 25. Universálního motor a jeho zapojení

Momentové vlastnosti:

Jsou podobné, jako u sériového stejnosměrného motoru. Při střídavém napájení je moment i dosažitelný výkon motoru menší než při napájení stejnosměrném.

Spouštění:

Přímým připojením na síť jednoduchým spínačem.

Reversace:

Prostým přepólováním kotvy vůči statoru. Pokud není motor konstruován pro oba směry točení - zpravidla se jedná pouze o způsob uchycení kartáčků - nedoporučuje se ho používat pro oba směry točení, protože by mohlo dojít ke zničení komutátoru zvýšeným jiskřením.

Regulace otáček:

Je možná v širokých mezích od nuly až u speciálních konstrukcí např. do 30 000 min⁻¹ změnou napájecího napětí motoru. V současné době se používá často tyristorových nebo triakových regulátorů přímo zabudovaných do poháněného přístroje. Otáčky vlastního motoru silně kolísají se zatěžovacím momentem jako u sériového motoru, tedy pro stabilizaci je nutno užít zpětnovazební regulační obvod.

Brzdění:

Zpravidla se nepoužívá. Je možné brzdění reversací s nebezpečím poškození komutátoru, příp. i brzdění do odporu s využitím remanentního magnetismu motoru, kdy motor pracuje jako dynamo.

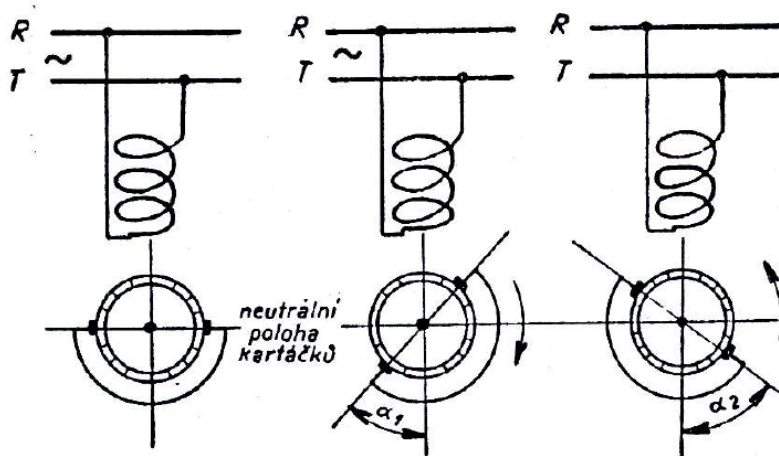
Použití:

Nejrozšířenější motor pro pohon elektrického ručního nářadí, domácích spotřebičů apod. s výkony několik W (např. holicí strojky) až do výkonu cca 1,5 kW.

9.6.8.2.2 Repulsní motor

Málo používaný regulační motor s napájeným státorem, rotor je vinutý s komutátorem a dvojicí nakrátko spojených natáčivých kartáčů. Směr a rychlost otáčení se řídí natáčením kartáčů kolem osy motoru (obr. 26).





Obr. 26. Repulsní motor a řízení jeho točení [1]

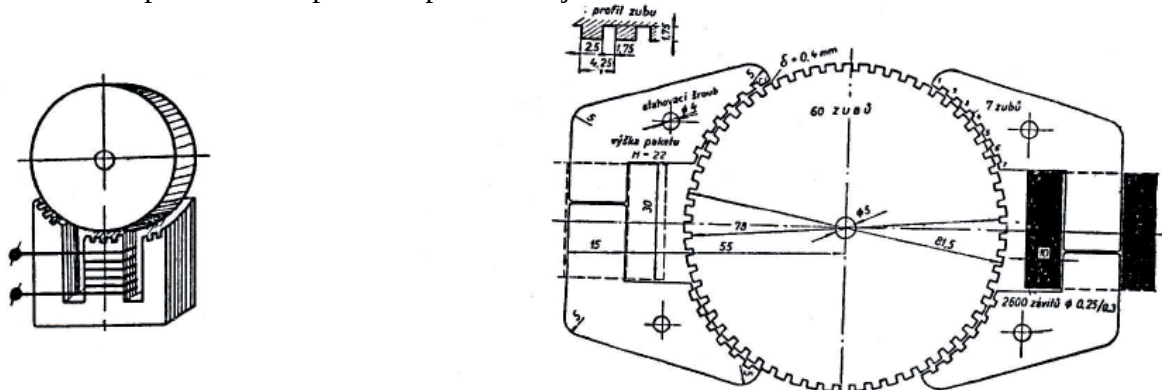
9.6.8.3 Jednofázové synchronní motory

Existuje řada konstrukcí synchronních jednofázových motorů, jejichž otáčky jsou synchronní s točivým, nebo spíše kmitavým polem vytvářeným statorem motoru. Uvedeme zde jednu z užívaných konstrukcí.

9.6.8.3.1 Motor reakční (se zubovým rotorem)

Stator je opatřen jednofázovým vinutím a jeho pólové nástavce mají vyniklé zuby. Rotor motoru je bez vinutí, zpravidla z masivní oceli a má tvar ozubeného kola (obr. 27).

Střídavé magnetické pole vyvolané průběhem střídavého proudu dvakrát během periody proudu dosáhne svého maxima a pak poklesne k nule. Motor se sám neroztočí. Je-li roztočen na vhodné otáčky, narůstající magnetické pole statoru přitáhne zuby rotoru. Pak magnetické pole klesá k nule a rotor setrvačností pokračuje v rotaci. Při novém nárůstu statorového pole je přitážen další zub rotoru, tím je rotoru udělena energie a děj se opakuje. Při každém nárůstu statorového pole se rotor posune zpravidla o jeden zub.



Obr. 27. Motor se zubovým rotorem [1]

Otáčky tohoto motoru jsou úměrné frekvenci sítě a jsou dány počtem zubů rotoru. Tyto motory mají poměrně velký moment, otáčky nízké – běžně např. 100 min^{-1} - dosahované bez další převodovky. Vyrábějí se v mnoha konstrukčních variantách pro malé výkony jednotek W.

Jiné konstrukce jednofázových synchronních motorků užívají např. rotor tvořený permanentním magnetem nebo vycházejí z konstrukce krokových motorů (kap. 1.7).

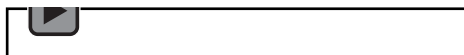


9.6.9 Motory dvoufázové

Jsou nejpoužívanějšími motory pro střídavé servopohony s proměnnými otáčkami. Mají dvě magneticky vzájemně kolmá vinutí, rotor nakrátko buď se železem, nebo jako lehký bubínkový hliníkový rotor v úzké mezeře mezi pólovými nástavci z dynamových plechů - pro přístrojové použití. Tento motor je rovněž znám pod názvem Ferrarisův indukční motor.

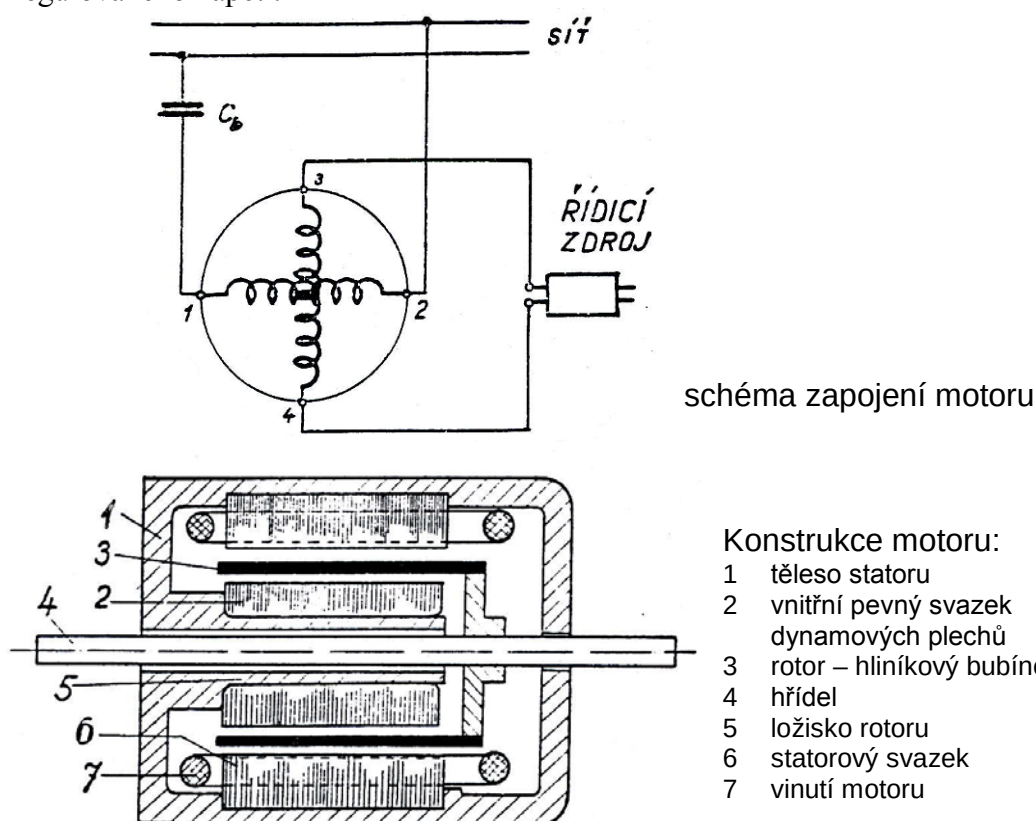


Audio 9. Motory dvoufázové



Zapojení a konstrukce motoru je na obr. 28.

