

1. ÚVOD DO AUTOMATIZAČNEJ TECHNIKY

1.1 ZÁKLADNÉ POJMY

1.1.1 SPRACOVANIE DÁT Z TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

Automatizácia – technický odbor, ktorý sa zaoberá riadením procesov (technologických procesov). Technologický proces môže byť čokoľvek. (napr. chemická prevádzka, potravinárska prevádzka farmaceutická prevádzka, hutnícka prevádzka, v menšom rozsahu koľajové vozidlá, ...). Technologický proces môže byť aj miestnosť kde regulujeme teplotu alebo vlhkosť. Úlohou automatizácie je regulovať fyzikálne veličiny v technologickom procese (regulovať tlak, teplotu, otáčky, ...).

Mechanizácia – nahrádzanie, teda uľahčovanie ľudskej práce mechanizmami. Napr.: kopanie je nahradzované bagrom. Zdvihy záťaže lanami sú nahradzované zdvihmi cez klátkostroje.

Robotizácia – disciplína, ktorá sa zaoberá stavbou a funkčnosťou robotou, ktoré plne nahrádzajú činnosť človeka na základe algoritmu do nich vloženého.

- automatizácia sa zaoberá riadením, čo je široký pojem a preto sa to rozdeľuje na dve časti:

- ovládanie
- regulácia

Rozdiel medzi nimi spočíva v tom že pri ovládaní nemáme zavedenú spätnú väzbu. Naproti tomu pri regulácii máme spätnú väzbu.

Príklad na ovládanie: Spúšťame na diaľku asynchrónny motor dvoma tlačidlami štart-stop. Ak stlačíme štart, vieme že sa motor roztočil, ak stop motor sa zastaví.

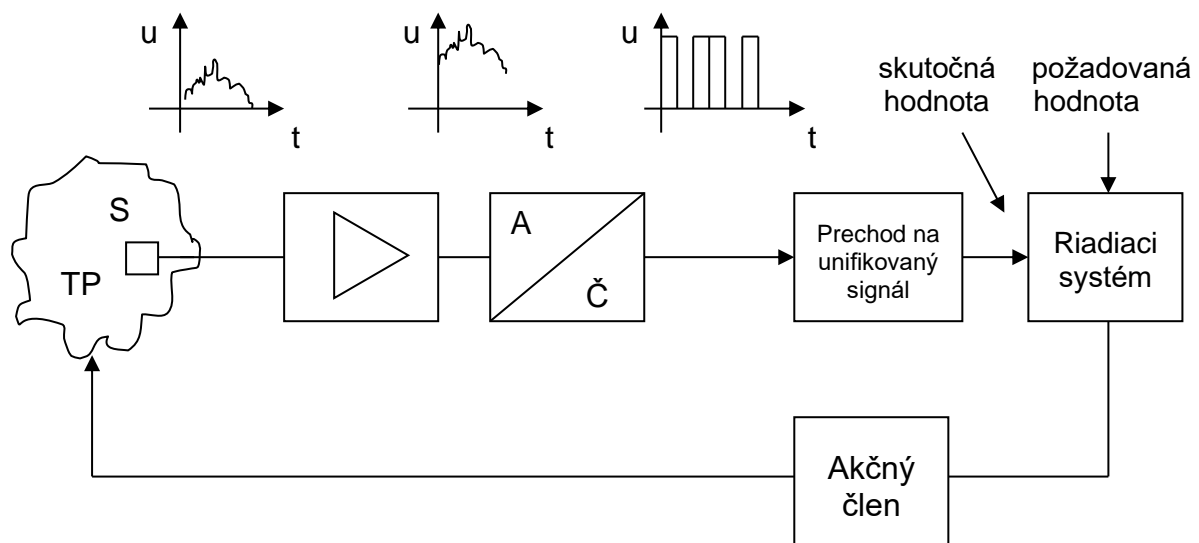
Príklad na reguláciu: Regulácia v miestnosti alebo nádrží prebieha tak, že teplota sa sústavne kontroluje cez snímač a tento signál sa vedie do regulátora. Hovoríme že je tam zavedená spätná väzba, čo pri ovládaní chýba.

1.2 KYBERNETIKA

Kybernetika si zdefinujeme ešte definíciou matematika Norberta Wienera (1948). Kybernetika je riadenie a oznamovanie v živých organizmoch a strojoch. Kybernetika používa matematické metódy, ktoré popisuje riadiace systémy a procesy riadenia a vzťahy medzi nimi.

2. REGULAČNÉ RIADENIE TECHNOLOGICKÝCH PROCESOV

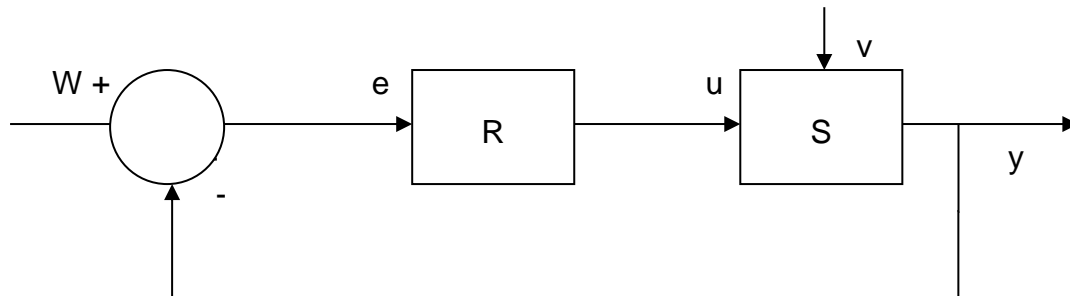
2.1 SPRACOVANIE SIGNÁLOU Z TECHNOLOGICKÉHO PROCESU



Obrázok nám popisuje spracovanie signálu z technologického procesu a následne vplyv na technologický proces. V technologickom procese je snímač, ktorý sníma aktuálnu hodnotu meranej fyzikálnej veličiny (teplotu, tlak, prietok, výšku hladiny atď.). Keďže zo snímača ide analógové napätie malej veľkosti, poväčšine milivolty, je potrebné tento signál zosilniť cez zosilňovač. Na to aby bol tento signál spracovaný číslicovými systémami je potrebné zaradiť prevodník pre konverziu tohto signálu na číslicový signál s tou istou údajovou hodnotou. Tento signál treba ešte prekonvertovať na celosvetovo unifikovaný signál. Na vstupe riadiaceho systému prichádza skutočná hodnota, ktorá sa porovná s predpísanou hodnotou a pokiaľ vzniká rozdiel, tak riadiaci systém prostredníctvom akčného člena tak vplyva na technologický proces, aby sa v konečnom dôsledku predpísaná hodnota rovnala skutočnej hodnote.

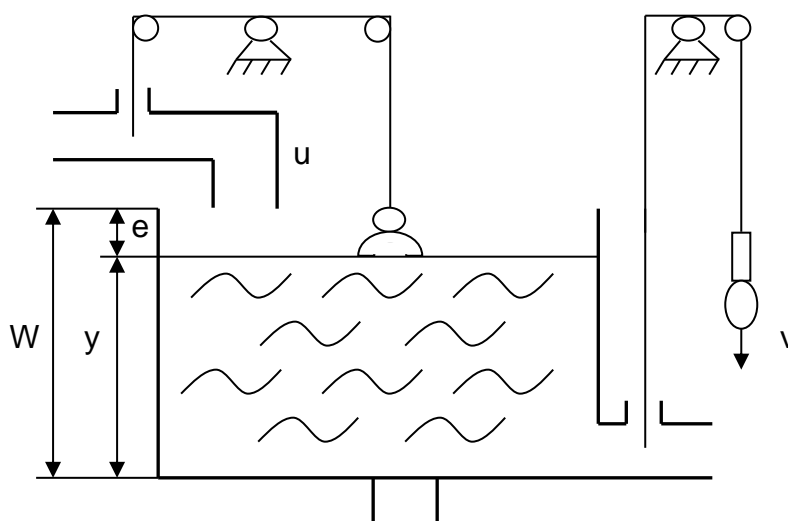
Napr. Máme rodinný dom kde regulujeme teplotu vo vnútri a pokiaľ existuje rozdiel medzi predpísanou a skutočnou hodnotou, riadiaci systém cez akčný člen otvorí alebo zatvorí ventil na plynovom potrubí do vnútra a potom máme buď väčší alebo menší plameň teda vyššiu alebo nižšiu teplotu v okruhu a teda aj teplotu v dome.

2.2 JEDNOPARAMETROVÝ REGULAČNÝ OBVOD



- R – regulátor
- S – regulovaná sústava
- W – riadiaca veličina (požadovaná hodnota)
- e – regulačná odchýlka
- u – akčná veličina
- y – regulačná veličina
- v – poruchová veličina

Regulačný obvod nazývame preto jednoparametrový, lebo je schopný regulovať len jednu fyzikálnu veličinu. Na vstupe regulačného obvodu je riadiaca veličina W, čiže taká hodnota, ktorú požadujeme. Z výstupu je zavedená spätná väzba do krúžku, ktorý nazývame komparátor. Jeho úlohou je nepretržite porovnávať regulačné a riadiace veličiny. Ak je medzi nimi rozdiel vznikne regulačná odchýlka e, ktorá je na vstupe regulátora. Úlohou regulátora e je tak vplývať na sústavu prostredníctvom akčnej veličiny u aby sa dosiahol stav $e=0$. Regulačný obvod je ešte veličina v (poruchová), ktorú si môžeme predstaviť pri regulácii teploty v miestnosti ako netesnosť okien, dverí.



2.3 REGULOVANÉ SÚSTAVY

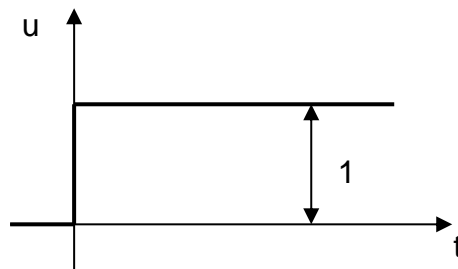
Regulovaná sústava môže byť čokoľvek v čom udržiavame fyzikálne veličiny na požadovanej hodnote. Napr. regulácia teploty v miestnosti, regulácia otáčok a momentu otáčok motora, teda sústava je elektromotor, reťivizačná rotačná nádrž atď.

TESTOVACIE SIGNÁLY V AUTOMATIZÁCIÍ

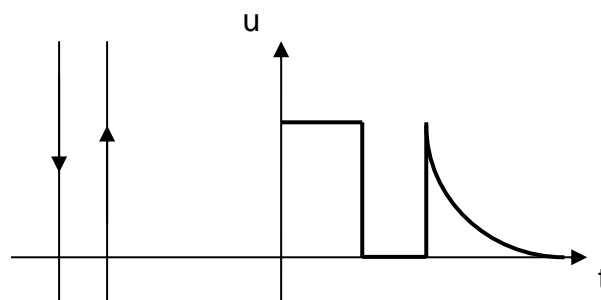
Testovacie signály v automatizácií používame na to, aby sme overili správnu funkciu automatizačných zariadení t.j. že na vstup bloku, ktorý predstavuje regulovanú sústavu dáme jeden z pevne definovaných testovacích signálov, pričom vopred matematicky prepočítame čo sa stane so signálom vo vnútri bloku a aký signál by mal byť na výstupe z bloku. Tento výpočet si prakticky otestujeme tak, že na výstup z bloku dáme u pomalobežných prechodový zapisovač, u rýchlych osciloskop. Ak na výstupe je taký signál aký sme očakávali tak obvod je navrhnutý správne ak nie, tak musíme celý postup zopakovať ešte raz.

Testovacie signály v automatizácií sú tri:

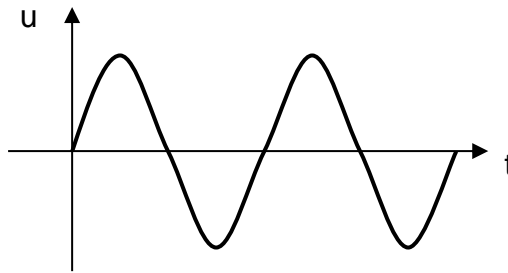
1. Jednotkový skok – je to elektrický, pneumatický alebo hydraulický signál nakresleného tvaru o amplitúde 1. Amplitúda 1 znamená, že je tam vopred dohodnutá veľkosť podľa zariadenia s ktorými pracujeme.



2. Dirackov impulz – je zadefinovaný ako impulz nekonečne veľkej amplitúdy za nekonečne krátky čas. Vedľa ideálneho tvaru sú nakreslené reálne tvary.



3. Harmonický signál



Odpovede na testovacie signály:

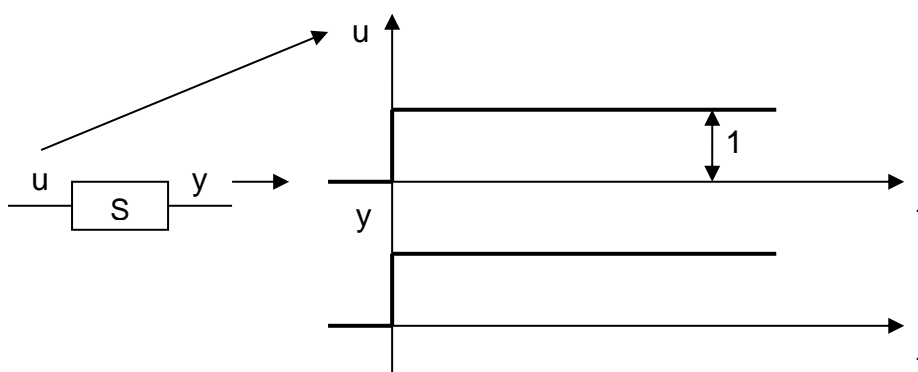
- a) odpoveďou v jednotkovom skoku je prechodová charakteristika
- b) odpoveďou v Dirackovom impulze je impulzná charakteristika
- c) odpoveďou v harmonickom signály je frekvenčná charakteristika

2.3.1 SÚSTAVY STATICKÉ

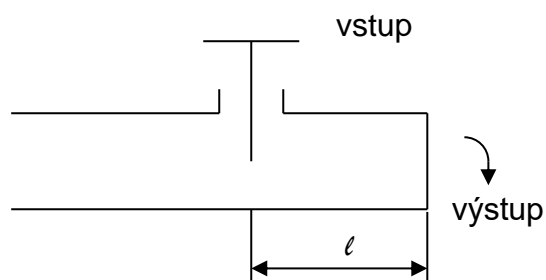
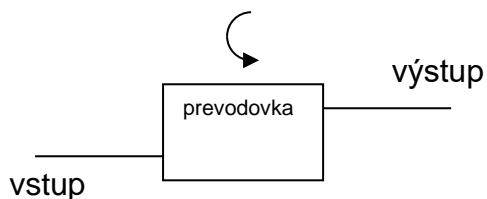
Sú také systavy, u ktorých hodnota výstupnej regulovanej veličiny sa po čase ustáli na predpísanú hodnotu teda hodnotu predpísanej veličiny.

Regulárne systavy rozdeľujeme podľa rádov:

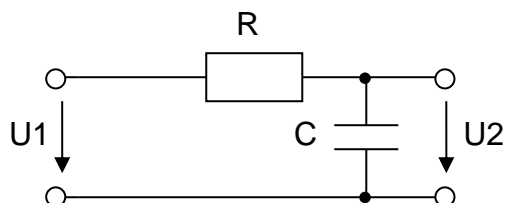
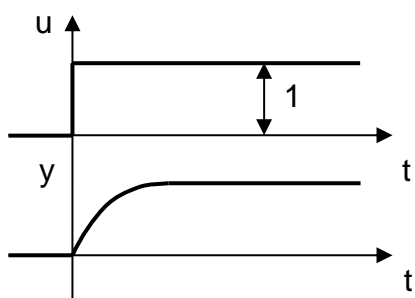
1. Statická regulačná sústava 0 rádu. Na obr. je nakreslená jej prechodová charakteristika



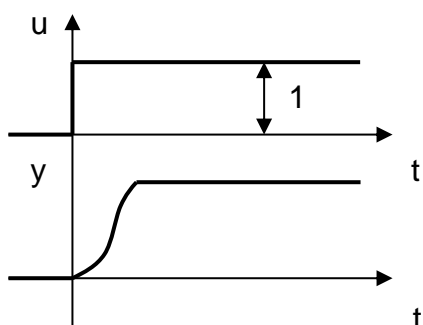
Z prechodovej charakteristiky vieme že po vybudení jednotkového skoku sústava okamžite reaguje bez deformácie signálu, pričom amplitúda môže byť rovnaká, väčšia alebo menšia ako veľkosť vstupného signálu. V praxi existuje veľmi málo príkladov sústav nultého rádu. Môže ísť o prevodovku veľmi presnú bez vôle v zuboch resp. o úsek krátkeho potrubia.



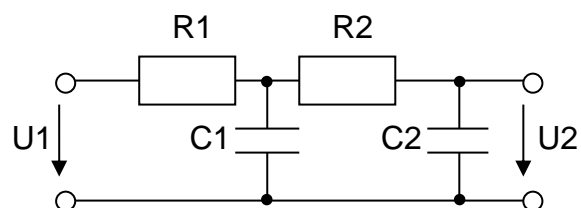
2. Regulovaná sústava prvého rádu.