Do jednoho vinutí je motor napájen konstantním střídavým napětím, napětí v druhém vinutí je fázově posunuté o 90° proti napětí v budicím vinutí, ale mění svou velikost. Otáčky motoru jsou úměrné velikosti tohoto napětí, směr otáčení závisí na vzájemné fázi budicího a regulovaného napětí.



Obr. 28. Dvoufázový motor [1]

Kromě plynulé změny otáček je výhodou tohoto motoru, že ho lze použít i v obrácené funkci tachogenerátoru. Jestliže budíme jedno vinutí konstantním střídavým napětím, pak při otáčení tohoto motoru se ve druhém vinutí indukuje napětí, jehož velikost je úměrná otáčkám a fáze se vůči budicímu napětí mění podle směru otáčení mezi hodnotami $+90^\circ$ a -90° .

9.7 KROKOVÉ MOTORY

Moderním pohonným prvkem zejména polohových servomechanismů je krokový motor. Jeho funkci si popíšeme na příkladu trojfázového motoru. Základní velmi zjednodušené uspořádání je schématicky uvedeno na obr. 29.

Stator motoru v uvedeném příkladě má tři pólové páry fázových vinutí – označeno L_1 , L_2 , L_3 , rotor je tvořen permanentním magnetem. Otáčení motoru je řízeno přepínáním proudu v jednotlivých statorových vinutích (obr. 29).



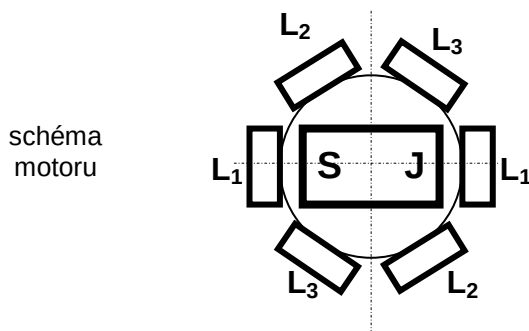
Vyjdeme ze stavu, kdy protéká proud fází L_1 , proudy ve fázích L_2 a L_3 jsou nulové. Průtokem proudu se vytvoří magnetické pole, rotor se přitáhne - natočí do polohy, kdy severní pól rotoru je u jižního pólu magnetu vytvořeného statorovým vinutím. Vypnutím fáze L_1 a zapnutím fáze L_2 se statorové pole potočí o 60° , rotor tuto změnu sleduje, potočí se rovněž o tento úhel – vykoná jeden krok. Poté následuje vypnutí proudu do fáze L_2 a zapnutí fáze L_3 , což má za následek otočení rotoru o další krok velikosti 60° . V dalším kroku řízení se vypne fáze L_3 a zapne se proud do fáze L_1 ale v opačném směru, čímž se provede další krok motoru. Pokračováním děje, jak je naznačeno na obr. 29, se postupně rotor otočí o celou otáčku. Změnou pořadí spínání proudu do jednotlivých fází lze dosáhnout otáčení motoru v opačném směru.

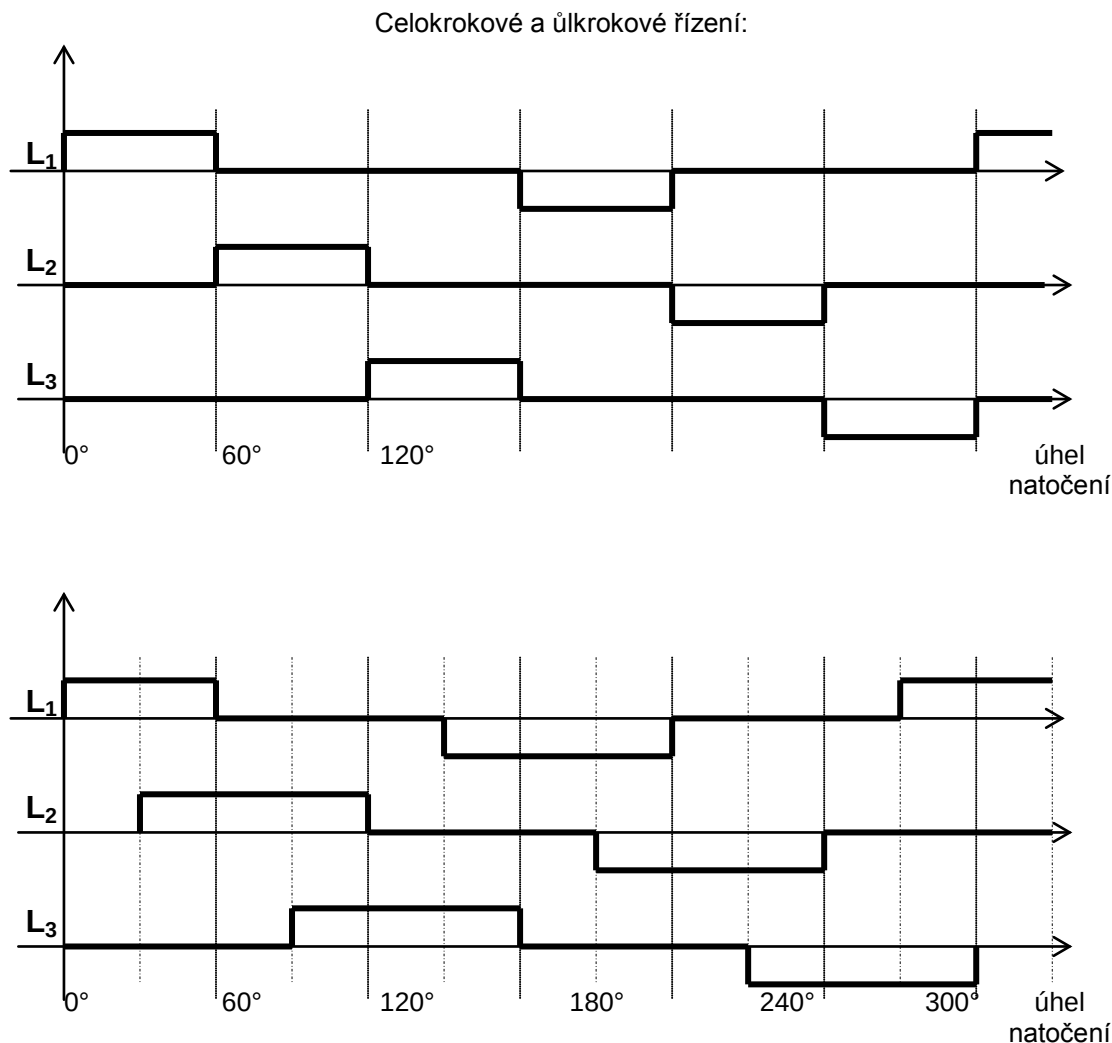
Krokový motor se natáčí vždy o definovaný úhel – krok - a v dosažené poloze může setrvávat po libovolnou dobu, je v této poloze samosvorný. Nevýhodou ale je, že i v klidu odebírá proud.

Popsaný způsob řízení bylo tzv. celokrokové řízení. Snížení úhlu natočení v jednom kroku lze dosáhnout tzv. půlkrokovým řízením. Časový průběh proudů v jednotlivých fázích je na obr. 8.28. Vyjdeme opět ze základní polohy, kdy proud protéká fází L_1 , proudy ve fázích L_2 a L_3 jsou nulové. V dalším kroku řízení se zapne proud do fáze L_2 , přitom proud do fáze L_1 protéká stále. Tím se výsledné pole statoru otočí pouze o 30° , takže i rotor se natočí pouze o 30° . Dále se vypne proud do fáze L_1 a tím se statorové pole natočí o dalších 30° a je sledováno rotorem. Další postup spínání je zřejmý z obr. 29. Při tomto způsobu řízení rotor dělá pouze poloviční kroky, takže celá otáčka je rozdělena na dvojnásobný počet kroků.

Skutečné motory mají na otáčku i více než 100 kroků, tedy řízení je dostatečně jemné, přitom v zásadě není potřeba zpětné polohové vazby, protože motor se natočí o definovaný úhel daný počtem kroků. Obvyklé konstrukce motoru jsou dvou- nebo čtyřfázové. Výhodné vlastnosti motoru jsou dosažitelné ovšem pouze za cenu složitých řídicích obvodů. V současné době jsou k dispozici speciální integrované obvody, které zajišťují sekvenci spínání proudu do jednotlivých vinutí podle počtu kroků zadaných jako vstupní parametr obvodu. Stejně tak jsou v počítačových řídicích systémech k dispozici karty pro řízení krokových motorů.

Problémem je, když je nutno motor z klidu rozběhnout na vysoké otáčky. Pak může dojít k tomu, že díky velkému momentu setrvačnosti poháněného zařízení se celé zařízení nestihne sledovat změny statorového pole a dojde k tzv. ztrátě kroku, tedy i ke ztrátě orientace systému, pokud není zajištěna další polohová informace. Stejně tak může dojít ke ztrátě informace, jestliže servomechanismus např. narazí na nějakou překážku, která nedovolí jeho další pohyb. Tento jev lze např. pozorovat u pohonu tiskacích hlav jehličkových tiskáren, jestliže dojde omezení jejího pohybu např. zmačkaným špatně podaným papírem. Pak jsou další řádky tisknuty od jiného výchozího bodu než na začátku tisku. Ke ztrátě informace dojde rovněž při vypnutí motoru. Proto je nutno vždy definovat určitou výchozí polohu, ve které dojde k obnovení informace o poloze a tím servomechanismus získá novou správnou orientaci.





Obr. 29. Schéma krokového motoru a jeho řízení

Vlastnosti krokového motoru jsou určeny zejména počtem kroků na otáčku a jeho momentem, případně momentem setrvačnosti rotoru. Výkon je pouze odvozenou veličinou danou součinem momentu a úhlové rychlosti. Jsou k dispozici motory ve výkonové řadě od jednotek W do cca 1,5 kW. Při aplikaci je nutno si uvědomit, že tento motor odebírá jmenovitý proud i v klidu, čímž je zajištěna samosvornost pohonu v poslední dosažené poloze.

9.8 ELEKTRICKÉ SERVOPOHONY

Stejně jako pneumatické servopohony mohou být elektrické servopohony konstruovány s přímočarým pohybem, pákové nebo s otočnou maticí.

Pro pohony s konstantními otáčkami se užívají buď třífázové, nebo jednofázové motory. Ovládání se děje pomocí spínacích prvků, nejčastěji stykačů nebo výkonových relé.

Pohony s proměnnými otáčkami používají nejčastěji dvoufázových motorů, někdy motorů stejnosměrných s cizím buzením. V této oblasti se začínají prosazovat i motory s diskovým rotorem, případně s elektronickou náhradou komutátoru, kdy místo komutátoru s kartáči je užito spínacích transistorů řízených polohovým čidlem.

Výzbroj elektrických servopohonů zpravidla a často volitelně obsahuje:

- diferenciální převod k ručnímu ovládání - servopohon je vybaven klikou s možností ručního uzavření regulačního orgánu,
- nastavitelné koncové spínače polohové, kterými se vymezují krajní nebo jinak určené polohy servopohonu,



- nastavitelné spínače momentové, které vypínají servopohon po dosažení určitého nastavitelného momentu - např. potřebného k řádnému uzavření ventilu,
- vysílač polohy servopohonu - koncový stupeň regulátoru je obvykle řešen jako autonomní regulační polohová smyčka, ve které tento vysílač slouží jako zpětná vazba od polohy a dále jako zdroj signálu pro ukazovací přístroj polohy servopohonu.

Doba přeběhu běžných elektrických servopohonů určených pro ovládání regulačních klapek apod. nebývá zpravidla nižší než 15 s /90°. Jestliže potřebujeme rychlejší pohyb, konstruují se i tzv. dvoumotorové servopohony (servopohony s rychlouzavíracím motorem), kde prostřednictvím diferenciálního převodu působí na výstupní hřídel jak vlastní malovýkonný regulační motor, tak i rychlouzavírací výkonný motor, často třífázový.

9.9 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Základní vztahy, názvosloví a vlastnosti elektromotorů.
- Chování a specifika stejnosměrných motorů.
- Stejnosměrné motory s cizím buzením.
- Stejnosměrné motory s vlastním buzením.
- Střídavé motory a jejich specifika.
- Asynchronní střídavé motory.
- Synchronní střídavé motory.
- Krokové motory jako součást moderních polohových servomechanismů.
- Elektrické servopohony.



10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ROCHOVANSKÝ, O., HAJDAJ, N. Elektromotórky a dynama. 2. vyd. Praha: Práce, 1958.
- [2] BALÁTĚ, J.: Technické prostředky automatického řízení/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [3] KOBĚRSKÝ, J. Technické prostředky řídicích systémů. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [4] ROUBAL, J.: Regulační technika v příkladech. Moderní postupy pro běžnou praxi. BEN - technická literatura 2011. ISBN / EAN 978-80-7300-260-2 / 9788073002602.
- [5] SUCHÁNEK, v. Silnoproudá elektrotechnika v automatizaci. 3. vyd. Praha: SNTL, 1982.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Regulační orgány

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

10	REGULAČNÍ ORGÁNY	3
10.1	Regulační orgány	4
10.2	Regulační ventily	4
10.3	Regulační klapky	7
10.4	Výpočet a návrh regulačních orgánů	7
10.5	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	8
11	POUŽITÁ LITERATURA.....	9



10 REGULAČNÍ ORGÁNY



OBSAH KAPITOLY:

Rozdělení regulačních orgánů.

Regulační ventily.

Regulační klapky.

Princip výpočtu a návrhu regulačních orgánů.



MOTIVACE:

Konečnou součástí regulátoru je samotný prvek uskutečňující regulaci a tím je regulační orgán. Regulační orgány zpravidla řídí průtok nějaké látky. Jejich provedení, vlastnosti a chování může být velmi odlišné. V této přednášce proto uvedeme několik příkladů chování některých typů ventilů, či klapek a na příkladu uvedeme možný postup při návrhu regulačního orgánu v praxi.



CÍL:

Cílem kapitoly je ukázat příklady chování různých typů regulačních orgánů a jejich vliv na chování celkové regulační trasy v automatizovaných systémech řízení.

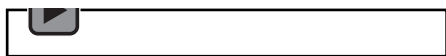


10.1 REGULAČNÍ ORGÁNY

Akční členy jsou konečným prvkem regulátoru. Obsahují pohon a vlastní regulační orgán. Regulační orgány zpravidla řídí průtok nějaké látky.



Audio 10.1 Regulační orgány



Dělíme [1] je na:

- a) speciální,
- b) pro všeobecné použití.

Mezi speciální patří takové, které jsou specializovanou součástí technologického zařízení, např. rozváděcí kolo vodní turbíny, různá další zařízení pro nepřímé řízení průtoku např. řízení dopravovaného množství změnou otáček motoru dopravníku apod.

Základní regulační orgány pro řízení průtoku obecných tekutin jsou:

- regulační ventily - určené pro plyny a kapaliny,
- regulační klapky - zpravidla používané jen pro plyny.



Audio 10.2 Regulační orgány



Změny průtoku se dosáhne změnou průtočného průřezu regulačního orgánu posunem regulační kuželky nebo změnou natočení klapky v potrubí.

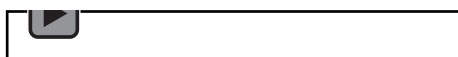
10.2 REGULAČNÍ VENTILY

Konstrukčně dělíme tuto skupinu uzavíracích orgánů na tyto základní typy:

- **ventily** – změna průtočného průřezu se provádí zpravidla lineárním pohybem kuželky, která v uzavřeném stavu dosedá do sedla, při průtoku ventilem zpravidla dochází ke změně směru proudění tekutiny, tedy rovněž ke zvětšeným tlakovým ztrátám, je to nejužívanější konstrukce regulačních ventilů,



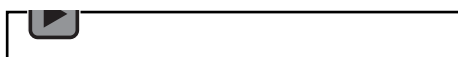
Audio 10.3 Ventily



- **šoupátka** – změna průtočného průřezu se děje zasouváním desky – srdce šoupátka kolmo ke směru proudu tekutiny, má menší tlakové ztráty, protože tekutina nemění směr proudění, v regulační technice se používá zejména pro regulaci velkých průtoků ve spojení se servomotory s otočnou maticí,



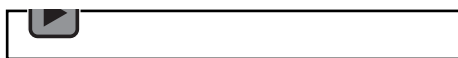
Audio 10.4 Šoupátka



- **kohouty** – ke změně průtočného průřezu dochází natočením vnitřní části tak, aby se měnilo překrytí otvorů v tělese kohoutu a jeho otočné části, přitom od úplného otevření po úplné uzavření je nutno otočnou část natočit o maximálně 90°; základní konstrukční tvary otočné části jsou kužel a koule, pak mluvíme o kohoutech a kulových kohoutech, mohou být těsné, ale pro regulační účely se obvykle neužívají.