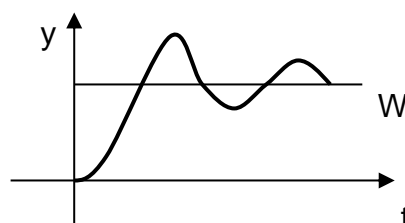
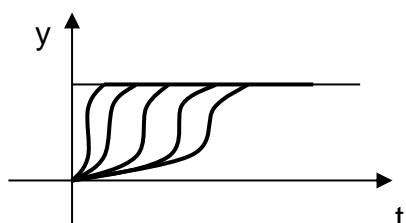
3. Regulovaná sústava druhého rádu.



Dvojnásobný RC člen



4. Regulované systémy vyššieho rádu



Na ďalšom priebehu vidíme ideálny stav, ktorý by sme chceli aby táto regulačná sústava zareagovala na vstupe vybudenia a to aj nakreslený reálny stav. To vtedy ak sústava zareaguje 2-3 prekritmi tak regulačný obvod je navrhnutý správne. Ak by sa tam objavilo viac prekritov, tak regulačný obvod môžeme navrhnuť odznova.

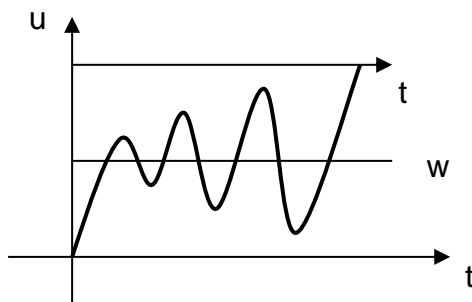
2.3.2 SÚSTAVY ASTATICKÉ

Sústavy astatické sú také sústavy, u ktorých sa na výstup jednotkovým skokom neustáli na hodnote riadiacej veličiny.

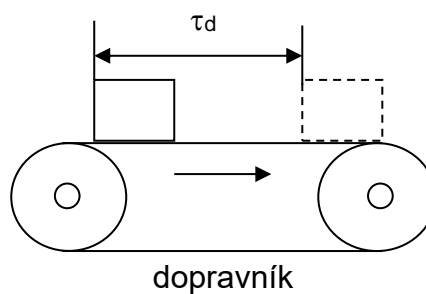
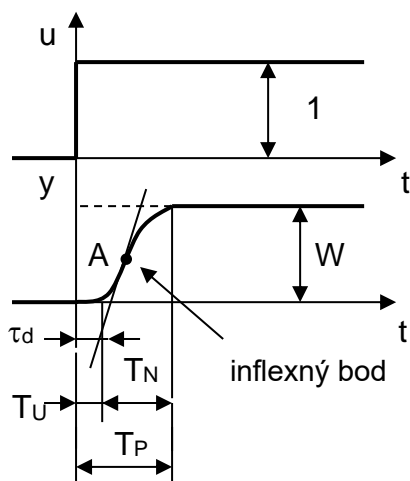
Astatické sústavy poznáme: 1. aperiodické
2. periodické

Ako príklad môžu slúžiť dve čerpadla s dvoma nádržami, ktorých priebehy nie sú prechodné a hodnota sa ustáli na hodnote ideálnej veličiny ale musí vždy stúpať alebo klesať. Prechodové sústavy nám zobrazujú aperiodické astatické sústavy

Periodická astatická sústava



Sústavy s dopravným oneskorením

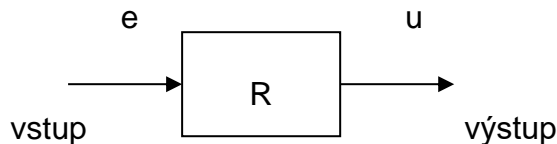


τ_d – čas dopravného oneskorenia
 T_U – čas prietoku
 T_N – čas nábehu
 T_P – čas prechodu

Komparátor - je obvod, pomocou ktorého môžeme indikovať časový okamih, v ktorom určitý signál nadobudne vopred stanovenú napäťovú hladinu. Logický komparátor je kombinačný logický obvod realizujúci funkciu porovnávania dvoch hodnôt. Má dva vstupy A a B. Jeho výstupom je 1, ak sa vstupy (ich hodnoty prívádzané na vstup) zhodujú. V opačnom prípade je jeho výstupom 0.

2.4 REGULÁTORY

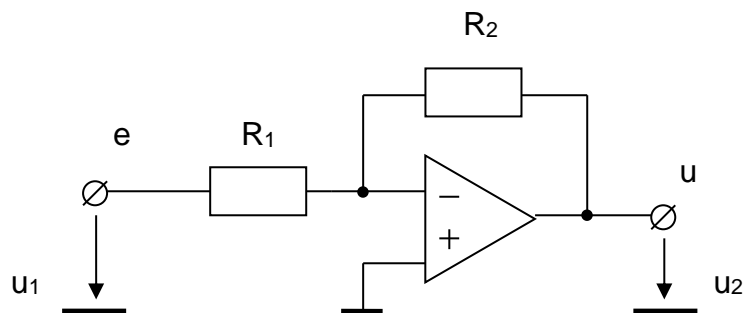
Regulátory delíme na dve veľké skupiny: 1. regulátory spojité
2. regulátory nespojité



Regulátory spojité nazývame preto spojité, lebo na ich výstupe je časovo neprerušovaný teda spojitý signál. Regulátory nespojité preto že na ich výstupe je časovo prerušovaný signál. Laicky povedané ich výstup raz pracuje a raz nie.

Regulátory ešte môžeme deliť na: 1. číslicové
2. fuzzy
3. neuro
4. neuro-fuzzy

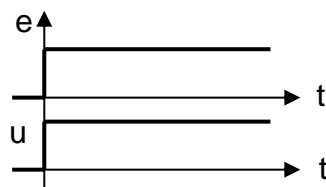
P-regulátor



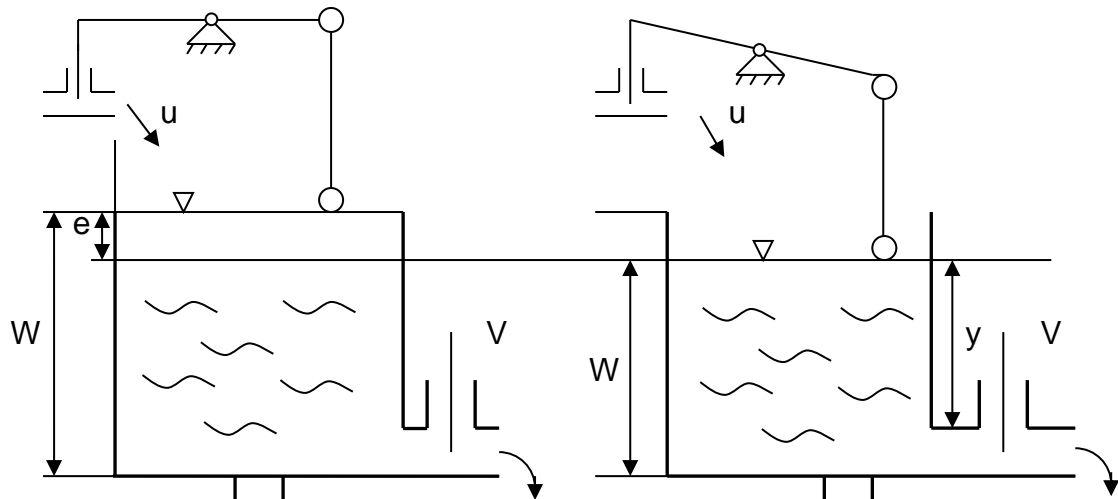
$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} = K_R$$

K_R – konštanta P-regulátora

Prechodová charakteristika prvého rádu. P-regulátor zareaguje prvým rádom. Zareaguje na vstupné vybudenie.



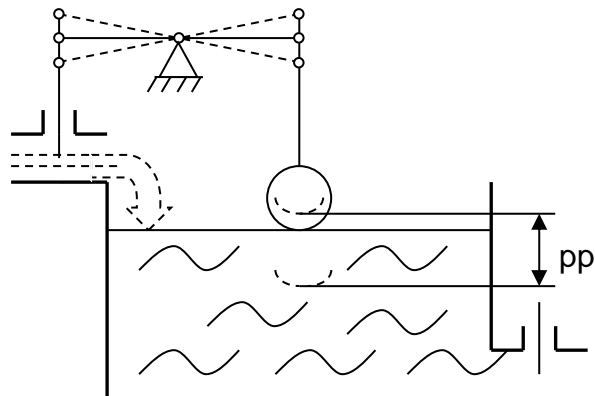
Z prechodovej charakteristiky vyplýva, že P-regulátor je veľmi rýchli, pretože okamžite zareaguje na vybudenie. Je presný lebo nedeformuje vstupný signál a následne tento vstupný signál K_R zosilní. Pomerne dobrý P-regulátor je audio zosilňovač ale tieto sa nehodia do priemyslu, pretože v priemysle sa vyskytujú prašnosť, rôzne vibrácie, elektromagnetické rušenie atď. Jedná veľká nevýhoda P-regulátora je, že pracuje s trvalou regulačnou odchýlkou.



Obrázok nám zobrazuje následný dej, kde máme nádrž s odtokovým a prítokovým ventilom. Keďže prítokový ventil je cez páku pripojený s prítokom, tak automaticky je vyrovnávaná hladina. Na ľavom obrázku má požadovanú hodnotu. Ak do toho vstúpi porucha v podobe náhleho pootvorenia výstupného ventilu, tak prítokový ventil okamžite cez pákový ventil a plavák okamžite zareaguje takže, odtok sa bude rovnať prítoku ale vznikne tam trvalá regulačná odchýlka e .

PÁSMO PROPORCIONALITY

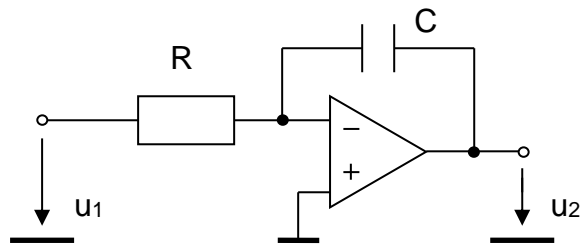
Je jedným z dôležitých parametrov P-regulátora.



Pásmo proporcionality je rozsah v ktorom sa musí zmeniť regulovaná veličina aby sa regulovaný orgán druhej prestavil z jednej krajnej polohy do druhej polohy. Hodnota pásma proporcionality sa vyjadruje v percentách z regulačného rozsahu regulátor a potom môžeme písať:

$$pp = \frac{1}{K_R} \cdot 100$$

Ako nastavíme rozsah regulátora odpovedajúcemu rozsahu, bude regulovaná veličina
INTEGRAČNÝ REGULÁTOR (REGULÁTOR I)



Pri integračnom regulátore každej hodnote vstupnej veličiny zodpovedá úmerná zmena rýchlosti výstupnej veličiny.

Rovnica integračného regulátora má tvar:

$$u' = \frac{K_R}{T_i} e$$

po úprave dostaneme

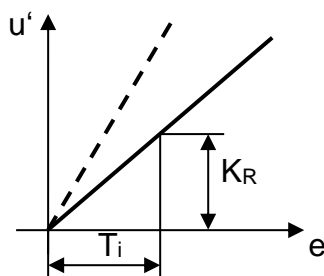
$$u = \frac{K_R}{T_i} \int e dt$$

kde T_i je integračná časová konštanta.

Vzhľadom na to, že hodnota výstupnej veličiny je úmerná integrálu vstupnej veličiny, nazývame tento regulátor integračný regulátor.

Statické vlastnosti

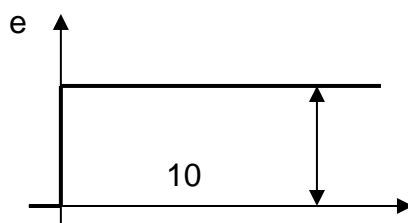
Statické vlastnosti integračného regulátora možno ovplyvniť nastavením jeho integračnej časovej konštanty T_i , jeho súčiniteľ prenosu K_R je konštantný. Zo statickej charakteristiky integračného regulátora možno vyčítať, že so znižujúcou sa integračnou časovou konštantou sa zväčšuje citlivosť a presnosť regulátora, zatiaľ čo jeho stabilita sa naopak znižuje.

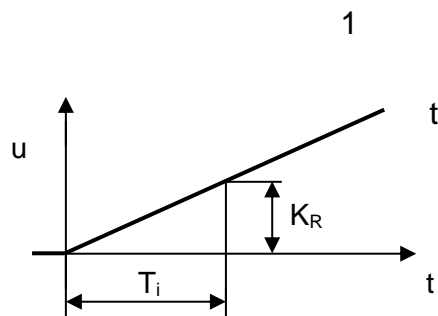


statická charakteristika regulátora I

Dynamické vlastnosti

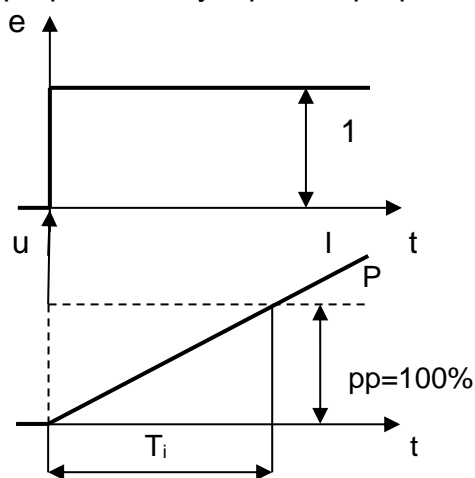
Dynamické vlastnosti integračného regulátora sa najčastejšie vyjadrujú prechodovou charakteristikou; jej priebeh je na nasledujúcom obrázku.





prechodová charakteristika regulátora I

Z prechodovej charakteristiky je zrejmy astatizmus (nestabilita integračného obvodu). Integračnú časovú konštantu T_i môžeme definovať ako čas, za ktorý výstupná veličina integračného regulátora dosiahne rovnakú hodnotu, akú by dosiahla, keby prenos regulátora bol iba proporcionálny a pásmo proporcionality by bolo 100 %.

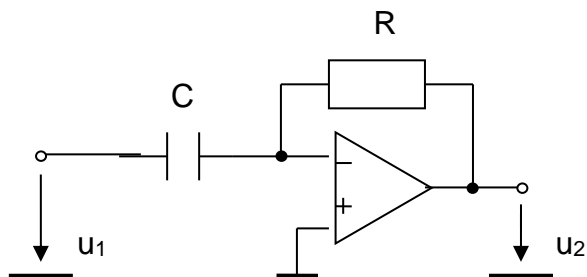


grafické vyjadrenie definície integračnej časovej konštanty

Súhrn vlastností integračného regulátora

Jeho najvýznamnejšou vlastnosťou je skutočnosť, že pracuje bez trvalej regulačnej odchýlky. Vzhľadom na svoj astatizmus nie je vhodný na regulátor astatických regulovaných sústav.

DERIVAČNÝ REGULÁTOR (REGULÁTOR D)



Pri integračnom regulátore zodpovedala každej hodnote vstupnej veličiny priamo úmerná zmena rýchlosti výstupnej veličiny. Teraz budeme zisťovať vlastnosti

regulátora, pri ktorom by naopak zmena rýchlosti vstupnej veličiny zodpovedala priamo úmerná hodnota veličiny výstupnej. Rovnica takto získaného regulátora má tvar:

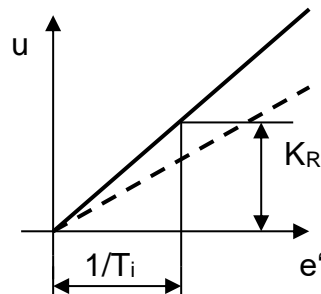
$$u = T_d K_R e'$$

kde T_d je derivačná časová konštanta.

Vzhľadom na to, že derivácia vstupnej veličiny zodpovedá priamo úmerná hodnota výstupnej veličiny, nazývame tento regulátor derivačný regulátor..

Statické vlastnosti

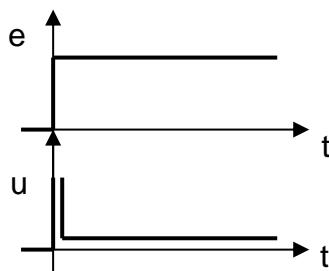
Statické vlastnosti derivačného regulátora možno ovplyvňovať nastavením jeho charakteristickej veličiny – derivačnej časovej konštanty T_d . jeho súčiniteľ prenosu K_R je konštantný a nemožno ho zmeniť. Zo statickej charakteristiky derivačného regulátora možno vyčítať, že so zväčšujúcou sa derivačnou časovou konštantou sa zväčšuje citlivosť regulátora, kým jeho stabilita sa naopak znižuje.