Audio 10.5 Kohouty



Pro průtok tekutiny zúženým průřezem, tedy např. regulačním ventilem platí:



$$Q = \alpha_v \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1 - p_2}{\rho_1}} \quad (1)$$

$$M = \alpha_v \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1 - p_2}{v_1}} \quad (2)$$

Kde Q je objemové průtočné množství [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

M hmotnostní průtočné množství [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],

α_v průtokový součinitel ventilu [-],

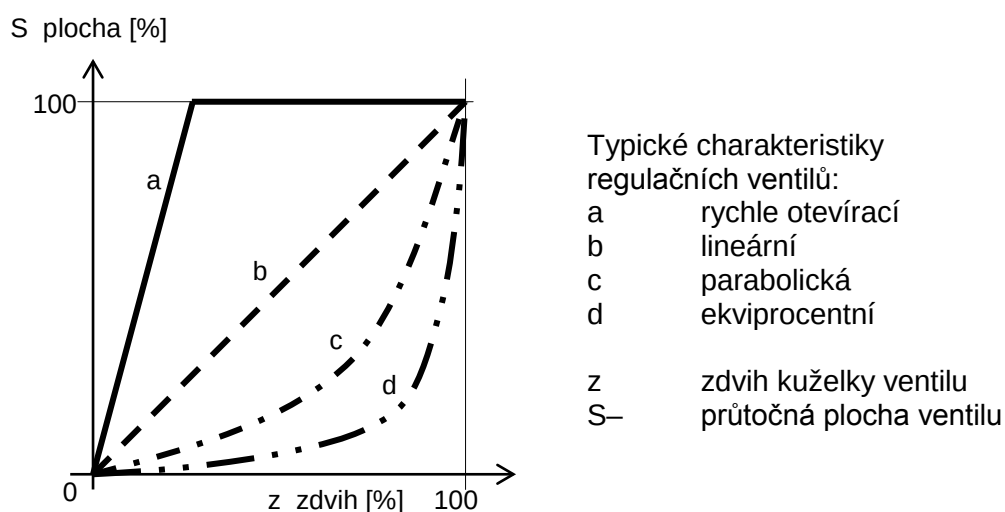
S průtočná plocha volná [m^2],

$p = p_1 - p_2$ tlakový rozdíl na regulačním ventilu [Pa],

ρ_1 měrná hmotnost média před ventilem [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

v_1 měrný objem protékajícího média před ventilem [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$].

U regulačního ventilu se průtočná plocha S mění v závislosti na zdvihu kuželky. Pro různé účely použití jsou konstruovány ventily s různě definovanou závislostí průtočné plochy ventilu na zdvihu jeho kuželky. Charakteristiky základních typů ventilů jsou uvedeny na obr. 1.



Obr. 1. Charakteristiky základních typů regulačních ventilů

Základní charakteristické funkce uvedených typů regulačních ventilů jsou:

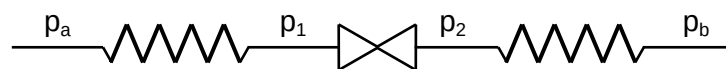
- **lineární** – průtočná plocha ventilu je úměrná jeho zdvihu $S = k \cdot z$,
- **parabolická** – průtočná plocha ventilu je úměrná kvadrátu hodnoty zdvihu $S = k \cdot z^2$,
- **ekviprocentní** – poměrná změna průtočné plochy je úměrná změně zdvihu kuželky $\Delta S/S = k \cdot \Delta z$. Ventil s ekviprocentní charakteristikou používáme u soustav, které mají při nízkých výkonech velké zesílení, které s rostoucím výkonem klesá. Volbou ventilu s touto charakteristikou lze do jisté míry linearizovat nelineární chování takové soustavy.

Regulační ventil se musí uplatňovat v celém rozsahu zdvihu jako nejvýznamnější odpor potrubní trasy. Při určování jeho dalších parametrů musíme vycházet z vlastností celé potrubní trasy. Jde o určení největšího požadovaného průtoku $Q_{\max}$ při zvolené tlakové ztrátě na ventilu p a průtočném průřezu $S_{\max}$.

Zpravidla se uvádí, že pro správnou funkci regulačního ventilu a tím i celého regulačního obvodu je nutné, aby tzv. "tlakový parametr", tedy poměr tlakového rozdílu na ventilu při maximálním průtoku a tlakového rozdílu na celé soustavě při nulovém průtoku $p \geq 0,6$ - viz obr. 2 a vztah (3).

$$p = \frac{p_1 - p_2(Q = Q_{\max})}{p_a - p_b(Q = 0)} \geq 0,6 \quad (3)$$





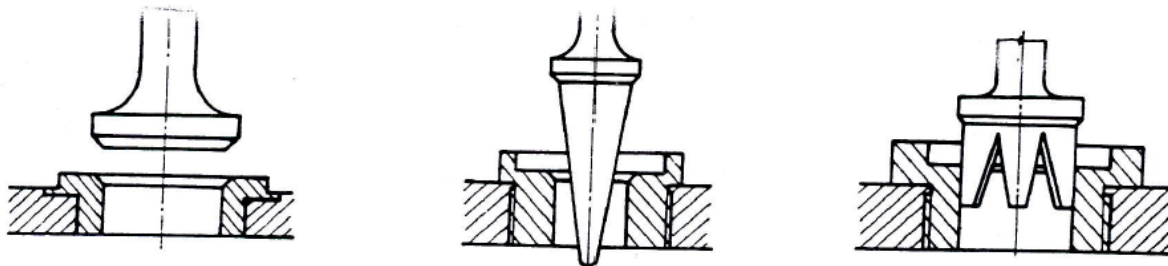
Obr. 2. Tlakové poměry na potrubní trase s regulačním ventilem

Pokud nebude tento požadavek splněn, lze očekávat horší vlastnosti regulačního členu a tím i celého regulačního systému.

Další požadavek je, aby tlaková ztráta na ventilu při maximálním průtoku

$$Q_{\max} \geq 0,01 \text{ MPa} \quad (4)$$

Žádaného průběhu charakteristiky ventilu se dosahuje vhodnou volbou tvaru kuželky. Základní tvary jsou na obr. 3.



rychle otvírací ventil

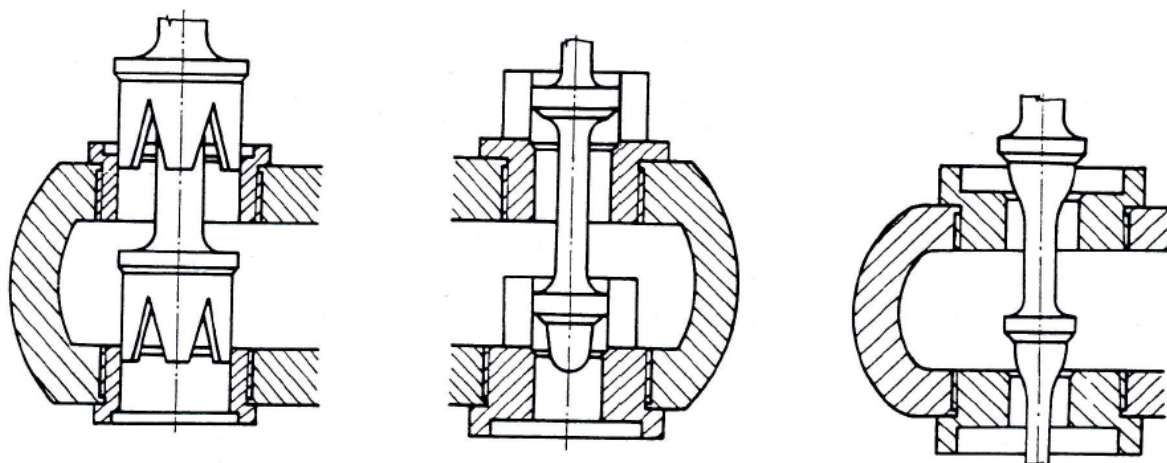
jednosedlový ventil
s lineární charakteristikoujednosedlový ventil
s válcovou kuželkou

Obr. 3. Základní tvary kuželek ventilů [1]

Při velkých jednostranných tlacích, které působí zejména před úplným uzavřením na kuželku ventilu, může ventil velkými silami ovlivňovat chování servomotoru a tím i kvalitu regulace. Proto se v těchto případech používá dvojsedlových ventilů (obr. 4).

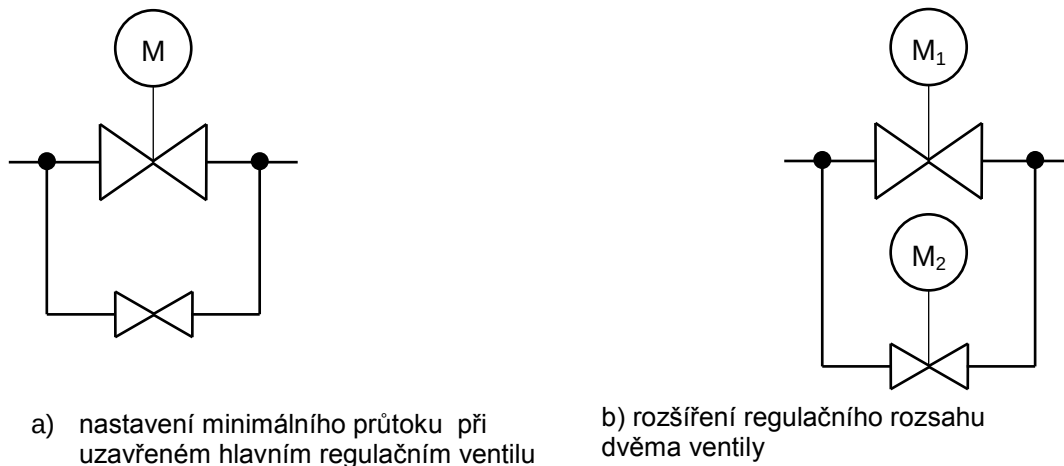
Regulační ventily nelze považovat za uzavírací, běžná netěsnost v uzavřeném stavu je okolo 5 %.

Pokud je nutno zajistit při zavřeném regulačním ventilu definovaný průtok řízeného média, přemosťuje se regulační ventil obtokem s ručně nastavitelným ventilem menšího průřezu, pomocí kterého se tento definovaný průtok nastavuje (obr. 5a). Obdobného zapojení se užívá i pro zajištění regulace v širokých mezích, kdy jsou zapojeny paralelně dva regulační ventily různých průřezů ovládané buď vlastními servomotory, nebo je jejich pohon spřažen (obr. 5b).

dvojsedlový ventil
s válcovou kuželkoudvojsedlový ventil
s parabolickou charakteristikoudvojsedlový ventil
s ekviprocentní charakteristikou

Obr. 4. Příklady dvojsedlových ventilů [1]





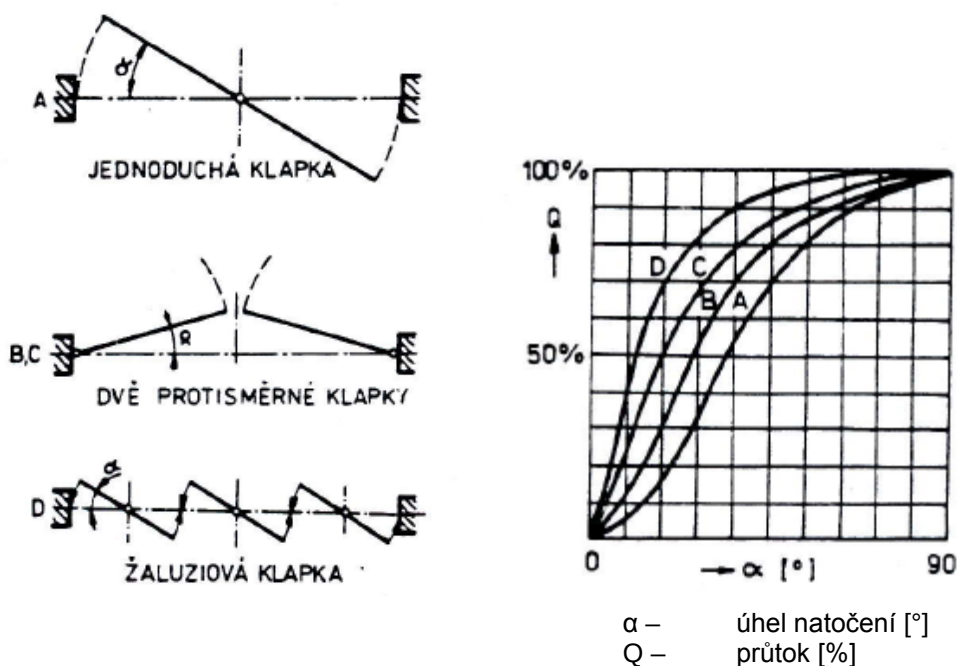
Obr. 5. Obtoky regulačních ventilů

10.3 REGULAČNÍ KLAPKY

Klapky se nejčastěji používají k regulaci průtoku plynů (obr. 6). Konstruují se jako jednoduché i pro kruhová potrubí, pro potrubí obdélného průřezu pak též vícelistové či žaluziové.

Nevýhodou klapky je, že závislost průtoku na úhlu otevření není příliš výhodná, u žaluziových je ještě horší než u klapky jednoduchých.

K pohonu regulačních klapky se obvykle používá pákových servopohonů.



Obr. 6. Regulační klapky a jejich průtokové charakteristiky [1]

10.4 VÝPOČET A NÁVRH REGULAČNÍCH ORGÁNŮ

Jak vyplynulo z úvodního odstavce, je nutno pro dosažení správných regulačních vlastností regulačního orgánu brát vždy v úvahu vlastnosti celé potrubní trasy, ve které je regulační orgán umístěn. Tedy např. u plynových pecí od hlavního rozvodného potrubí plynu přes bezpečnostní uzávěry, měření průtoku např. clonou až k přírubě hořáku, nebo u klapky pro řízení tlaku v peci od prostoru pece celý odtahový trakt přes rekuperátor až ke komínu.



Protože se na těchto trasách velice často setkáváme s nedostatečným tlakovým spádem, musí být tyto trasy navrženy velmi pečlivě, což je zpravidla řešeno v rámci strojního návrhu agregátu. Kvalifikované konstrukční kanceláře proto provádějí podrobnou bilanci tlakových ztrát na jednotlivých rovných úsecích potrubí, ohybech, povinných částech jako jsou bezpečnostní rychlouzavírací ventily, trvalých tlakových ztrát na měřicích orgánech (clonách, dýzách atd.) a na základě těchto podrobných bilancí dimenzují průřezy těchto tras a jejich prvků tak, aby se navržený regulační orgán uplatňoval na trase jako nejvýznamnější odpor a tím bylo dosaženo jeho požadovaného regulačního rozsahu, který je základem správné funkce celého strojního zařízení a jeho automatizačního vybavení.

Regulační technik v této oblasti úzce spolupracuje se strojní konstrukcí, nicméně při správné dělbě práce má zde spíše poradní a kontrolní funkci.

10.5 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Druhy regulačních orgánů.
- Regulační ventily.
- Regulační klapky.



11 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: Technické prostředky automatického řízení/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] HOFMANN, D. Priemyselná meracia technika. Bratislava: Alfa, 1988, 568 s. ISBN 80-05-00139-8.
- [3] KOBĚRSKÝ, J. Technické prostředky řídicích systémů. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.
- [4] NUTIL, J., ČECH, V.: Měření v hutním průmyslu. SNTL. Praha 1982.
- [5] ROUBAL, J.: Regulační technika v příkladech. Moderní postupy pro běžnou praxi. BEN - technická literatura 2011. ISBN / EAN 978-80-7300-260-2 / 9788073002602.
- [6] ZEHNULA, K.: Převodníky fyzikálních veličin. Skriptum FE VUT Brno, 1990.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ

Dozorný

Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana GARZINOVÁ, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3181-7



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

11	DOZORNY	3
11.1	Historický vývoj	4
11.2	Uspořádání a požadavky na dozorny	4
11.3	Stavební řešení	5
11.4	Kabelové trasy, kabelové rozvody, jejich technické zajištění	5
11.4.1	Kabelové kanály	5
11.4.2	Kabelové lávky	7
11.4.3	Kabelová koryta	7
11.4.4	Kabelové trasy v zemi	7
11.5	Sdružování kabeláže, ranžirovací rozvaděče	8
11.6	Sběrnicové regulační systémy	8
11.7	Kabelážní systémy pro budovy	9
11.8	Přednáškový text se vztahuje k těmto otázkám	9
12	POUŽITÁ LITERATURA.....	10



11 DOZORNY



OBSAH KAPITOLY:

Historický vývoj.
Uspořádání a požadavky na dozornu.
Stavební řešení.
Kabelové rozvody.



MOTIVACE:

V současném světě informací a požadavků na kontinuální sledování řady technologických i provozních veličin je kladen důraz na snadný a rychlý přístup k ovládání i monitorování provozu. Díky převodu měřených veličin na pneumatické nebo elektrické signály bylo možno zřídit centrální pracoviště obsluhy – dozornu. Vývoj těchto centrálních stanovišť obsluhy podléhá koncepčním řešením výrobních podniků a také základním poznatkům z ergonomie. Základní pravidla o uspořádání a technické nároky na dozorny budou zakončovat soubor přednášek o technických prostředcích řídicích systémů.



CÍL:

Cílem kapitoly je vysvětlit podmínky a pravidla pro realizaci dozorny v technologické výrobě.