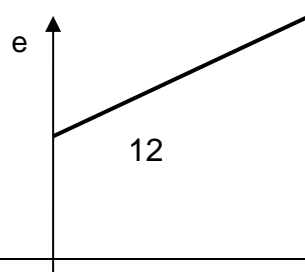
statická charakteristika regulátora D

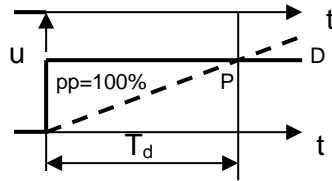
Dynamické vlastnosti

Dynamické vlastnosti derivačného regulátora sa najčastejšie vyjadrujú prostredníctvom prechodovej charakteristiky. Derivačná časová konštanta je čas, za ktorý výstupná veličina derivačného regulátora dosiahne rovnakú hodnotu, akú by dosiahla, keby prenos regulátora bol iba proporcionálny a pásmo proporcionality by bolo 100%. Aby sme mohli uvedenú definíciu derivačnej časovej konštanty vyjadriť i graficky, musíme na vstup regulátora priviesť inú zmenu ako jednotkový skok.



prechodová charakteristika regulátora D



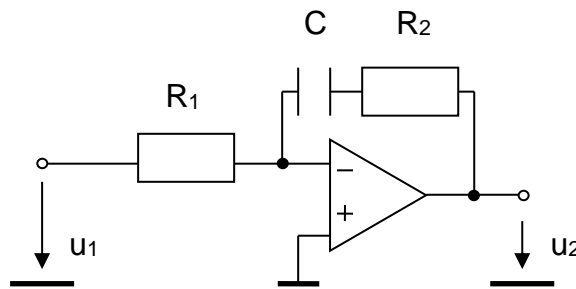


grafické vyjadrenie definície derivačnej časovej konštanty

Súhrn vlastností derivačného regulátora

Derivačný regulátor sa používa na zrýchlenie regulačného procesu. Vzhľadom na to, že tento regulátor nereaguje na ustálenú hodnotu regulačnej odchýlky, ale len na zmenu rýchlosti, neplní hlavnú úlohu regulátora, t.j. neodstraňuje regulačnú odchýlku, a preto ho nemožno samostatne použiť. Preto sa používa len v spojení s predchádzajúcimi typmi regulátorov.

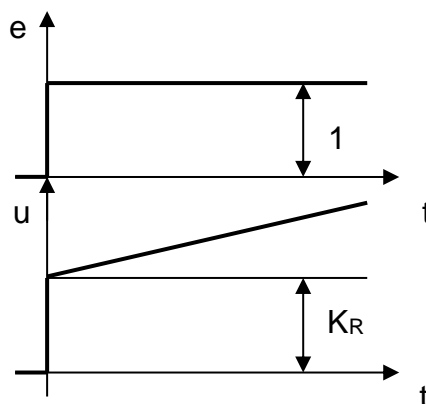
PROPORCIONÁLNO-INTEGRAČNÝ REGULÁTOR (REGULÁTOR PI)



Jeho vlastnosti určuje súčet vlastností jednoduchých regulátorov P a I. tomu zodpovedá i jeho rovnica

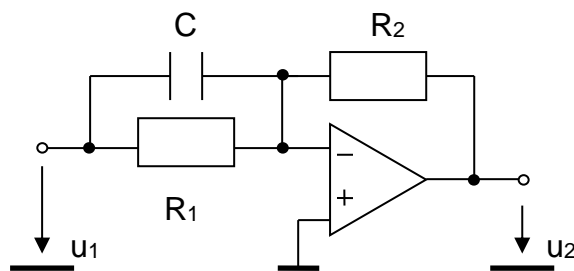
$$u = K_R e + \frac{K_R}{T_i} \int e dt$$

Prechodovú charakteristiku regulátora PI určuje súčet prechodových charakteristík obidvoch jednoduchých regulátorov. Z jej priebehu možno vyčítať, že do regulačného procesu zasiahne najskôr proporcionálna zložka regulátora a až potom zložka integračná. Tento regulátor pracuje bez trvalej regulačnej odchýlky.



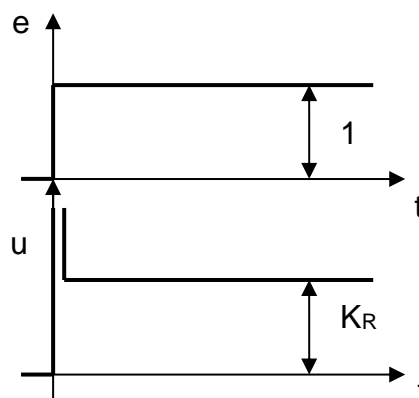
prechodová charakteristika regulátora PI

PROPORCIONÁLNO-DERIVAČNÝ REGULÁTOR (REGULÁTOR PD)



Vlastnosti tohto združeného regulátora určuje súčet vlastností jednoduchých regulátorov (P a D). Jeho rovnica má tvar:

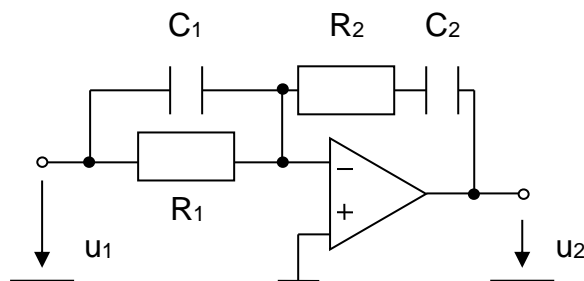
$$u = K_R e + K_R T_d e'$$



prechodová charakteristika regulátora PD

Výslednú prechodovú charakteristiku regulátora PD určujeme súčet prechodových charakteristík oboch jednoduchých regulátorov. Z jej priebehu možno vyčítať, že do regulačného procesu najskôr zasiahne derivačná zložka regulátora, ktorá celý regulačný proces urýchli, a až potom sa prejaví proporcionálna zložka, ktorá celý regulačný pochod stabilizuje. Tento regulátor však pracuje s trvalou regulačnou odchýlkou.

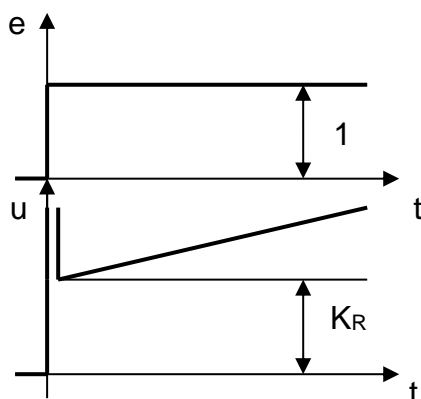
PROPORCIONÁLNO-INTEGRAČNO DERIVAČNÝ REGULÁTOR (REGULÁTOR PID)



Jeho vlastnosti vyjadruje súčet vlastností jednoduchých regulátorov (P, I, D), čomu zodpovedá jeho rovnica:

$$u = K_R e + \frac{K_R}{T_i} \int e dt + K_R T_d e'$$

Prechodovú charakteristiku regulátora PID vyjadruje súčet prechodových charakteristík jednoduchých regulátorov (P, I, D).



prechodová charakteristika regulátora PID

Z jej priebehu možno vyčítať, že do regulačného procesu najskôr zasiahne derivačná zložka, neskôr proporcionálna zložka a až na záver integračná zložka. Uvedený združený regulátor PID pracuje bez trvalej regulačnej odchýlky a možno ho hodnotiť ako najdokonalejší spojité regulátor.

2.4.1 ZHRŇUJÚCE ZÁKLADNÉ POJMY

Pojem	Označenie	Definícia
Spojité regulátor		Regulátor, pri ktorom je výstupná veličina spojitou funkciou vstupnej veličiny.
Proporcionálny regulátor		Spojité regulátor, pri ktorom je okamžitá hodnota výstupnej veličiny priamo úmerná hodnote vstupnej veličiny.
Integračný regulátor		Spojité regulátor, pri ktorom je výstupná veličina úmerná integrálu vstupnej veličiny.
Derivačný regulátor		Spojité regulátor, pri ktorom je výstupná veličina úmerná derivácií vstupnej veličiny.
Združený regulátor		Súhrnný názov pre spojitý regulátory s niekoľkými funkčnými členmi.
Súčiniteľ prenosu regulátora	(K_R)	Pomer zmeny akčnej veličiny ku zmene regulovanej veličiny.
Pásmo proporcionality	(pp)	Krajné hranice, medzi ktorými sa musí zmeniť regulovaná veličina, aby regulátor P prestavil regulačný orgán z jednej krajnej polohy do druhej.

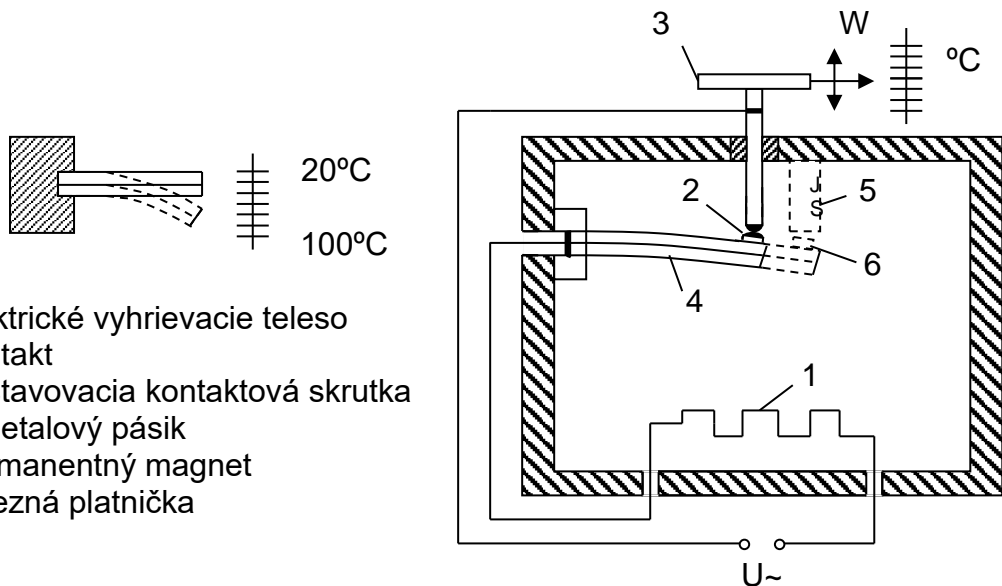
Trvalá regulačná odchýlka	(e_t)	Odchýlka skutočnej hodnoty regulovanej veličiny od žiadanej hodnoty v ustálenom stave.
Integračná časová konštanta	(T_i)	Čas, ktorý uplynie od okamihu pripojenia skokového vzruchu k vstupu regulátora od okamihu, kedy je zložka výstupného regulátora, spôsobená integračnou činnosťou rovnaká ako zložka, spôsobená proporcionálnou činnosťou regulátora.
Derivačná časová konštanta	(T_d)	Čas, ktorý uplynie od okamihu pripojenia vzruchu s konštantnou rýchlosťou zmeny signálu k vstupu regulátora od okamihu, keď je zložka výstupného signálu spôsobená derivačnou činnosťou regulátora rovnaká ako zložka spôsobená proporcionálnou činnosťou regulátora.

2.5 REGULAČNÉ OBVODY S NESPOJITÝMI REGULÁTORMY

2.5.1 ZÁKLADNÉ PRINCÍPY NESPOJITÝCH REGULÁTOROV

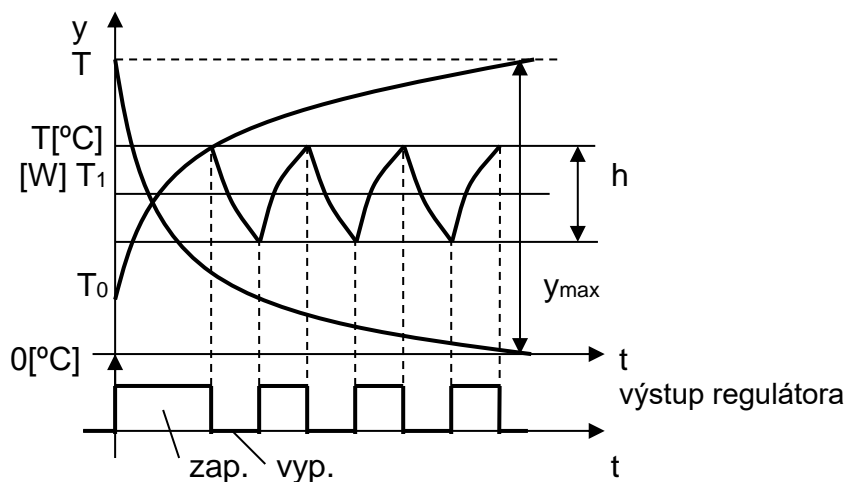
V praxi sa často v nenáročných aplikáciách používajú dvojpolohové alebo trojpolohové regulátory, pretože ich konštrukcia je pomerne jednoduchá a lacná. Činnosť nespojitého regulátora si objasníme na príklade bimetalového regulátora teploty.

Základnou časťou tohto regulátora je bimetalový pásik, ktorý je doplnený nastaviteľným kontaktom pomocou kontaktovej skrutky. Umiestnením tohto regulátora do priestoru vyhrievacej komory, kde regulujeme teplotu, dostávame regulačný obvod podľa nasledujúceho obrázku. Do série s vyhrievacím telesom 1 je zapojený kontakt 2, ktorý podľa deformácie bimetalového pásika, t.j. podľa skutočnej hodnoty regulovanej teploty, vypína alebo zapína prívod elektrickej energie. Ak teraz chceme nastaviť požadovanú hodnotu teploty napr. na 40 °C, pomocou nastavovacej skrutky 3 nastavíme deformáciu pásika na hodnotu zodpovedajúcu deformácií pri tejto teplote. Potom pri nižšej teplote bude kontakt zapnutý, elektrický prúd bude prechádzať vyhrievacím telesom, teplota bude stúpať. Po dosiahnutí požadovanej teploty bimetalový pásik rozopne pomocou kontaktov obvod elektrického prúdu a teplota začne klesať.



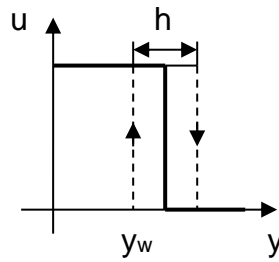
1. elektrické vyhrievacie teleso
2. kontakt
3. nastavovacia kontaktná skrutka
4. bimetalový pásik
5. permanentný magnet
6. železná platnička

V súlade s teoretickým popisom sú na nasledujúcom priebehu zobrazené prechody regulárneho priebehu. Regulátor je zapnutý a začíname ohrev z počiatočnej teploty, teploty 0. Regulátor by mal svoj výstup vypnúť na požadovanej hodnote teploty 1, ale keďže máme zavedenú hysteréziu, tak ohrev pokračuje až po hornú hranicu hysterézie. Vtedy regulátor vypne (viď priebeh u), nastáva ochladzovanie regulovanej veličiny v sústave. Regulátor by mal zapnúť znovu na tej 1, ale hysterézia spôsobí že sa vypne až na danej hranici hysterézií.



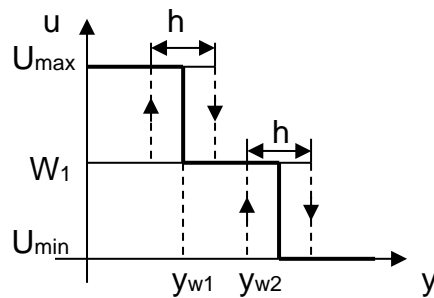
Ak by sme si chceli spraviť takúto krivku museli by sme si v pravidelných časových intervaloch odmerať aktuálne hodnoty meranej tepelnej veličiny a zakresliť body, ktoré by sme navzájom pospájali a vznikla by nám takáto krivka.

Na nasledujúcom obrázku je prechodová charakteristika, ktorá zobrazuje to isté ako predchádzajúci obrázok. Zapnutie a vypnutie regulátora.

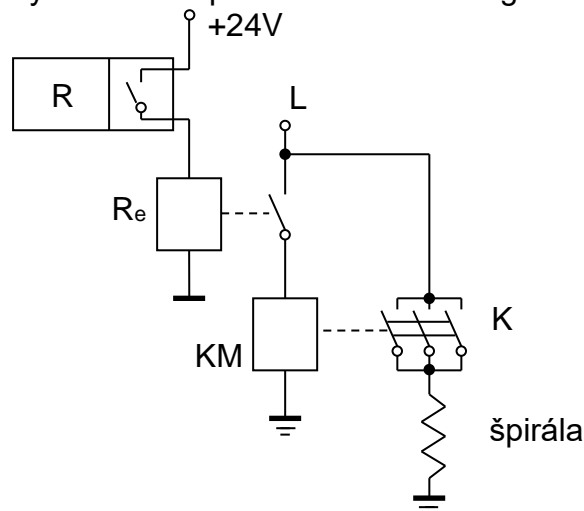


Následný obrázok poukazuje na skutočnosť, že nespojité regulátory nemusia byť nutne dvojpohové ale môžu byť aj viacpohové. V tomto prípade ide o trojpohový regulátor.

Príklad: Majme piecku na tavenie kovu. Kov potrebujeme čím rýchlejšie roztaviť. Keďže piecka je trojfázová, má tri špirály a regulátor svojím výstupom spôsobí, že sa špirály piecky zapoja do trojuholníka, čiže každá špirála je napájaná 400V. keď sa dosiahne požadovaná teplota v čítane hysterézií (ak ju máme zavedenú). Vtedy výstup regulátora spôsobí prepojenie špirál do zapojenia hviezdy, čiže každá špirála je teraz napájaná fázovým napätím 230V. toto napätie nám stačí na udržiavanie teploty. Takže počítajme: prvý stav je pre zapojenie do trojuholníka, druhý pre zapojenie do hviezdy a tretí stav je vypnutie.