11.1 HISTORICKÝ VÝVOJ

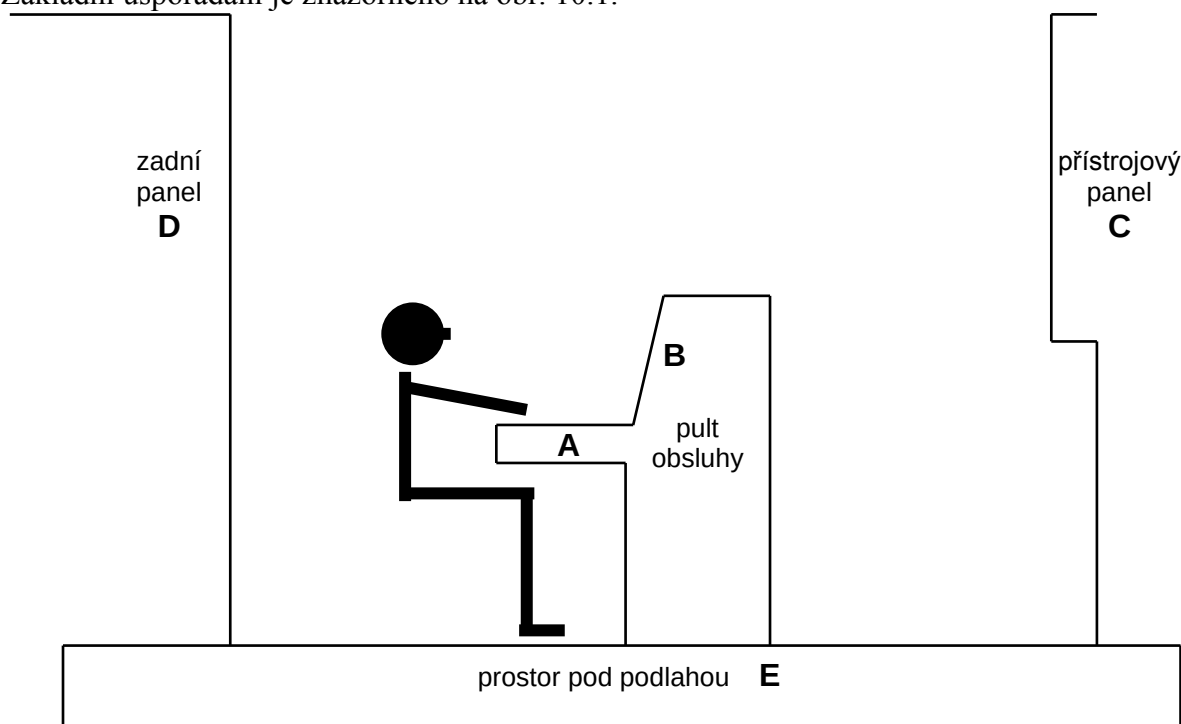
Vzhledem k nutnosti co nejvíce omezit signálové trasy - odběrná potrubí z měřicích míst, byly u starších agregátů ukazovací přístroje, zejména ukazatele průtoku a tlaku, v těsné blízkosti měřicích míst na agregátu. Ovládání regulačních orgánů, ventilů bylo rovněž ruční, takže obsluha musela při řízení agregát obcházet a nastavovat ručně příslušné hodnoty, ale zpravidla přímo viděla od ovládacího prvku na ukazovací přístroj.

Převodem měřených veličin na pneumatické nebo elektrické signály bylo možno zříditi centrální pracoviště obsluhy - dozornu. Nejprve to byly centralizované měřicí a ovládací panely v blízkosti jednotlivých agregátů s přímým výhledem na obsluhovaný agregát. Teprve v 60. letech 20. století se spolu s prakticky výhradním užitím elektrických signálů začínají prosazovat ve větší míře velíny - dozorny centralizující řízení většího počtu agregátů a požadavek přímého výhledu obsluhy na agregát přestává být prioritní.

11.2 USPOŘÁDÁNÍ A POŽADAVKY NA DOZORNÝ

Komplexní řízení složitých agregátů vyžaduje mít současný přehled o velkém počtu veličin a bez centralizované dozorny je prakticky nerealizovatelné.

Základní uspořádání je znázorněno na obr. 10.1.



Obr. 1. Základní uspořádání dozorny

Pult obsluhy A:

Plocha před stanovištěm obsluhy má být rovná a slouží k provádění administrativní činnosti obsluhy, lze zde umístit např. klávesnice počítače apod., v zadní části pultu, která se může šikmo zvedat, lze umístit indikační a ovládací prvky největší důležitosti.

Zpravidla na samostatné ploše po boku obsluhy bývá komunikační zařízení, telefony, přepínače telefonních linek, ovládání dalších komunikačních pojítek.

Pult obsluhy - svislá část B:

Zde jsou umístěny ukazatele nejdůležitějších měřených a regulovaných veličin a ruční ovladače. Při užití počítačů se zde umísťují obrazovky monitorů nejdůležitějších veličin.

Přístrojový panel C:



Slouží k umístění indikátorů méně důležitých veličin, příp. k umístění zřídka ovládaných ovládacích prvků. Bývají zde zpravidla umístěny zapisovače měřených veličin, výstup poruchové signalizace (kontrolní svítilny), kontrolní svítilny a panely, obrazovky méně důležitých veličin.

Zadní panel D:

Slouží k umístění přístrojů, které nemusí obsluha mít v zorném poli. Z technologických ukazatelů jsou zde např. zapisovače veličin, jejichž zápis je nutný nebo podle norem povinný, přitom jsou obvykle tyto veličiny ukazovány jiným přístrojem v zorném poli obsluhy.

Dále jsou zde většinou umístěny ovládací a indikační prvky od technických zařízení velínu, jako je osvětlení, klimatizace, záložní napájecí zdroje, zabezpečovací signalizace z technologie, požární signalizace atd.

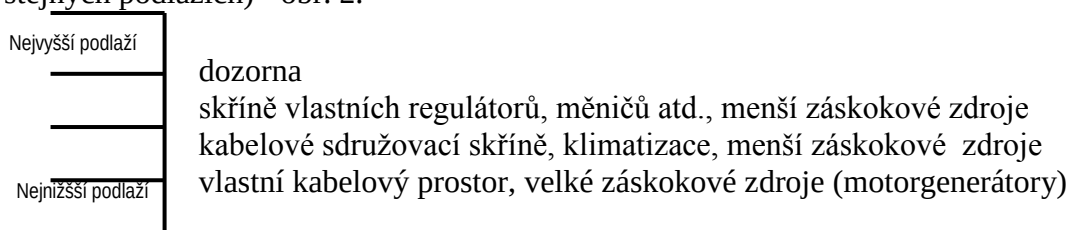
Prostor pod podlahou E:

Podlaha velínu je zpravidla řešena jako zvýšená a prostor pod podlahou je využit k uložení spojovací kabeláže, rozvodu chladicího či klimatizačního vzduchu atd. Podlaha bývá zpravidla řešena jako rozebiratelná.

11.3 STAVEBNÍ ŘEŠENÍ

Vlastní dozorna je jen konečným místem styku obsluhy s technologií. Na její řešení musí navazovat i ostatní technologické prostory a trasy jako jsou kabelové rozvody a příslušné skříně. Výklad bude zaměřen na velkou dozornu.

Vlastní dozorna bývá zpravidla v některém z vyšších pater objektu. Ostatní pomocná zařízení bývají zpravidla v nižších podlažích, zhruba shora v tomto pořadí (samozřejmě mohou být i na stejných podlažích) - obr. 2.



Obr. 2. Obvyklé umístění zařízení v jednotlivých podlažích objektu dozorny

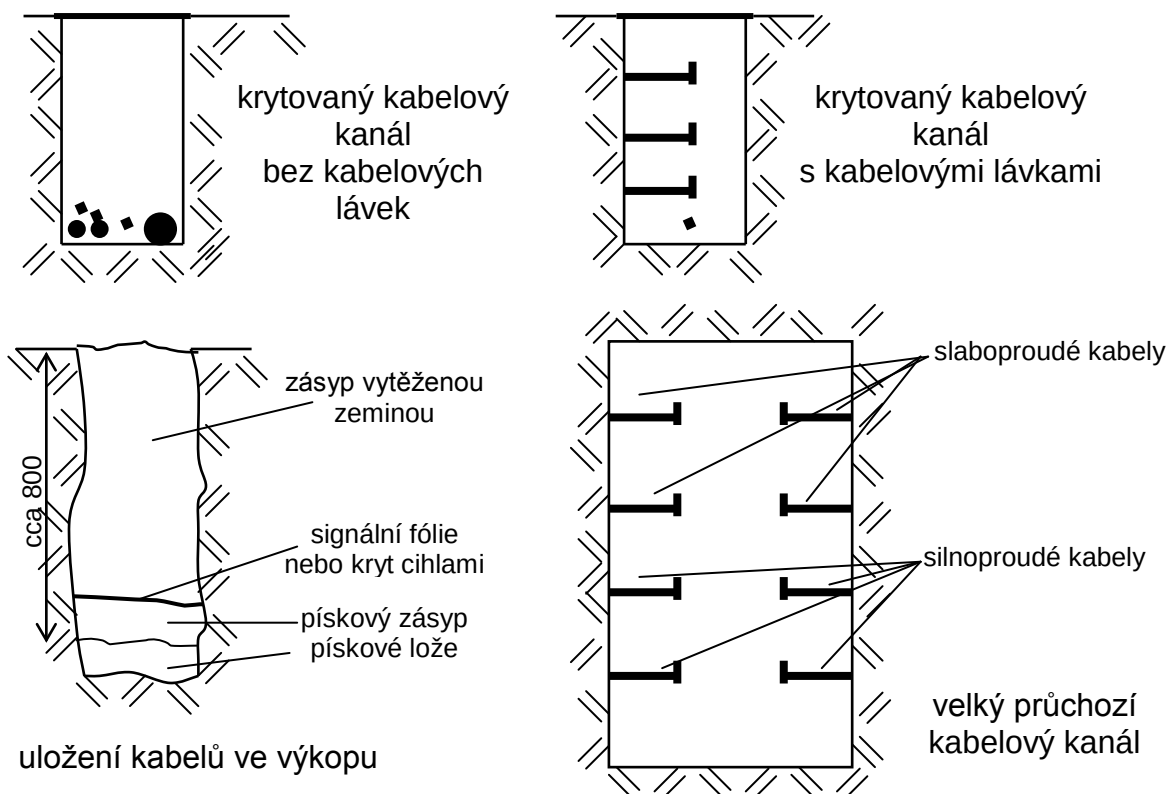
11.4 KABELOVÉ TRASY, KABELOVÉ ROZVODY, JEJICH TECHNICKÉ ZAJIŠTĚNÍ

Již při projekci vlastního technologického zřízení je nutno prosadit dostatečně dimenzované kabelové trasy.

11.4.1 Kabelové kanály

Kabelové kanály jsou vytvářeny zejména v pozemních a podzemních částech technologického zařízení. Kabely se u menších kanálů kladou na jejich dno, kanály větších průřezů jsou zpravidla vybavovány kabelovými lávkami pro položení kabelu. Kanály bývají konstruovány buď jako průchozí s občasnými vstupy, nebo neprůchozí, zpravidla po celé délce krytované odstranitelnými plechovými či betonovými kryty. Příklady konstrukce a vybavení kabelových kanálů jsou shrnuty na obr. 3.

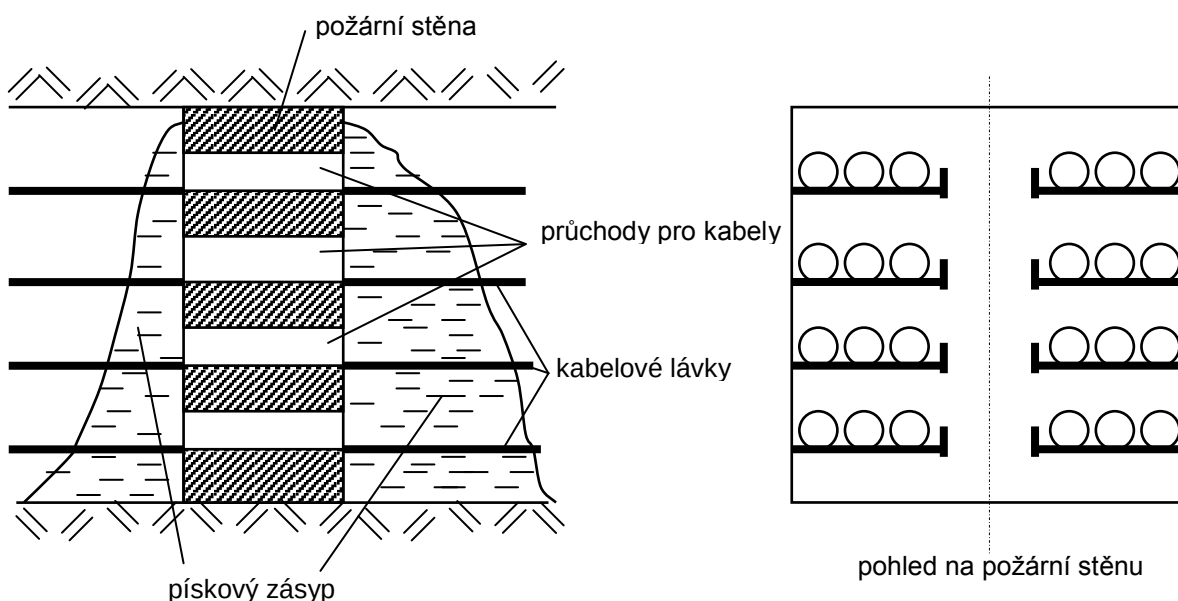




Obr. 3. Konstrukce kabelových kanálů

Sdělovací a automatizační (slaboproudé) kabely musí být kladeny v předepsaném odstupu od kabelů silnoproudých - v normách je uvedena vzdálenost při souběhu a při křížování se silnoproudým rozvodem. Z tohoto důvodu je nutno při zpracování úvodních projektů prosadit samostatné lávky ve velkých kanálech určené pouze pro slaboproudé rozvody a toto uspořádání i při pozdějším doplňování a údržbě kabelových rozvodů důsledně dodržovat. Obvykle jsou v kanále umístěovány slaboproudé kabely na horních lávkách, silnoproudé dole, někdy tomu ale bývá i naopak.

Ve velkých objektech jsou hlavní kabelové kanály rozděleny požárními stěnami na jednotlivé úseky. Uspořádání požární stěny je na obr. 4. Při kladení nového kabelu je nutno pískový zásyp odstranit, po ukončení prací je bezpodmínečně nutno pískový zásyp znovu obnovit, aby bylo zamezeno šíření případného požáru do dalšího úseku.



Obr. 4. Požární stěna v kabelovém kanálu



Kabelové kanály je nutno udržovat v čistotě a pořádku, při odstraňování krytů neprůchozích kanálů je nutno zamezit napadání nečistot ležících na krytu či v bezprostředním okolí do kanálů.

Při řízení prací v průchozích kanálech, např. kladení a opravy kabelů, je nutno dbát na bezpečnost pracovníků. V kabelových kanálech se mohou shromažďovat jedovaté nebo hořlavé či výbušné látky a plyny vnikající tam díky netěsnostem v technologickém zařízení (např. koksovy, plynočistírny apod.). Proto musí vedoucí prací před vstupem pracovníků do kanálu dokonale prověřit, zda na pracovišti není toto nebezpečí akutní, kanály je nutno dostatečně vyvětrat a v případě nebezpečí výbuchu či požáru je nutno před zahájením prací provést osobní prohlídku pracovníků a odebrat jim možné zdroje ohně, jako jsou zápalky, zapalovače a volit bezjiskrovou a bezplamennou technologii prováděných prací.

11.4.2 Kabelové lávky

Kabelové lávky se samostatně používají pro nadzemní vedení kabelů. Kabely na nich musí být dostatečně upevněny, v případě nebezpečí poškození kabelů musí být lávky krytovány např. v blízkosti komunikačních tras, v místech možného poškození kabelů např. rozstřikem tekutého kovu apod.

11.4.3 Kabelová koryta

Kabelová koryta poskytují možnost hromadného uložení větších počtů kabelů zejména menších průřezů. Koryta jsou zpravidla obdélníkového či čtvercového průřezu, jejich nosnou část tvoří vlastní koryto, které je nahoře uzavíráno krytem. Jsou nabízeny kvalitně systémově propracované stavebnice vlastních koryt, odboček, kolen pro vodorovné i svislé odbočení trasy i řada upevňovacích prvků. Jsou vyráběna buď z ocelového pozinkovaného plechu nebo z plastu. Kovové uzemněné provedení má výhodu přídavného stínění kabelových tras před elektrickým rušením.

Protože v kabelovém korytě jsou kabely uloženy těsně na sobě, je nutno u silnoproudých rozvodů uvažovat sníženou zatížitelnost takto uložených kabelů a při jejich dimenzování respektovat ustanovení příslušných norem.

11.4.4 Kabelové trasy v zemi

Do země se kladou kabely do výkopu v tzv. nezamrzlé hloubce, která je v našich podmínkách 0,8 m. Kabel se klade – viz obr. 10.3 do pískového lože, překryje opět pískem a dále signální fólií – barva fólie bývá určena druhem kabelů, často se aplikuje i potisk znakem majitele kabelů. Dále se výkop zasype vytěženou zeminou. Pro zamezení poškození kabelů při menších posunech půdy se kabel klade ve výkopu klikatě.