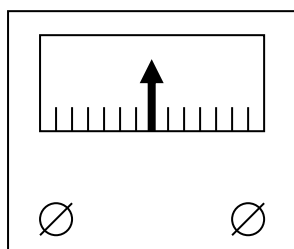


Nasledujúca schéma ukazuje typické zapojenie regulátora. Kontakt regulátora je reléový, mohol by priamo spínať fázové napätie, ale keďže nechceme aby sa opotreboval tak privedieme naňho len 24V jednosmerných a kontakt zapína relé cievky a až kontakt relé spína fázu spínača a cez stýkačové spínanie špirálu. Teoreticky pri málokterých špirálach by sme mohli priamo kontaktom regulátora spínať špirálu.

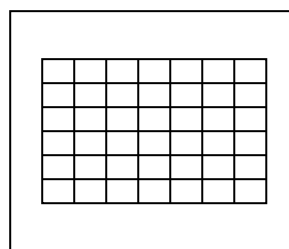


2.6 KONŠTRUKCIE REGULÁTOROV

Staršie regulátory nazývame analógová, ktoré majú z čelného pohľadu ručičku so stupnicou na riadenie regulovanej veličiny a nastavenie regulovanej veličiny a nastavenie KR sa nastavujú buď potenciometrami, alebo trimrami na čelnom paneli. V zadnej časti regulatorovej skrinky sa nachádza svorkovnica so vstupmi a výstupmi, kde na vstup ako sme si v prvej kapitole povedali, privádzame signál z technologického procesu, teda y . môžu to byť teplota, tlak a iné fyzikálne veličiny.



pred



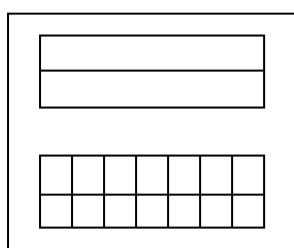
zad

Výstupy regulátora môžu byť:

1. analógové
2. unifikované

- 0 ÷ 5V
- 0 ÷ 10V
- 4 ÷ 20mA
- 0 ÷ 20mA

Druhá alternatíva je lacnejšia, že na vstupoch je reléový kontakt spínaní rozpínaním alebo prepínaním. Jeden alebo viac, prípadne aj kombináciou. Nové číslicové regulátory majú zvyčajne jedno alebo dvojriadkový displej LED, resp. LCD a sadu tlačidiel na parametrizáciu, teda na nastavenie typu regulátora a jeho konštant.



$y \Rightarrow PV$

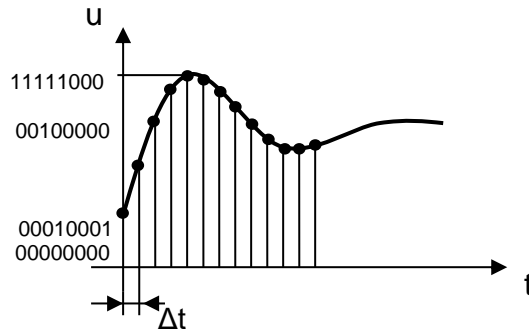
y – je označená ako PV. Môžeme to preložiť ako present value
 w – je SP (set point)

Čo sa týka vstupov a výstupov platí to, čo u starších typov. Nové regulátory však môže mať za príplatok komunikačnú linku, ktorá nám umožňuje zasadiť regulátory do priemyselných a kancelárskych miestností.

Zamyslime sa teraz nad zdanlivým rozporom, ak máme PID regulátor a nespojitý reléový výstup. Pri prvom zamyslení nám odchádza význam takejto kombinácie. Ak máme dvojpohový regulátor, tak po nahriatí zhruba vypína na rovnakú dobu a potom sú zhruba rovnaké zapínacie časy. Ak však máme PID, algoritmus po úvodnom trvalom zapnutí výstup tohto regulátora zapína vo veľmi krátkych intervaloch, ktorých dĺžka sa mení hlavne od závislosti dĺžky poruchovej veličiny.

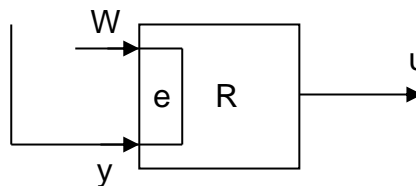
2.7 ČÍSLICOVÉ REGULÁTORY

Ak pripojíme na vstup číslicového regulátora odporový snímač alebo termočlánok, tak číslicový regulátor musí spracovať signál z týchto snímačov, ktoré sú analógové ale číslicový regulátor rozumie len logickej 0 a logickej 1. Preto vecou ktorú musíme urobiť je konverziu. Konverzia je založená na dvoch postupoch – vzorkovaní a kvantovaní.



Regulátor s touto y robí to, že po presne stanovených úsekoch Δt zmerá hodnoty y . Hovoríme, že ovzorkujeme hodnotu y v Δt . Tomuto procesu hovoríme že ide o vzorkovanie. Ako ukazuje obrázok k týmto jednotlivým analógovým hodnotám priradí binárnu hodnotu. Tomuto procesu hovoríme kvantovanie.

Ako aj z pomocného obrázka vidíme, regulátor má po každom Δt aktuálnu hodnotu e .



Číslicový regulátor nepoužíva PID algoritmus ale PSD (proporcionálny sumačný diferenciál) algoritmus. Algoritmus PSD sa upravil oproti algoritmu PID, ktorý používa integráli a derivácie. Podľa Δt sa zmenil na nasledovne:

$$y = \underbrace{k_R \cdot e}_{P} + \underbrace{\frac{1}{T_i} \int e \, dt}_{I} + \underbrace{T_d \cdot \frac{de}{dt}}_{D}$$

$$y_{k-1} = \underbrace{k_R \cdot e_k}_{P} + \underbrace{\frac{1}{T_i} \sum e_k}_{S} + \underbrace{T_d \cdot \Delta e_k}_{D}$$

$$y = r_0 \left(e(k) + \frac{1}{T_1} \int e(k) + T_D D(k) \right)$$

konštantá P zložky
vozovka
integračná konštantá
derivačná konštantá

Pre porovnanie analógového regulátora s číslicovým regulátorom vid' nasledujúci vzťah. V spojitý regulácii platí vzťah, čiže vidíme že u analógového regulátora ide o spojitý matematické vyjadrenie a nasledujúci vzťah hovorí teda že proporcionálna zložka ostáva pre vzorku $k+1$, ale integrál sa mení na sumu, čiže súčet všetkých zložiek až po e_k . Zložka číslicového regulátora sa obmedzuje na deltu, čiže rozdiel posledných dvoch vzoriek ... a keď sa pozrieme na obidve vzťahy tvoria to isté, že výstup regulovanej veličiny závisí od spojitého alebo... matematického spojenia

regulačnej odchýlky. V druhom prípade sme zvedavý akú hodnotu má mať y na vzorke $k+1$. Je len prirodzené, že y_{k-1} závisí od predchádzajúcich hodnôt a aktuálnej hodnoty regulačnej odchýlky. Čím máme menšiu dobu vzorkovania, tým sa viac priblížime k spojitému spracovaniu, ktoré by sme išli a je daná vnútorným odporom.

Uvedieme si dve najčastejšie podoby číslicových regulátorov:

1. Ako sme si už predtým hovorili v plastikovej krabicike s displejom s tlačidlami a vstupno - výstupnou svorkovnicou.
2. Musí mať riadiaci systém PC, IPC PL alebo PL. Ak je to vo forme PC tento musí mať kartu vstupno výstupnú a je k tomu potrebný priemyselny software. Samozrejme šikovnejší programátori si môžu naprogramovať číslicový regulátor v Delphy, C, atď.

2.8 FUZZY REGULÁTORA

Fuzzy regulátora a fuzzy logika majú svoj názov odvodený z angličtiny ako neurčitý, nepresný. Fuzzy logika nenarábajú s presnými hodnotami ale s nepresnými, zahmlenými hodnotami.

Príklad na fuzzy logika – Cúvanie auta do vyhradeného miesta. Vodič rozmýšľa v štýle musí viac vytočiť, menej vytočiť, viac cúvnuť, menej cúvnuť, ešte viac cúvnuť, ale zaujímavé je že aj keď narába s neurčitými hodnotami, dosiahne sa presný výsledok.

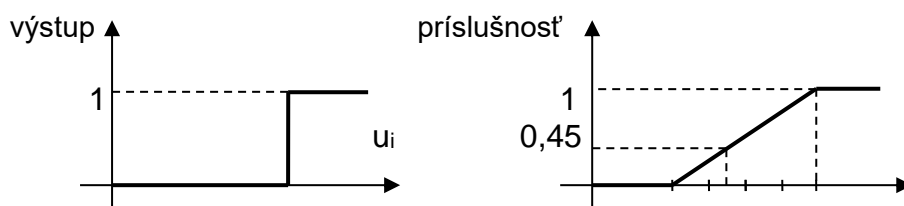
Fuzzy regulátora sa využívajú tam, kde sa veľmi ťažko alebo vôbec nedá popísať matematicky technologický proces. Zoberme si ABS systém. Do regulátora vstupuje aktuálny stav vozovky, aktuálny stav motorového vozidla a aktuálny stav vodiča. Takýto systém sa nedá matematicky popísať.

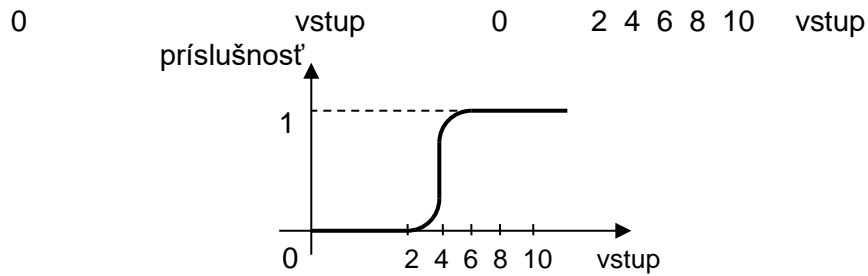
Skúsme teraz porovnať dvojhodnotovú teda lineárnu logiku a fuzzy. Majme tri snímače požiaru v budove s dvojhodnotovým výstupom. Ak požiar nie je, sú vypnuté. Ak je, sú zapnuté (poznámka: snímače snímajú prítomnosť plynov). Podme sa na to pozrieť ako dvojhodnotovo sa vyhodnocuje.

Môžeme si vytýčiť tri stavy: 1. kontrolovať
2. varovanie
3. volať hasičov

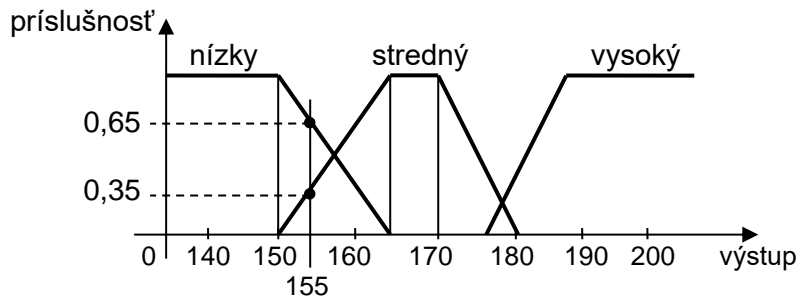
- | | |
|---------------|--|
| 1. Snímač – a | $f1(a,b,c) = abc$ – volať hasičov |
| 2. Snímač – b | $f2(a,b,c) = ab + ac + bc$ - varovanie |
| 3. Snímač – c | $f3(a,b,c) = a + b + c$ - skontrolovať |

Vzniká problém. Čo ak máme ako hlásič signálu snímač so spojitým výstupom 0-10V. Nakreslíme si najprv priebeh od logiky snímačov.



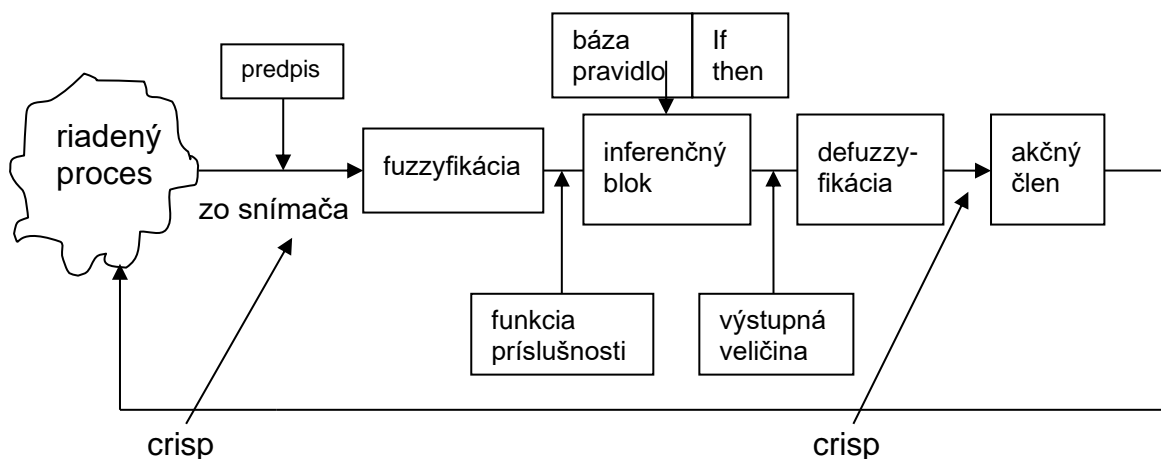


Najnutnejšie je na fuzzy procese na základe pravidiel pre fuzzy logiku, nájsť najvhodnejší tvar krivky príslušnosti. Dva priebehy ukazujú možné tvary k danému problému. Znova sa vráťme k predchádzajúcemu boolovmu príkladu. Na to aby sme dosiahli príslušné funkcie sme použili operáty AND, OR poprípade NOT. Je nutné si uvedomiť, že fuzzy logika takisto používa operáty AND, OR, NOT. Na rozdiel od Boolovej logiky vie pracovať nielen s logickou 0 a s logickou 1, ale aj s číslami z uzavretého intervalu $(0,1)$, čiže s číslami, ktoré dostaneme z funkcií príslušnosti. Na ďalšom obrázku je dôležité to, že sú tam tri skupiny ľudí podľa výšky a tieto tri skupiny nazývame vstupné termy.

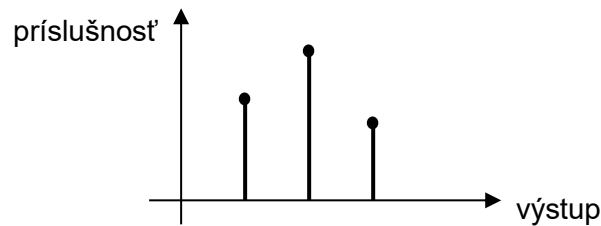


Ďalší význam tohto obrázku spočíva v tom že nemusíme mať jednu krivku príslušnosti, ale viac. Krivky príslušnosti môžu mať aj trojuholníkový alebo lichobežníkový tvar. Ďalší význam tohto obrázka je, že sú nakreslené pre väčší počet vstupných termov. Zvyčajne sa ide maximálne po sedem. Je to kvôli tomu, že človek pri riešení problému stráca prehľad a neorientuje sa spoľahlivo v probléme.

Podme si zhrnúť celý fuzzyfikačný proces. V procese snímačmi zbierame presné vstupné hodnoty. Tieto cez funkcie príslušnosti sfuzzyfikujeme a pomocou pravidiel if, then a logiky AND, OR, NOT vstupujúcich do inferenčného bloku dostávame výstupnú funkciu príslušnosti z ktorej po defuzzyfikácii dostávame presnú hodnotu a túto dávame do akčného člena.



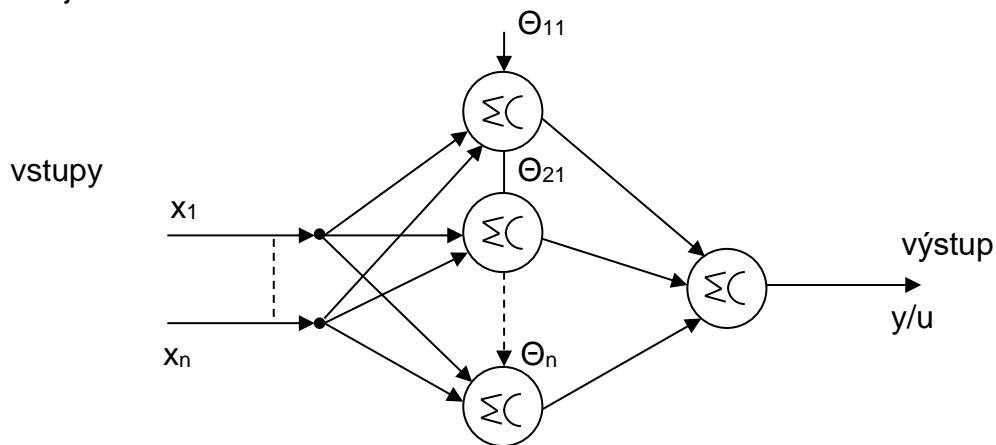
Báza pravidiel typu if, then – môže to byť v štýle ako: Výkon motora je veľký a vozovka je rovná a suchá rýchlosť je vysoká alebo ak voda v práčke je zakalená, potom vypusť vodu a opakuj plákanie. Výstupné funkcie príslušnosti majú tvar ako vstupné funkcie príslušnosti ale môžu byť aj v tvare ktorý používa singleton.



Vo fuzzy logike sa používajú dvojpolohové a trojrozmerné funkcie príslušnosti.

2.9 NEURO REGULÁTORY

Ich princíp je založený na umelých neurónových sieťach (UNS). UNS sú odvodené od štruktúry ľudského mozgu, kde sa nachádzajú bunky mozgu, ktoré sa volajú soma a sú prepojené medzi bunkami sinapsami. Čím viac prepojov, tým viac vedomostí. Neuro regulátory odstraňujú nedostatok fuzzy regulátorov a tým je že sa nedokážu učiť. Na nasledujúcom obrázku je nakreslená štruktúra jednoduchovej trojvrstvej UNS.



Do tohto obrázka vstupujú vstupy $x_1 \dots x_n$ a vstupuje aj v prípade že ide o regulátor, môže to byť u . Túto nervovú sieť si dokážeme popísať nasledujúcou rovnicou, ktorá hovorí že hodnota výstupu je daná súčtom súčinov hodnoty neurónov a jeho váhy.

$$0_{i^{k+1}} = f(\sum_{j=1}^n w_{ij}^k + 0_j^k - \theta^{k+1})$$

$$0 < j < M$$

$$0 < i \leq N$$

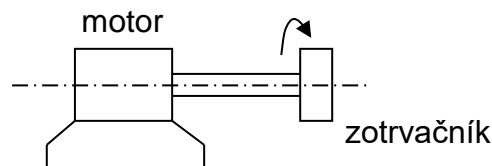
θ^{k+1} – prah excitácie (vybudenie, citlivosť) neurónom $k+1$ vrstvy
 k – index vrstvy
 w_{ij}^k – váha spojenia medzi i -tým neurónom k -tej vrstvy a i -tým

O_i^{k+1} – výstupná hodnota i-tého neurónu k+1 vrstvy
 neurónom k+1 vrstvy
 \int - funkcia

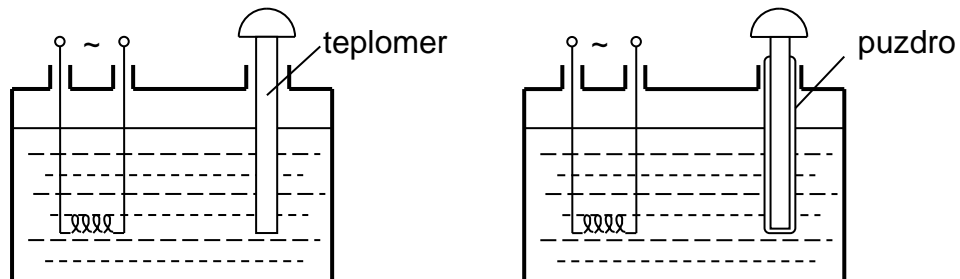
Veľkou nevýhodou UNS je, že sa veľmi dlho učia, avšak keď sa spoja s fuzzy logikou, tento proces sa mnohonásobne urýchli, takže lepšie ako tento regulátor je urobiť neuro-fuzzy regulátor, kde týmto spojením sa odbúra neschopnosť fuzzy učiť sa. Takže neuro-fuzzy regulátor je spojenie fuzzy regulátora a UNS.

Fyzická predstava. Na fuzzy neuro a neuro-fuzzy potrebujeme fyzický počítač, software a keď je to dané do reálneho procesu, tak aj vstupno-výstupnú kartu. Neurónové siete sa najprv nastavujú na základnú hodnotu vedomostí a oni sú schopné na základe dedukcie a predikcie (predpovedanie), čiže si už vytvárajú bázu vedomostí, teda hovoríme že sa učia.

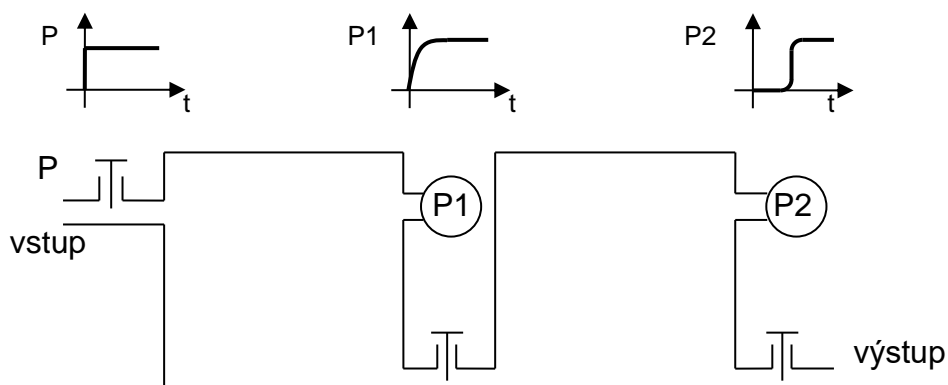
2.10 DODATOK K REGULOVANÝM SÚSTAVÁM

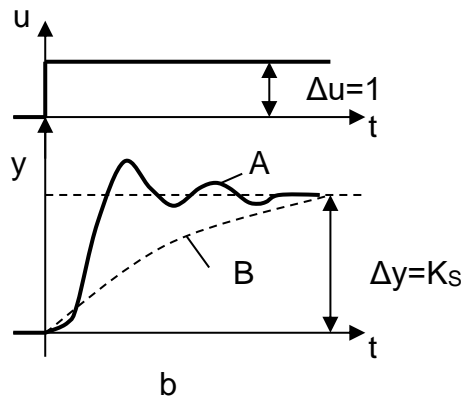
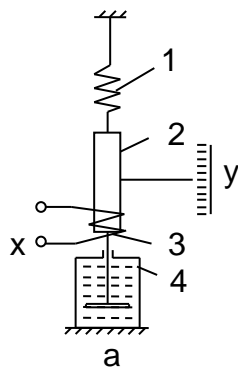


Motor so zotrvačníkom je sústava prvého rádu, alebo kapacitná, pretože otáčky strmo narastajú, ale proti otáčkam motora pôsobí zotrvačník. Ďalšie dva obrázky nám ukazujú rozdiel medzi sústavou prvého rádu a druhého rádu. Ak je snímač priamo v médiu, tak ide o sústavu prvého rádu. Ak by bol snímač v púzdre, tak ide o sústavu druhého rádu.

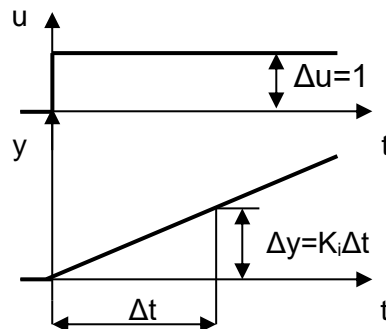
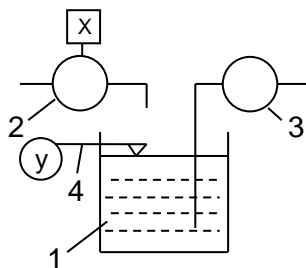


Následný obrázok ukazuje dve tlakové nádoby, ktoré sa ako celok správajú ak statická sústava druhého rádu.





dvojkapacitná statická sústava
 a, príklad sústavy; b, prechodová charakteristika
 1 – pružina; 2 – železné jadro; 3 – cievka; 4 – olejový
 tlmič; A – malé tlmenie; B – veľká tlmenie

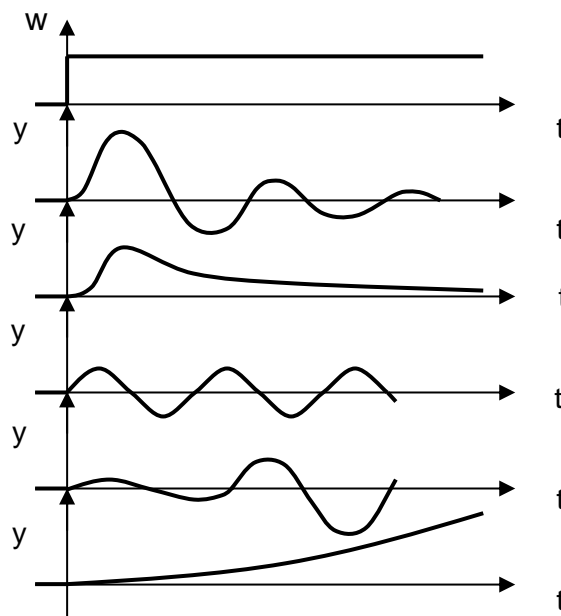


jednokapacitná astatická sústava
 a, príklad sústavy; b, prechodová charakteristika
 1 – nádrž, 2 – regulačné čerpadlo, 3 – neregulačné čerpadlo, 4 – snímač hladiny

2.11 KVALITA A STABILITA REGULAČNÝCH PROCESOV

Kvalita a stabilita regulačných procesov sú pojmy spojené s regulačnými procesmi. Zjednodušene povedané stabilita je o tom, že či hodnotu, ktorú predpíšeme na vstupe, máme aj na výstupe, ale či z časového hľadiska a pôsobenia porúch sa výstup drží. Kvalita regulačného procesu je dominantná a to, čo za to aby koľko energie musíme dodať nato, aby sme dodržali $w=y$ teda $e=0$.

2.11.1 STABILITA REGULAČNÝCH PROCESOV



Pohľad na priebeh. Ak na reg. obvod náhle zapôsobí skoková zmena poruchy, tak v prvom priebehu v reg. dole periodicky statický proces, kde síce porucha na regulovanej veličine zapôsobí. Toto zakmitá ale obvod je schopný odbúrať vplyv poruchy. Druhý priebeh je aperiodicky statický. Takisto sa vyrába veľmi dobre s jednotkovým skokom poruchy. Tretí priebeh je na konci s výrazným poklesom. Keď vidíme, že obvod sa vyrovnal k priesečníku s poruchou a následné dva priebehy, obvod nie je schopný sa vyrovnat' s pôsobením poruchy. Štvrtý priebeh periodický nepôsobí, piaty je aperiodicky nestabilný.

Všetky tieto krivky môžeme aplikovať na miestach, kde chceme držať 21°C a práve držíme okno, pričom vonku je teplota pod nula.

Na zisťovanie stability regulačných systémov v automatizácii používané niekoľko kritérií. Budú prebrané v neskorších kapitolách.

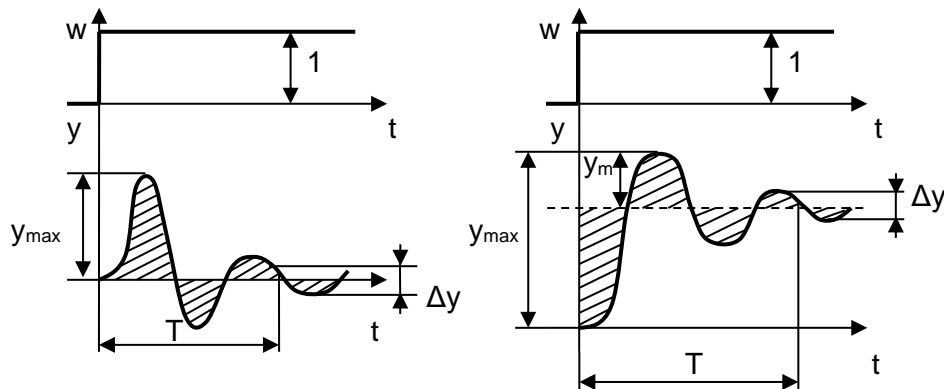
2.11.2 KVALITA REGULAČNÝCH PROCESOV

V praxi existujú rôzne metódy posudzovania kvality regulačného procesu. Vzhľadom na to, že veľmi často posudzujeme kvalitu regulačného procesu z prechodovej charakteristiky, použijeme na posúdenie jeho kvality tieto kritéria:

- minimálne preregulovanie y_m ,
- minimálna regulačná plocha (na nasledujúcom obrázku vyšrafovaná plocha)
- minimálny čas regulácie

Zatiaľ čo prvé dve kritériá sú jednoznačné, pre jednoznačnosť tretieho z nich (čas regulácie) musíme určiť, kedy považujeme regulačný proces za skončený. Čas regulácie definujeme ako čas, za ktorý sa odchýlka regulovanej veličiny po danom vzruchu natrvalo zmenší pod hodnotu necitlivosti regulátora alebo pod inú stanovenú hodnotu (Δy_P).

Ak by sa podarilo splniť všetky kritériá súčasne, hovoríme, že získaný regulačný proces je optimálny. Ak však urobíme rozbor jednotlivých kritérií, zistíme, že ich požiadavky sú navzájom protichodné. Z toho vyplýva, že nemôžeme posudzovať určitý regulačný proces tak, aby súčasne vyhovoval všetkým uvedeným kritériám.



Optimálny regulačný proces

Preto podľa druhu regulovanej veličiny a účelu regulovanej sústavy zvolíme jedno z kritérií za hlavné a na ostatné kritériá len prihliadneme. Napríklad pri regulácii veličín požadujeme predovšetkým čo najmenšie preregulovanie, pretože pri väčšom napätí by sa mohli poškodiť prístroje. Pri regulácii pohonov naopak nás zaujíma predovšetkým krátky čas regulácie až na druhom mieste je veľkosť preregulovania. Pri regulácii kladíme dôraz na čo najmenšiu regulačnú plochu, pretože jej veľkosť priamo súvisí s odchýlkou pretečeného množstva.

2.11.3 VOĽBA TYPU REGULÁTORA

Typ regulátora má značný vplyv na kvalitu regulačného procesu. Pripomeňme si, že v praxi sa používajú regulátory P, PI, PD, PID a menej častejšie I. regulátory so širokými možnosťami nastavenia jednotlivých konštánt (charakteristických veličín) síce umožnia realizáciu kvalitného procesu, sú však drahé a zložité a vyžadujú kvalifikovanú obsluhu i údržbu. V niektorých prípadoch ani použitie drahých regulátorov nevedie ku zlepšeniu kvality regulačného procesu. Jednoduché, a teda i lacné regulátory sa ľahko nastavujú, ale majú tú nevýhodu, že často nie sú schopné zvládnuť danú regulačnú úlohu. Preto je voľba vhodného regulátora pomerne zložitá.

Napríklad keby sme použili PD regulátor v statickej sústave, P regulátor by pracoval ale D regulátor bude trochu pracovať na začiatku, ale potom prestane. PD regulátor sa hodí skôr do astatickej sústavy. Do statickej sústavy sa hodí PI regulátor. Čo sa týka čísla rádu, to nás nemusí trápiť. Dôležité je len to či sa jedná o statickú alebo astatickú sústavu.

Voľba typu regulátora podľa vlastností regulovanej sústavy.

Regulovaná sústava	Regulátor				
	P	I	PI	PD	PID
statická bezkapacitná	nie je stabilný	vhodný	nákladný	nákladný	nákladný
statická jedno-kapacitná	vhodný	vhodný	nákladný	nákladný	nákladný
statická dvoj-kapacitná	vhodný	použiteľný s obmedzením	vhodný	vhodný	vhodný
statická s dvo-pravným oneskorením	nie je stabilný	použiteľný s obmedzením	použiteľný s obmedzením	vhodný	vhodný
astatická jednodkapacitná	vhodný	nie je stabilný	vhodný za predpokladu, že nie je možné použiť regulátor P		
astatická dvoj-kapacitná	použiteľný s obmedzením	nie je stabilný	vhodný za predpokladu, že nie je možné použiť regulátor P		

Aby sme prispeli k uľahčeniu tejto voľby, uvedieme si aspoň niektoré hľadiská, ktoré ju ovplyvňujú.

Pre voľbu typu regulátora sú rozhodujúce predovšetkým požiadavky na kvalitu regulačného procesu – musíme vedieť, či možno pripustiť regulačný proces s trvalou regulačnou odchýlkou. Ak nemožno, musíme voliť typ regulátora obsahujúci integračnú zložku, v opačnom prípade túto zložku regulátor obsahovať nemusí.

Ďalej môžeme voliť typ regulátora podľa vlastností regulovanej sústavy, ako je uvedené v hornej tabuľke.

Voľbu typu regulátora ovplyvňuje i druh regulovanej veličiny, ktorú má volený regulátor regulovať. To vidieť z nasledujúcej tabuľky.

Voľba typu regulátora podľa druhu regulovanej veličiny.

Regulovaná sústava	Regulátor				
	P	I	PI	PD	PID
tlak	pužiteľný	vhodný	vhodný pre väčšie nároky	nevhodný	nevhodný
teplota	vhodný	nevhodný	vhodný pre väčšie nároky	vhodný pre väčšie nároky	vhodný pre väčšie nároky
prietok	nevhodný	vhodný	nevhodný	nevhodný	nevhodný
výška hladiny	vhodný	nevhodný	vhodný pre väčšie nároky	nevhodný	nevhodný
obráky	vhodný	vhodný	vhodný pre väčšie nároky	vhodný pre väčšie nároky	vhodný pre väčšie nároky

2.11.4 OPTIMÁLNE NASTAVENIE REGULÁTORA

Nastavenie regulátora spočíva vo vhodnom nastavení jeho konštánt (charakteristických veličín) p_p , T_i , T_d tak, aby získaná regulačný proces prebiehal čo najpriaznivejšie. V praxi sa môžeme stretnúť s rôznymi metódami nastavenia týchto konštánt. V zásade ich môžeme rozdeliť do dvoch skupín podľa toho, či konštanty regulátora stanovíme na základe výpočtu.