Při průchodu kabelů pod komunikacemi (cesty, silnice, dráhy) musí v dostatečné vzdálenosti od okraje komunikace kabel přejít ze země do ochranné trubky – chráničky - nebo betonového dvojdielného koryta, aby bylo zamezeno jednak poškození kabelů přenosem zatížení komunikace těžkými vozidly a při jejich případné výměně nebylo nutno narušovat povrch komunikace.

Při projekci tras kabelů v zemi a obecně jakýchkoli výkopových prací je nutno provést průzkum trasy u provozovatelů různých sítí, tj. silnoproudých, slaboproudých, vodovodních a kanalizačních, plynárenských apod. tak, aby novou trasou nebyly tyto sítě narušeny a byly splněny podmínky norem pro souběh a křížení jednotlivých typů těchto sítí. K tomu poskytnou dotčené organizace příslušné mapové podklady a vyjadřují se k projektovým podkladům nové sítě v rámci stavebního řízení.

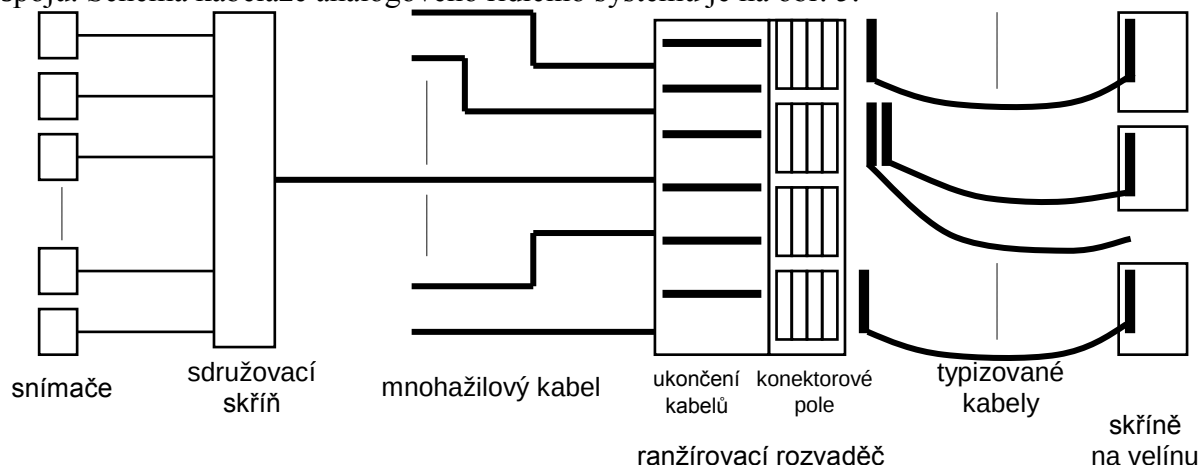
Je účelné vyžádat těsně před zahájením výkopových prací od příslušných organizací vytýčení skutečné polohy jejich sítí na místě výkopu. V případě chybného stanovení trasy a následného poškození příslušné sítě při výkopu a při splnění ostatních podmínek (např. požadavku ručního provádění výkopů) nese náklady na opravy a další škody provozovatel špatně



vytýčené sítě. V případě, že nebyly trasy na místě vytýčeny a dojde k poškození sítí, platí organizace provádějící výkop nejen náklady na opravu, ale zpravidla též značný sankční poplatek a úhradu dalších návazně vzniklých škod.

11.5 SDRUŽOVÁNÍ KABELÁŽE, RANŽÍROVACÍ ROZVADĚČE

Náklady na kabeláž jsou dány především délkou uložených kabelů, méně již jejich druhem. Proto mnohé montážní organizace účtují jednotný poplatek za 1 m uloženého kabelu víceméně bez ohledu na jeho druh. Je to jeden z důvodů pro sružování signálů do mnohažilových kabelů a to i za cenu snížení spolehlivosti tím, že v signálové cestě je více spojů. Schéma kabeláže analogového řídicího systému je na obr. 5.



Obr. 5. Schéma kabeláže analogového řídicího systému

Ve sružovacích skříních se signály z jednotlivých čidel sruží do společného mnohažilového kabelu. Ten je na velínu ukončen v ranžirovacím rozvaděči, kde se signály z různých částí technologie a tedy i různých vstupujících mnohažilových kabelů „rozranžirují“ – rozvedou zpravidla na mnohašpičkové konektory. Z těchto konektorů se signály vedou typizovanými spojovacími kabely s konektory na obou stranách do jednotlivých skříní, pultů či tabel na velínu. Typizované kabely mají jednotné zapojení a několik volitelných délek.

Tato koncepce kabeláže umožňuje podstatně omezit rozsah montážních prací na vlastní stavbě, protože všechny skříně, pulty, tabla řídicího systému včetně připraveného ranžirovacího rozvaděče mohou být kompletně zapojeny, oživeny a ověřeny u výrobce. Na stavbě se pouze připojí vstupní kabely do ranžirovacího rozvaděče a jednotlivé části systému se propojí typizovanými kabely s konektory.

Je nutno bezpodmínečně dbát, aby montážní práce řídicího systému na velínu byly zahájeny až po úplném stavebním a řemeslném dokončení a dokonalém vyčištění prostor, ve kterých bude řídicí systém instalován. Jakékoli urychlení montážních prací na úkor tohoto požadavku má za následek katastrofální snížení spolehlivosti řídicího systému. Lžice malty v počítači jeho spolehlivost nezvyšují. Stejně je nutné provádět zejména při delších odstávkách technologie pravidelné čištění systému a zejména jeho pomocných prostor, jako jsou rozvody chladicího vzduchu, čištění prostoru pod podlahami velínů atd.

11.6 SBĚRNICOVÉ REGULAČNÍ SYSTÉMY

Rozvoj mikropočítačové techniky přinesl vznik malých autonomních řídicích systémů schopných komunikace po definované sběrnici. To umožňuje řešit řídicí systémy větších technologických celků jako systém s distribuovanou inteligencí, jehož jednotlivé části pracují



víceméně autonomně a po síti se přenáší zejména informace potřebné pro koordinaci funkce jednotlivých systémů a data potřebná ve vyšších úrovních řízení.

Byla vyvinuta velká řada sběrnic užívaných jednotlivými výrobci řídicí techniky, se kterými komunikovaly pouze komponenty toho výrobce. Samozřejmě probíhají i snahy na mezinárodní standardizaci těchto sběrnic a jejich přístupnosti všem výrobcům. Příkladem může být sběrnice IEEE488, která je mezinárodním standardem původní firemní sběrnice Hewlett – Packard označované HP-IB vyvinuté pro komunikaci skupiny měřicích přístrojů.

U průmyslových sběrnic se zjednodušuje struktura jejich hardwarového provedení, zvětšuje se povolená délka sběrnice pro zajištění spolehlivého přenosu atd. Z obsáhlé řady lze zde uvést např. dvě vlastnostmi velmi blízké průmyslové sběrnice INTERBUS a PROFIBUS, pro řízení technologie v rozsáhlých budovách např. sběrnici Long Talk.

11.7 KABELÁŽNÍ SYSTÉMY PRO BUDOVY

Provoz moderní kancelářské budovy vyžaduje přenos velkého toku dat ve formě telefonních rozhovorů, přenosu digitálních dat, tvorbu místních i rozsáhlých počítačových sítí, přenos televizních signálů a ostatních akustických a videoslужeb, přenos dat pro zabezpečení, požární signalizaci, řízení provozu budovy (klimatizace, osvětlení, výtahy atd.) a řadu dalších služeb. Strukturu těchto sítí je nutno operativně měnit podle okamžitých požadavků činností v budově prováděných, sítě musí být budovány s dostatečnou perspektivou.

Pro tyto účely byla vyvinuta tzv. strukturovaná kabeláž – u nás jsou známy např. systémy GITY, SYSTIMAXTM. Základním přenosovým médiem těchto sítí je tzv. kroucený pár, což je zkroucená dvojice izolovaných vodičů. Několik těchto párů je uloženo do společného kabelu. Jsou vyvinuty technologie ukončování párů v účastnických zásuvkách u koncového uživatele, technologie ranžírování jednotlivých párů v rozvaděcích jednotlivých podlaží budovy, kde se stýká vodorovná kabeláž v podlaží se svislými centrálními rozvody v budově.

11.8 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Význam dozoren a jejich historický vývoj.
- Uspořádání a požadavky na dozorný v rámci stavebního řešení.
- Technické zajištění kabelových rozvodů.
- Sdružovací kabeláže a sběrnice regulační systémy.



12 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J.: Technické prostředky automatického řízení/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] KOBĚRSKÝ, J. Technické prostředky řídicích systémů. Interní materiály pro podporu kombinovaného studia. Ostrava: VŠB-TU. 2003.