NASTAVENIE KONŠTÁNT REGULÁTORA NA ZÁKLADE SKÚSENOSTI

Táto metóda vychádza zo skúsenosti, získaných pri nastavovaní regulátorov v regulačných obvodoch podobných obvodu, ktorého regulátor má byť nastavený. Pre nastavenie pomocou tejto metódy môžeme vo väčšine bežných prípadov využiť doporučené hodnoty, ktoré sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Doporučené konštanty regulátora získané na základe skúseností

Regulovaná veličina	p_p (%)	T_i (min)	T_d (min)
tlak	20 až 150	0,1 až 3	0,01 až 0,1
teplota	5 až 50	1 až 20	0,1 až 3
prietok	20 až 150	0,1 až 1	0,01 až 0,1
výška hladiny	80 až 170	0,5 až 6	0,01 až 0,1

NASTAVENIE KONŠTÁNT REGULÁTORA NA ZÁKLADE VÝPOČTU

V praxi existuje niekoľko metód, ktorými možno na základe jednoduchého výpočtu stanoviť konštanty regulátora. Tieto metódy možno v podstate rozdeliť do dvoch skupín. Prvú skupinu tvoria metódy vychádzajúce z predpokladu, že charakteristické veličiny regulovanej sústavy poznáme. Druhú skupinu tvoria metódy

vychádzajúce z predpokladu, že charakteristické veličiny regulovanej sústavy nepoznáme. Konštanty pre nastavenie regulátora sa potom vypočítajú pomocou vzťahov, uvedených v nasledujúcej tabuľke.

typ re- gulátora	Regulačný pochod			
	aperiodický s najkratšou dobou		periodický s 20 %	preregulovaním
	zmena zaťaženia	zmena nastave- nej hodnoty	zmena zaťaženia	zmena nastave- nej hodnoty
P	$pp = 330T_u/T_n$	$pp = 330T_u/T_n$	$pp = 140T_u/T_n$	$pp = 140T_u/T_n$
PI	$pp = 170T_u/T_n$ $T_d = 4,0T_u$	$pp = 170T_u/T_n$ $T_d = 1,2T_n$	$pp = 140T_u/T_n$ $T_d = 2,3T_n$	$pp = 140T_u/T_n$ $T_d = 1,0T_n$
PD	$pp = 105T_u/T_n$ $T_d = 0,25T_u$	$pp = 170T_u/T_n$ $T_d = 0,29T_u$	$pp = 83T_u/T_n$ $T_d = 0,25T_u$	$pp = 105T_u/T_n$ $T_d = 0,27T_u$
PID	$pp = 105T_u/T_n$ $T_i = 2,2T_u$ $T_d = 0,42T_u$	$pp = 170T_u/T_n$ $T_i = 1,0T_u$ $T_d = 0,5T_u$	$pp = 83T_u/T_n$ $T_i = 2,0T_u$ $T_d = 0,42T_u$	$pp = 105T_u/T_n$ $T_i = 1,35T_u$ $T_d = 0,47T_u$

Príklad 1:

Na zariadení na ohrev vzduchu bol nameraný čas prietahu $T_u = 30s$ a čas nábehu $T_n = 200s$. Žiadaná teplota je $250^\circ C$, maximálna teplota pri plnom výhrevnom výkone je $400^\circ C$. Z prevádzkových dôvodov treba udržiavať teplotu čo najpresnejšie.

Riešenie:

Pre reguláciu tejto sústavy zvolíme regulátor PID a s pomocou predošlej tabuľky vypočítame konštanty pre jeho nastavenie za predpokladu, že požadujeme aperiodický regulačný proces. Platí

$$pp = 105 \frac{T_u}{T_n} = 105 \frac{30}{200} \doteq 15,75\%$$

$$T_i = 2,2 \cdot T_u = 2,2 \cdot 30 = 1,1 \text{ min}$$

$$T_d = 0,45 \cdot T_u = 0,42 \cdot 30 = 0,21 \text{ min}$$

Vypočítane konštanty nastavíme na regulátore.

Táto metóda dáva v praxi veľmi dobré výsledky. Navyše môžeme zvoliť, či má mať regulačný proces periodický alebo aperiodický priebeh. Metóda rešpektuje spôsob vyvolania regulačného procesu (či bol vyvolaný zmenou zaťaženia alebo zmenou žiadanej – nastavenej – hodnoty regulovanej veličiny). Jedinou nevýhodou je skutočnosť, že na jej aplikáciu bezpodmienečne musíme poznať charakteristické veličiny regulovanej sústavy. Väčšinou tieto veličiny nevieme presne vypočítať, preto ich zisťujeme meraním na sústave v prevádzke.

Ak nie je možné charakteristické veličiny regulovanej sústavy získať, používajú sa pre nastavenia konštant regulátora iné metódy, napr. Zieglerova-Nicholsova metóda. Táto metóda vychádza z dvoch veličín a to z kritického pásma proporcionality (pp_{kr}) a z kritickej periódy kmitov (T_{kr}).

Zistíme ich týmto postupom:

1. Konštanty združeného regulátora nastavíme tak, aby regulátor pracoval ako proporcionálny ($T_i = \infty$, $T_d = 0$).

2. Na regulátore nastavíme ľubovoľné pásmo proporcionality.

2. V regulačnom obvode vyvoláme regulačný proces (najlepšie nepatrnou zmenou žiadnej hodnoty) a prostredníctvom zapisovacieho prístroja sledujeme jeho priebeh.

4. Ak nenastane regulačný proces na hranici stability, zmeníme (spravidla zúžime) pásmo proporcionality a v regulačnom obvode znova vyvoláme regulačný proces

5. Tento postup opakujeme dovtedy, kým nezískame regulačný proces na hranici stability. Pásmo proporcionality, pri ktorom tento proces nastal, je kritické pásmo proporcionality a jeho perióda je kritická perióda.

6. Konštanty pre nastavenie regulátora vypočítame pomocou nasledujúcej tabuľky.

Výpočet konštánt pre nastavenie regulátora Zieglerovej-Nicholsovej metódy

Regulátor	pp(%)	T_i (min)	T_d (min)
P	$pp = 1,0pp_{kr}$	--	--
PI	$pp = 2,2pp_{kr}$	$T_i = 0,85 T_{kr}$	--
PD	$pp = 1,6pp_{kr}$	--	$T_d = 0,12 T_{kr}$
PID	$pp = 1,7pp_{kr}$	$T_i = 0,50 T_{kr}$	$T_d = 0,12 T_{kr}$

Príklad 2:

Určte konštanty regulátora PID, ak meraním na regulačnom obvode sa zistilo: $pp_{kr} = 30\%$, $T_{kr} = 1$ min.

Riešenie:

$$pp = 1,7pp_{kr} = 51\%$$

$$T_i = 0,50T_{kr} = 0,5 \text{ min}$$

$$T_d = 0,12T_{kr} = 0,12 \text{ min}$$

Vypočítané konštanty nastavíme na regulátore.

Prehľad regulačných pochodov pri správnom nastavení regulátora a pri chybnom nastavení regulátora

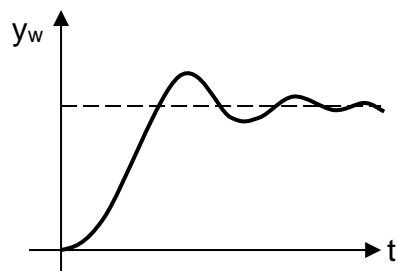
Nastav reg.	Regulátor			
	P	PI	PD	PID
správne				
chybné				
chybné				

SKÚSENOSTÍ PRI NASTAVOVANÍ REGULÁTORA

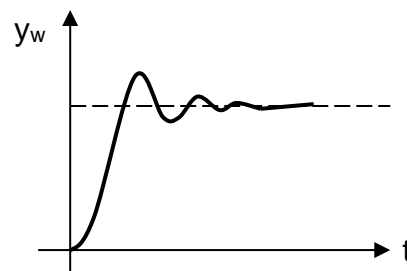
Nastavenie regulátora podľa uvedených metód dáva vo väčšine prípadov dobré výsledky. Napriek tomu sa v niektorých prípadoch získaný regulačný proces líši od optimálneho regulačného procesu, a preto treba nastavenie konštánt regulátora dodatočne opraviť. Na to môžeme využiť predošlú tabuľku, v ktorej sú uvedené regulačné procesy pri správnom a pri nesprávnom nastavení regulátora.

Na záver možno povedať, že pri priemernom regulačnom procese má regulovaná veličina po dosiahnutí žiadanej hodnoty ešte dvakrát až štyrikrát zakmitať a potom sa ustáli. Ak však chceme dosiahnuť rýchlu reguláciu a nie je pritom chybou častejšie krátke zakmitanie, nastavíme dvakrát kratšiu integráciu. V tom prípade býva obyčajne $T_d = 0$. Naopak, ak chceme zvlášť pokojný regulačný proces (vhodný na reguláciu teploty alebo výšky hladiny), zväčšime p_p a T_d o polovicu.

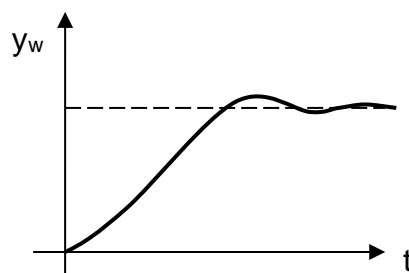
Regulačné procesy



a, optimálny



b, rýchly



c, pokojný

2.11.5 ZÁKLADNÉ POJMY UVEDENÉ V STATI 2.11

Pojem	Označenie	Definícia
Stabilný regulačný proces		Proces, pri ktorom regulovaná veličina dosiahne v konečnom čase prakticky ustálený stav, ak sú vstupné veličiny v ustálenom stave
Nestabilný regulačný proces		Proces, ktorý nevyhovuje podmienkam uvedeným v definícií stabilného regulačného procesu.
Čas regulácie	(T)	Čas, po ktorom sa odchýlka regulovanej veličiny po danom vzruchu trvale zmenší pod necitlivosť regulátora alebo pod inú stanovenú hodnotu.

3 MATEMATICKÉ PROSTRIEDKY PRE POPIS A RIEŠENIE REGULAČNÝCH OBVODOV

3.1 SPÔSOBY OPISU SPOJITÝCH (ANALOGOVÝCH) REGULAČNÝCH OBVODOV A ICH ČASTÍ

Dynamické vlastnosti spojitého regulačného obvodu alebo jeho jednotlivých členov (všeobecne: systémov), môžeme vyjadriť týmito spôsobmi:

1. Diferenciálna rovnica
2. Prenosová funkcia
3. Prechodová charakteristika (ozva na jednotkový skok)
4. Impulzná charakteristika (ozva na jednotkový skok)
5. Frekvenčná prechodová funkcia

6. Frekvenčná charakteristika v komplexnej rovine
7. Amplitúdová frekvenčná charakteristika a fázová frekvenčná charakteristika v logaritmických súradniciach

Diferenciálna rovnica lineárneho systému (rovnica s konštantnými koeficientmi) vyjadruje vzťah medzi výstupnou a vstupnou veličinou. Má tvar:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n+1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0$$

y - výstupná veličina a je to funkcia času

x - vstupná veličina a je to funkcia času

$\frac{d^k}{dt^k}$ - symbol k-tej derivácie podľa času

a_k, b_k - koeficienty

n - rád diferenciálnej rovnice

Pri reálnych systémoch platí $m \leq n$.

Riešením tejto diferenciálnej rovnice získame časový priebeh funkcie $y = f_2(t)$, ak je zadaný priebeh vstupnej veličiny $x = f_1(t)$.

Ako základné vstupné funkcie používame:

- jednotkový skok,
- jednotkový impulz (Diracov impulz).

Jednotkový impulz je derivácia jednotkového skoku.

Podľa tvaru diferenciálnej rovnice môžeme lineárne systémy rozdeliť takto:

a) Statické systémy

Pre tieto systémy platí $a_0 \neq 0$. Ak na ich vstup privedieme jednotkový skok, ustáli sa výstupná veličina na konečnej hodnote $K = \frac{b_0}{a_0}$, ktorá vyjadruje súčiniteľ zosilnenia systému.

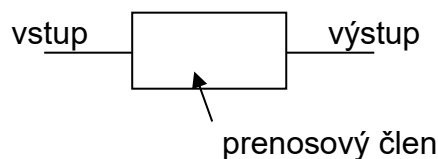
b) Astatické systémy

Pre tieto systémy platí $a_0 = 0$. Ak na ich vstup privedieme jednotkový skok, výstupná veličina sa neobmedzene zväčšuje.

c) Systémy s dopravným oneskorením

Pre tieto systémy platí $y = f_2(t)$, $x = f_1(t - T_z)$, kde T_z je časová konštanta dopravného oneskorenia. Priebeh výstupnej veličiny je teda oproti vstupnej veličine oneskorený o čas T_z .

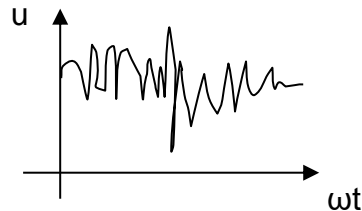
1.



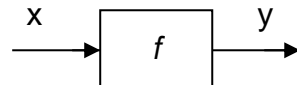
- prenosový člen používame preto, lebo potrebujeme navrhnuť regulačný obvod a pri jeho návrhu používame skôr uvedené metódy. Tento člen sme popisovali jednoduchou

funkciou. V tomto prípade môže byť prenosový člen generátor, ktorý vyrába sínus.

Príklad: Zoberme si, že máme takúto zložitú funkciu. Tento priebeh hovorí, že nám takúto funkciu nemusí vyhladzovať. Preto musíme korigovať jej nepriaznivé vlastnosti. Zaradením ďalšieho modulu sa prenosový člen, ktorý tieto nepriaznivé vlastnosti odstráni. Na to aby sme tento korekčný člen mohli pridať, musíme vedieť matematicky popísať nakreslenú funkciu.



Ako vidíme z priebehu, máme tam prudké nárasty a prudké zostupy, čiže integráli a derivácie. Ak chceme popísať klesajúci priebeh, používame derivácie. V matematike sa derivácie zapisujú deriváciou funkcie bežiacej v čase a zapisuje sa s čiarokou. Avšak v automatizácii túto funkciu a tieto výsledky potrebujeme viacnásobne zderivovať. Takže museli by sme pri funkcii derivácie písať veľa čiarok. Aby sme to nerobili, budeme používať inú formu zápisu. Deriváciu funkcie $f(x)$ podľa času, alebo druhá funkcia derivácie $f(x)$ podľa času, alebo n -tá derivácia funkcie $f(x)$ podľa času.



2. prenosová funkcia - túto problematiku si bližšie preberieme v Laplaceovej transformácii.
3. prechodová charakteristika - problematika bola dostatočne prebraná v úvode predmetu.
4. impulzová charakteristika - problematika bola dostatočne prebraná v úvode predmetu.
5. frekvenčná prechodová funkcia – zmienka bola v úvode predmetu, bližší popis po prebratí Laplaceovej transformácii.
6. frekvenčná charakteristika v komplexnej rovine.
7. amplitúdová frekvenčná charakteristika a fázová frekvenčná charakteristika v logaritmickej súradniciach.

4. LAPLACEOVÁ TRANSFORMÁCIA

Význam Laplaceovej transformácie je taký, že zložité vzťahy z matematickej oblasti (v automatizačnej pracujeme v časovej oblasti) pretransformujeme do Laplaceovej oblasti, čím ich vyriešime a výsledky pomocou spätného Laplaceovho slovníka spätne dáme do časovej oblasti.

$$F(p) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt$$

Čítaj vzťah – máme zložitú časovú funkciu $f(x)$ a vzťah hovorí v jednoduchšom Laplaceovom obraze F_p čo v ťažkej časovej funkcii $f(t)$ dospejeme integrovaním časovej funkcie, pričom sa tým vysvetľuje aj Laplacov operátor malé p .

Poznámka: V dodanom Laplaceovom slovníku a v niektorej literatúre sa p zvyklo označovať malým písmenom s .

Ďalej uvedieme pravidlo a vety Laplaceovej transformácie. Obraz jednotkového skoku.

$$L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} 1 \cdot e^{-pt} dt = \left[-\frac{e^{-pt}}{p} \right] = \frac{1}{p}$$

Obraz Diracovej funkcie

Diracová funkcia $\delta(t)$ je funkcia, ktorá sa rovná nule mimo bod $t = 0$ a ktorá pre $t = 0$ nadobúda nekonečne veľké hodnoty. Pre túto funkciu platí $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$

Diracová funkcia $\delta(t)$ sa rovná prvej derivácii jednotkového skoku, t.j. $\delta(t) = \frac{df(t)}{dt}$

Pre obraz Diracovej funkcie platí: $L\{\delta(t)\} = 1$

Obraz mocniny t^n : $L\{t\} = \frac{1}{p^2}$

$$L\{t^n\} = \frac{n!}{p^{n+2}}$$

Dostávame sa k diferenciálnej rovnici v bode 1. Túto môžeme prepísať pomocou Laplaceovej transformačnej metóde.

$$F(p) = \frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + b_{m-2} p^{m-2} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + a_{n-2} p^{n-2} + \dots + a_0}$$

4.1 ALGEBRA BLOKOVÝCH SCHÉM

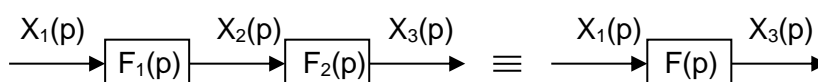
4.1.1 SPOJITÉ OBVODY

SÉRIOVÉ ZAPOJENIE

Ak je niekoľko členov zapojených v obvode za sebou, možno ich nahradiť jediným členom s prenosom, ktorý je daný súčinom prenosov jednotlivých členov (obr.1). Platí:

$$F_1(p) = \frac{X_2(p)}{X_1(p)} \quad F_2(p) = \frac{X_3(p)}{X_2(p)}$$

$$F(p) = \frac{X_3(p)}{X_1(p)} = \frac{X_2(p)}{X_1(p)} \frac{X_3(p)}{X_2(p)} = F_1(p) F_2(p)$$



sériové zapojenie členov (obr. 1)

PARALELNÉ ZAPOJENIE

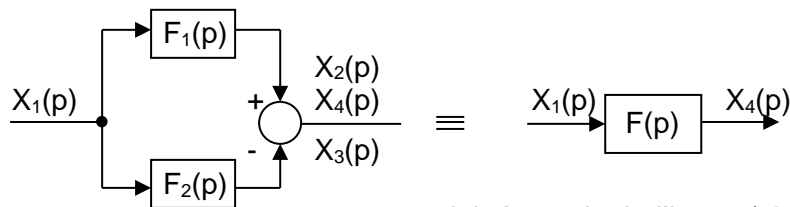
Pri paralelnom zapojení členov je výsledný proces daný súčtom procesov jednotlivých členov (obr. 2). Pre toto zapojenie platia vzťahy:

$$X_2(p) = F_1(p) X_1(p)$$

$$X_3(p) = F_2(p) X_1(p)$$

$$X_4(p) = F_2(p) + X_3(p) = [F_1(p) + F_2(p)] X_1(p) = F(p) X_1(p)$$

$$F(p) = \frac{X_4(p)}{X_1(p)} = F_1(p) + F_2(p)$$



paralelné zapojenie členov (obr. 2)

Zapojenie s jednotkovou zápornou spätnou väzbou

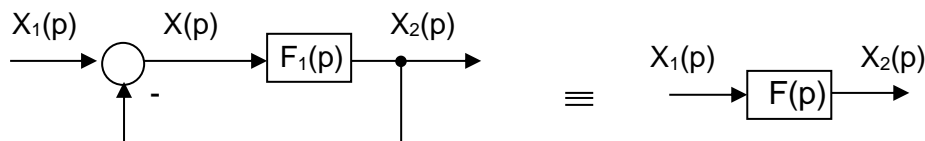
Pre zapojenie podľa obr. 3 platia vzťahy:

$$X(p) = X_1(p) - X_2(p)$$

$$X_2(p) = F_1(p) X(p) = F_1(p) [X_1(p) - X_2(p)]$$

$$X_2(p) + F_1(p) X_2(p) = F_1(p) X_1(p)$$

$$F_1(p) = \frac{X_2(p)}{X_1(p)} = F_1(p) = \frac{F_1(p)}{1 + F_1(p)}$$



zapojenie s jednotkovou zápornou spätnou väzbou (obr. 3)

V prípade jednotkovej kladnej spätnej väzby platí pre výsledný prenos vzťah

$$\frac{F_1(p)}{1 - F_1(p)}$$

Zapojenie so všeobecnou zápornou spätnou väzbou (antiparalelné zapojenie). Pre toto zapojenie platí:

$$X(p) = X_1(p) - X_3(p)$$

$$X_3(p) = F_2(p) X_2(p)$$

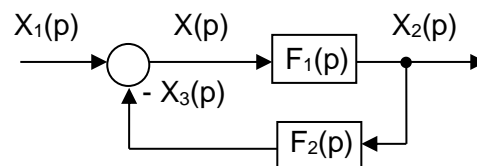
$$X_2(p) = F_1(p) X(p) = F_1(p) [X_1(p) - X_3(p)] = F_1(p)$$

$$[X_1(p) - F_2(p) X_2(p)] = F_1(p) X_1(p) = F_1(p) F_2(p) X_2(p)$$

$$X_2(p) + X_2(p) F_1(p) F_2(p) = F_1(p) X_1(p)$$

$$X_2(p) [1 + F_1(p) F_2(p)] = F_1(p) X_1(p)$$

$$F_2(p) = \frac{X_2(p)}{X_1(p)} = \frac{F_1(p)}{1 + F_1(p) F_2(p)}$$



antiparalelné zapojenie (obr. 4)

Pravidlá pre výpočet prenosu uvedených zapojení spravidla stačia na určenie výsledných prenosov zložitejších blokových schém. Možno však použiť aj toto jednoduché pravidlo pre stanovenie celkového prenosu zložitého obvodu.

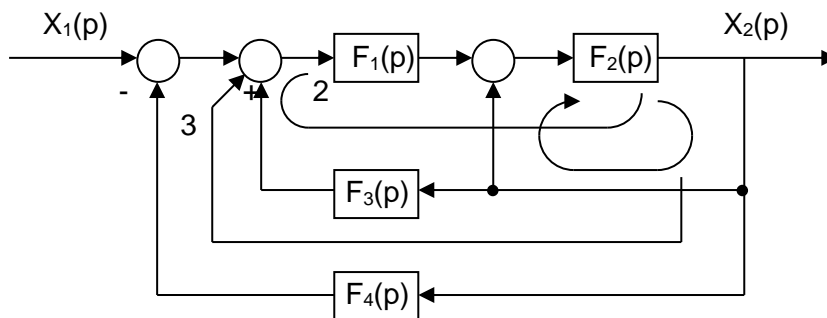
Výsledný prenos je daný zlomkom, v ktorého čitateli je uvedený prenos priamej cesty a v menovateli je jednotka, ku ktorej sa pripočítajú (pre kladné spätné väzby odpočítajú) prenosy všetkých uzavretých spätnoväzbových slučiek. Platí:

$$F(p) = \frac{\text{prenos priamej cesty}}{1 \pm \text{prenosy jednotlivých spätnoväzbových slučiek}}$$

Použitie tohto pravidla ukážeme neskôr na antiparalelnom zapojení. Prenos priamej cesty (ideme v smere šípiek od vstupu k výstupu) je $F_1(p)$. spätnoväzbová slučka je jedna, s prenosom $F_1(p) F_2(p)$. Pretože väzba je záporná, bude za jednotkou v menovateli kladné znamienko.

$$F(p) = \frac{F_1(p)}{1 + F_1(p)F_2(p)}$$

Výhodné je použiť uvedené pravidlo pri zložitejších obvodoch (obr. 5)



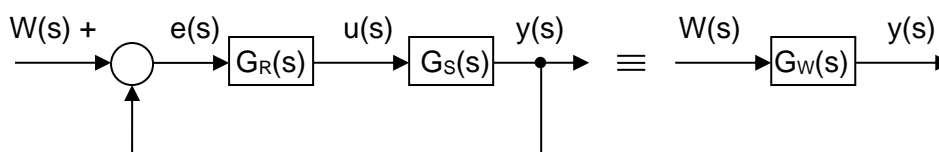
bloková schéma zložitejšieho obvodu (obr. 5)

Zaujímá nás výsledný prenos $F(p) = \frac{X_2(p)}{X_1(p)}$. postupujeme tak, že najskôr určíme prenos priamej cesty od vstupu $X_1(p)$ k výstupu $X_2(p)$. V tejto ceste sú členy s prenosmi $F_1(p)$ a $F_2(p)$ zapojené sériovo, takže prenos priamej cesty je daný ich súčinom $F_1(p) F_2(p)$. Ďalej v obvode sú tri spätnoväzbové slučky (postupujeme vždy v smere šírenia signálov). Prvá spätná väzba je záporná s prenosom $F_2(p)$. druhá spätná väzba s prenosom $F_1(p) F_2(p) F_3(p)$ je kladná a tretia s prenosom $F_1(p) F_2(p) F_4(p)$ je opäť záporná. Výsledný proces je teda

$$F(p) = \frac{X_2(p)}{X_1(p)} = \frac{F_1(p)F_2(p)}{1 + F_2(p) - F_1(p)F_2(p)F_3(p) + F_1(p)F_2(p)F_4(p)}$$

4.2 PRENOSOVÉ FUNKCIE

V tejto kapitole budeme aplikovať poznatky z predošlej kapitoly.



$v(s) = 0$ - túto podmienku sme prijali

$$y(s) = u(s) G_S(s)$$

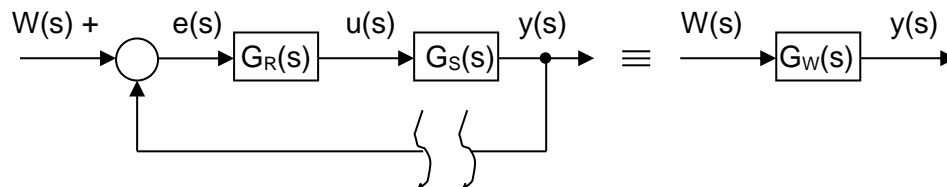
$$u(s) = e(s) G_R(s)$$

$$e(s) = w(s) - y(s) \Rightarrow y(s) = w(s) - e(s)$$

$$G_W(s) = \frac{y(s)}{w(s)} = \frac{w(s) \cdot G_S(s)}{e(s) + y(s)} = \frac{w(s) G_S(s)}{\frac{u(s)}{G_R(s)} + u(s) G_S(s)} / u(s)$$

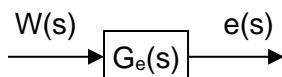
$$G_W(s) = \frac{G_S(s) \cdot G_S(s)}{1 + G_R(s) G_S(s)} = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)}$$

$$G_0(s) = G_S(s) \cdot G_R(s)$$



odvodený východzí stav

PRENOSOVÁ FUNKCIA OD REGULAČNÝCH VELIČÍN

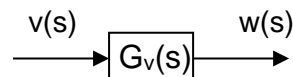


$$v(s) = 0$$

$$G_e(s) = \frac{e(s)}{w(s)} = \frac{w(s) - y(s)}{w(s)} = 1 - \frac{y(s)}{w(s)} = 1 - \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)} = \frac{1 + G_e(s) \cdot G_0(s)}{1 + G_0(s)}$$

$$G_e(s) = \frac{1}{1 + G_0(s)}$$

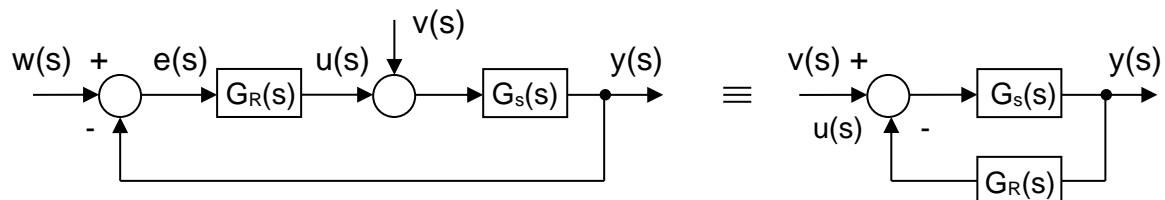
PRENOSOVÁ FUNKCIA OD PORUCHOVEJ VELIČINY



$$u(s) = y(s) G_R(s)$$

$$y(s) = [v(s) + u(s)] G_S(s)$$

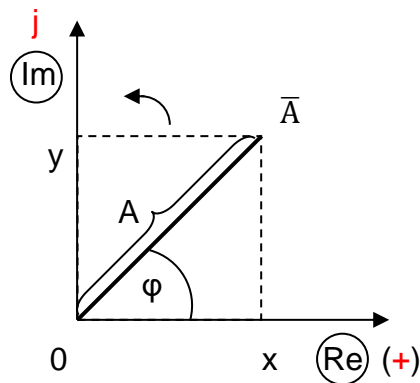
$$v(s) = \frac{y(s) - u(s) G_S(s)}{G_S(s)}$$



$$G_V(s) = \frac{y(s)}{v(s)} = \frac{y(s)}{\frac{y(s) - u(s) G_R(s)}{G_S(s)}} = \frac{y(s) G_S(s)}{y(s) - y(s) G_S(s)} = \frac{y(s) G_S(s)}{y(s) - y(s) G_R(s) G_S(s)}$$

4.2.1 MALÉ MATEMATICKÉ REPETITORIUM

KOMPLEXNÉ ČÍSLA



$$|A| = \sqrt{x^2 + y^2}$$
$$A = \sqrt{x^2 + y^2}$$
$$x = A \cos \varphi$$
$$y = A \sin \varphi$$

Na obrázku je nakreslený vektor A nachádzajúci sa v komplexnej rovine s indexmi $+$ (Reálna) a j (imaginárna zložka) Jeho veľkosť je A .

Ak to chceme matematicky popísať tak:

$$\vec{A} = \vec{X} + \vec{Y}$$

\vec{A} -označenie pre vektor.

Znamená to ,že vektor A zložíme spočítaním vektorov X a Y .

Priemet A do x roviny získame ako $A \cdot \cos \varphi$

Priemet A do roviny y získame ako $A \cdot \sin \varphi$

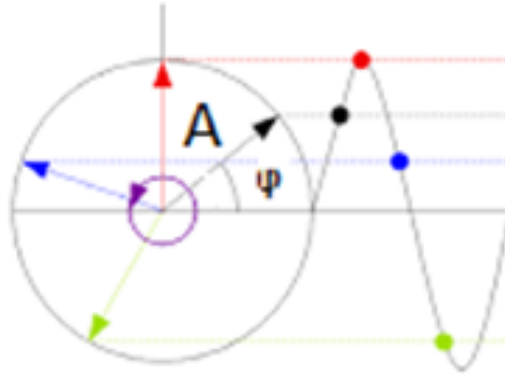
Tieto dva priemety môžeme zapísať:

$$\bar{A} = A \cos \varphi + jA \sin \varphi$$

To j tam musí byť, pretože ide o komplexnú rovinu

V elektrotechnike veľmi často používané komplexné čísla pri popise veličín striedavej sústavy.

Ak necháme tento vektor rotovať konštantnou rýchlosťou okolo bodu 0, tak nám bude vykresľovať funkciu sinus alebo cosínus rozkreslenú v čase. (cosínus by bol posunutý voči sínusovka o $\pi / 4 \text{ rad} = 45^\circ$)



$$\bar{A} = A \cos \varphi + jA \sin \varphi = A(\underbrace{\cos \varphi + j \sin \varphi}_{e^{j\varphi}})$$

$\bar{A} = A \cdot e^{j\varphi}$ - toto platí ak vektor stojí.

Ak vektor rotuje uhlovou rýchlosťou ω , tak potom:

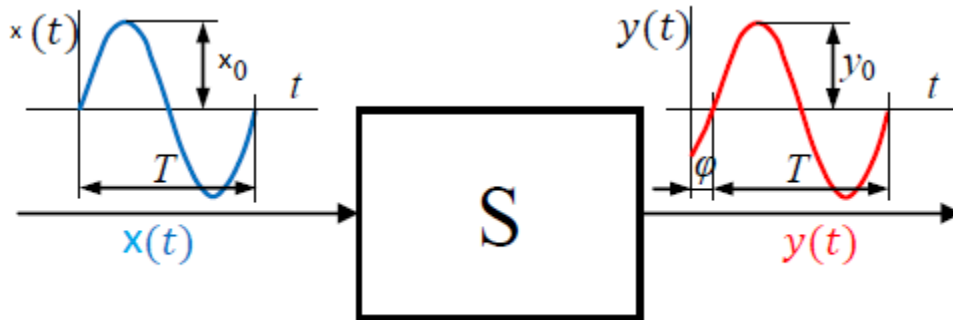
$$\bar{A} = A \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}$$

$j = \sqrt{-1}$ (v matematike sa používa i, elektrikári používajú j)

$$\begin{aligned} j^2 &= -1 \\ j^3 &= -j \\ j^4 &= 1 \\ j^5 &= j \end{aligned}$$

FREKVENČNÝ PRENOS

Pomer výstupného fázora $y = Y \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}$ ku vstupnému fázoru $x = X \cdot e^{j\omega t}$ sa nazýva frekvenčný prenos $F(j\omega)$.



$$F(j\omega) = \frac{y}{x} = \frac{Y \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}}{X \cdot e^{j\omega t}} = \frac{Y}{X} \cdot e^{j\varphi};$$

Pre výpočet výstupnej veličiny Y potom platí :

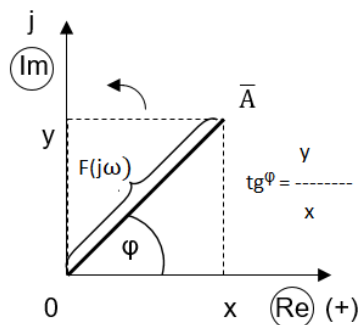
$$Y = X \cdot |F(j\omega)|$$

Je to komplexné číslo, ktorého amplitúda a fáza závisí od frekvencie a platí:

$$F(j\omega) = |F(j\omega)| \cdot e^{j\varphi}; \quad |F(j\omega)| = \sqrt{\text{Re } F(j\omega)^2 + \text{Im } F(j\omega)^2};$$

Z toho potom dokážeme vypočítať fazový posun :

$$\varphi = \text{arctg} \frac{\text{Im } F(j\omega)}{\text{Re } F(j\omega)}$$

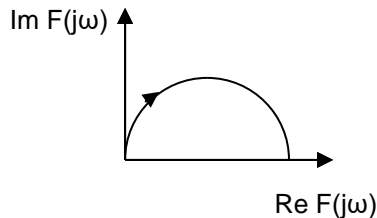


arctang uhla φ je funkcia definovaná ako pomer medzi protíľahlou odvesnou(y) a príľahlou odvesnou(x)

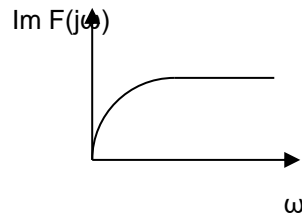
$$\tan \varphi = \frac{\text{Re } F(j\omega)}{\text{Im } F(j\omega)}$$

Ak sa mení frekvencia vstupných kmitov, grafickým znázornením $F(j\omega)$ dostávame frekvenčnú charakteristiku.

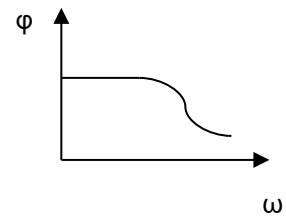
Frekvenčná charakteristika
v komplexnej rovine



Amplitúdová frekvenčná
charakteristika



Fázová frekvenčná
charakteristika



Postup vytvorenie frekvenčnej charakteristiky:

1. Z diferencialnej rovnice získame obrazový prenos $F(s)$
2. Frekvenčný prenos dostávame z $F(s)$ dosadením $j\omega$,
Dostávame sa tým do frekvenčnej oblasti, teda do komplexnej roviny.
3. Ak vstupný signál prejde cez prenosový člen, omešká sa o fázový posun φ .
4. Frekvenčnú charakteristiku nakreslíme tak, že do $F(j\omega)$ postupne dosadíme kruhovú frekvenciu o 0 až po teoreticky nekonečno,
5. čím sa vykreslia body, ktoré spojíme a tak vznikne frekvenčná charakteristika.
6. To isté urobíme v amplitúdovej frekvenčnej charakteristike

Vektor, ktorý , ktorý sa pohybuje je rotujúci fázor.

Príklad:

Skonstruujte frekvenčnú charakteristiku prenosového člena s následovnou prenosovou funkciou:

$$F(s) = \frac{1}{T_s + 1}; \quad \text{za } S \text{ dosadíme } j\omega$$

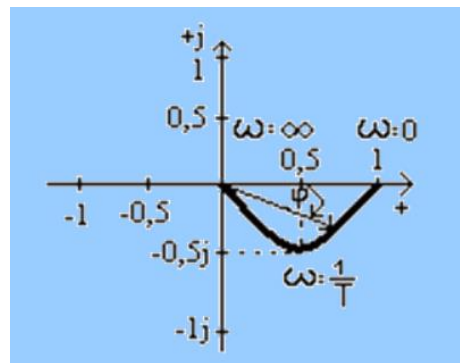
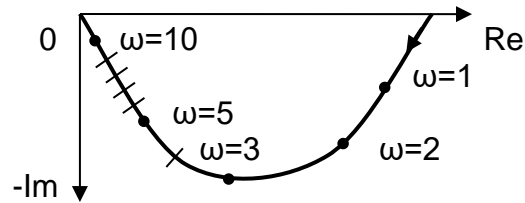
$$F(j\omega) = \frac{1}{T \cdot j\omega + 1} = \frac{1}{1 + T^2\omega^2} - j \frac{T\omega}{1 + T^2\omega^2}$$

$$F(j\omega) = P(\omega) - jQ(\omega) = \frac{1}{1 + T^2\omega^2} \cdot e^{-j \arctan \omega T}$$

Riešenie:

Za s dosadíme $j\omega$ a podľa vzorového príkladu s rotujúcim vektorom tento výraz rozložíme a následne rozpíšeme pomocou e .

Kreslenie frekvenčnej charakteristiky spravíme tak že postupne dosadíme za T $j\omega$ čím dostaneme body frekvenčnej charakteristiky.

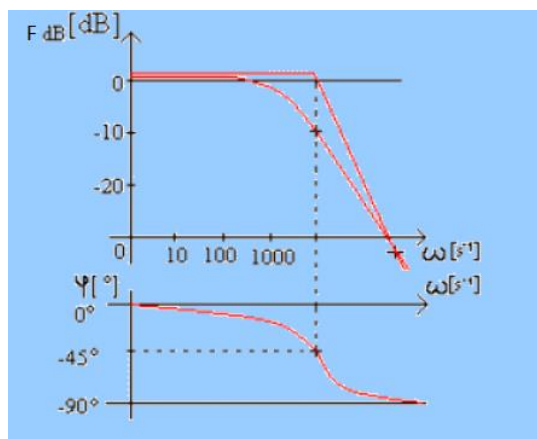


Amplitúdová charakteristika v logaritmických súradniciach

Do vodorovnej osy sa nanáša frekvencia v logaritmickej mierke. Pre nekonečno to nemožno zobrazit' v tejto mierke. V komplexnej rovine sa to dá.

Amplitúda prenosu -tzv. zisk G (v dB) sa vypočíta ako:

AFCH – amplitúda prenosu v dB, čiže zisk $G_{dB} = 20 \log |F(j\omega)|$
 FFCH – fáza prenosu v uhlových stupňoch, napr. FCH zotrvačného člena



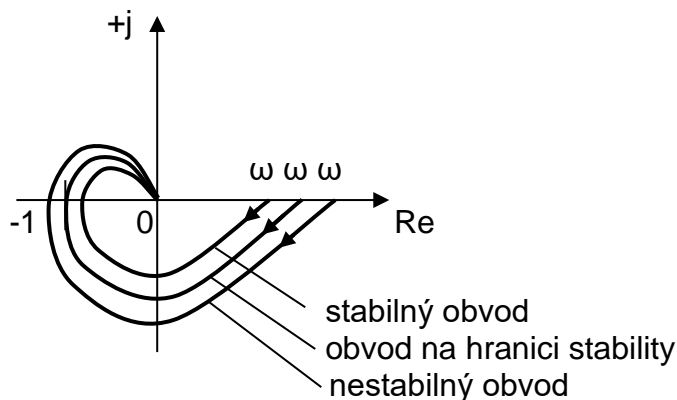
4.3 KRITÉRIA STABILITY REGULÁČNÝCH OBVODOV

Pred samotným pojednávaním o kritériách si treba uvedomiť aký je rozdiel medzi otvoreným a uzavretým regulačným obvodom. O stabilitách sme už rozprávali. Na zisťovanie stability bolo vypracovaných niekoľko kritérií.

Najznámejšie sú: Hurwiczovo kritérium stability
 Nyquistovo kritérium stability
 Michajlovovo kritérium stability

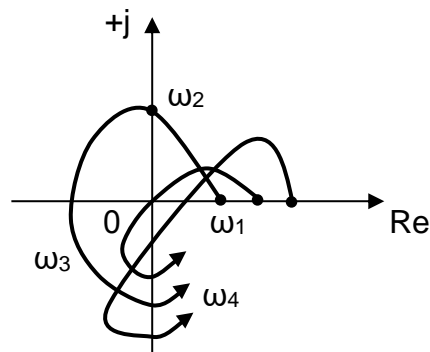
4.3.1 NYQUISTOVO KRITÉRIUM STABILITY

Nyquistovo kritérium stability určuje stabilitu uzatvoreného regulačného obvodu na základe vlastností otvoreného regulačného obvodu. Definícia Nyquistovo kritéria stability je uzavretý obvod vtedy ak $(-1, j0)$ leží v ľavo od frekvenčnej charakteristiky rozpojeného obvodu ak po ňom postupujeme v smere rastúcej frekvencie ω .



Nyquistovo kritérium stability je dôležité aj pre regulačný obvod s dopravným oneskorením.

4.3.2 MICHAJLOVOVO KRITÉRIUM STABILITY



Uzavretý regulačný obvod je stabilný vtedy ak kritický bod $j\omega_0$ leží vľavo od Michajlovej krivky $Hj\omega$, ak ju prechádzame v smere rastúcej frekvencie. Je kritický ak je kritický leží vpravo. Ak Michajlova krivka prechádza kritickým bodom, je na hranici stability.

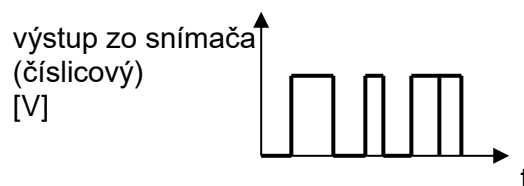
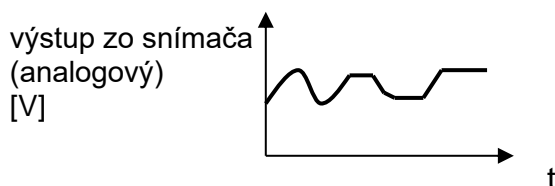
5. ZÁKLADNÉ SÚČIASTKY A PRÍSTROJE V AUTOMATIZAČNEJ TECHNIKE

5.1 PROSTRIEDKY NA ZÍSKANIE INFORMÁCIÍ, SNÍMAČE

Snímač – zariadenie slúžiace na zistenie fyzikálneho stavu elektrických a neelektrických veličín.

SMART snímače – klasický snímač dovybavený procesorom nazývame SMART snímač alebo inteligentný snímač.

Snímače používané v automatizácii majú na výstupe väčšinou elektrický signál a to buď analógový alebo číslicový, ináč povedané spojité alebo nespojité. Na výstupe zo snímača môže byť aj kontakt, zvyčajne je realizovaný z tranzistora v spínacom režime.

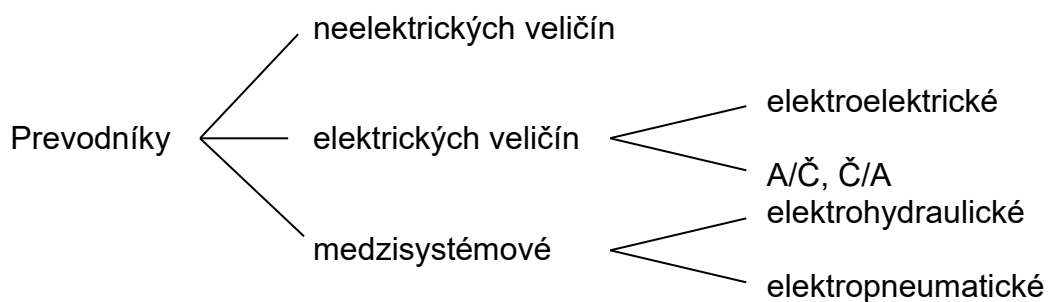


5.2 PREVODNÍKY SIGNÁLU

Riadiace systémy a objekty riadenia sa skladajú z rôznych súčiastok, prístrojov, zariadení, medzi ktorými prebieha neustála výmena informácií prostredníctvom nosičov – signálov. Pretože princípy činnosti jednotlivých členov sú rôzne, na zabezpečovanie „zrozumiteľnosti“ komunikácie medzi jednotlivými členmi treba prispôbovať (upravovať) výstupné signály, ktoré možno ďalej spracovať v nasledujúcom člene. Túto funkciu plnia zariadenia, ktoré nazývame prevodníky.

Prevodník sa umiestňuje medzi dve zariadenia na nadviazanie komunikácie. Mení jednu fyzikálnu veličinu na inú, ktorú možno ďalej spracovať. Požiadavky na vlastnosti sú podobné ako pri snímačoch, len často pristupuje požiadavka galvanického oddelenia výstupného signálu od vstupných obvodov.

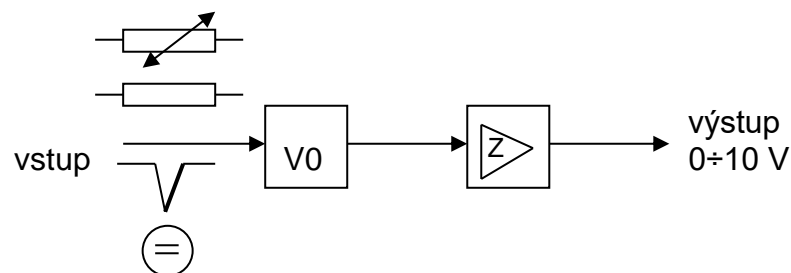
Základná klasifikácia prevodníkov podľa charakteru vstupnej a výstupnej veličiny je nasledujúca:



5.2.1 PREVODNÍKY NEELEKTRICKÝCH VELIČÍN

Tieto prevodníky sú určené na zmenu výstupných signálov zo snímačov na unifikovaný signál, vhodný na ďalšie spracovanie. So zabudovaním so systému snímača sme sa už stretli.

Na nasledujúcom obrázku je bloková schéma prevodníka prirodzených signálov zo stavebnice modulového regulačného systému MODIN. Určený je na úpravu výstupných signálov termoelektrických a odporových snímačov teploty, odporových vysieláčov, ktorých signálom je jednosmerné napätie alebo prúd, alebo zmena odporu na unifikovaný napäťový signál v rozpätí 0 až 10V.



bloková schéma prevodníka prirodzených signálov
V0 – vstupný obvod, Z – zosilňovač

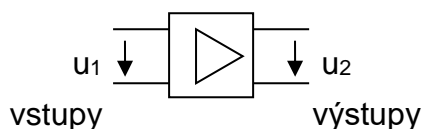
5.3 ZOSILŇOVAČE

Zosilňovače môžeme rozdeliť podľa druhu energie v ktorej pracuje ale mi sa budeme zaoberať elektrickými zosilňovačmi.

Požiadavky k zosilňovačom: zosilňovače sú zariadenia, ktorých úlohou je zosilniť vstupný signál. Prečo ho potrebujeme v priemysle? Zvyčajne signály s analógových snímačov sú slabé. Aby sme ich mohli ďalej spracovať treba ich zosilniť.

PARAMETRE ZOSILŇOVAČOV

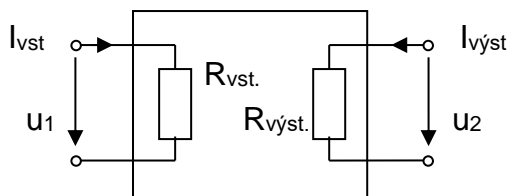
1. Zosilnenie A_u



$$A_u = \frac{u_1}{u_2} \text{ [dB]}$$

Je dané pomerom výstupnej hodnoty ku vstupnej hodnote. Jednotkou je dB.

2. Druhým parametrom je vstupná impedancia. Teoreticky chceme aby bola ∞ .
3. Tretím parametrom je výstupná impedancia. Teoreticky chceme aby bola 0.



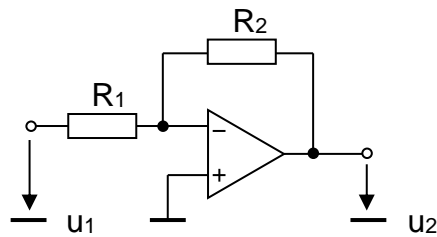
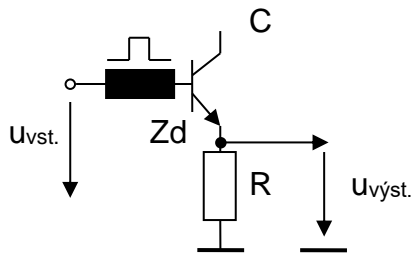
$$P = U \cdot I$$
$$I = \frac{U}{R}$$

4. Skreslenie. Chceme aby vstupný signál bol na výstupe čo najvernejší.
5. Šírka prenášaného frekvenčného pásma. Chceme aby bola čo najväčšia. V audio zosilňovačoch je definovaná hi-fi a to je 20Hz – 20KHz.

V priemysle používame priemyselné zosilňovače. Nehodili by sa audio zosilňovače, ktoré nie sú stavané do priemyslu (prašnosť, vlhkosť, agresívne prostredie, atď.).

5.4 ZOSILŇOVACIE SÚČIASKY

Najjednoduchšia zosilňovacia súčiastka je bipolárny alebo unipolárny tranzistor.

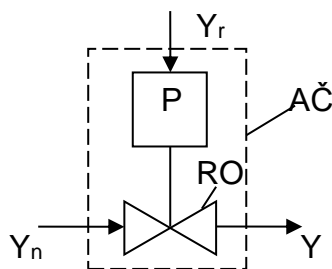


5.5. AKČNÉ ČLENY

Ak riadený systém dosahoval stav (požadované správanie), riadiaci systém musí podľa algoritmu riadenia aktívne a účelovo ovplyvňovať vstupné veličiny riadeného systému. Prakticky to znamená riadiť, t.j. zväčšovať alebo zmenšovať toky látok a energií vstupujúcich do technologického procesu pomocou akčných členov.

Akčný člen je funkčná časť, ktorá bezprostredne prenáša pôsobenie riadiacich zariadení na technologický proces.

Priame nastavenie veľkosti prítoku vstupných látok, surovín a energií Y_n do riadenej sústavy realizuje časť, ktorú nazývame regulačný orgán RO. Regulačný orgán sa ovláda pohonom P, ktorý dodáva potrebnú energiu na prestavenie regulačného orgánu. Bloková schéma akčného člena je na nasledujúcom obrázku. Hodnotu výstupnej veličiny akčného člena – akčnú veličinu Y, čo je súčasne vstupná veličina riadenej sústavy, nastavuje pohon na základe opravnej veličiny Y_r . táto prichádza z riadiaceho podsystému a obsahuje základnú riadiacu informáciu o požadovanom nastavení RO.



Podľa toho, či akčný člen nastavuje jednotlivé hodnoty akčnej veličiny spojito (plynule) alebo nespojito, najčastejšie len v dvoch stavoch maximum – minimum, rozlišujeme akčné spojité a nespojité členy.

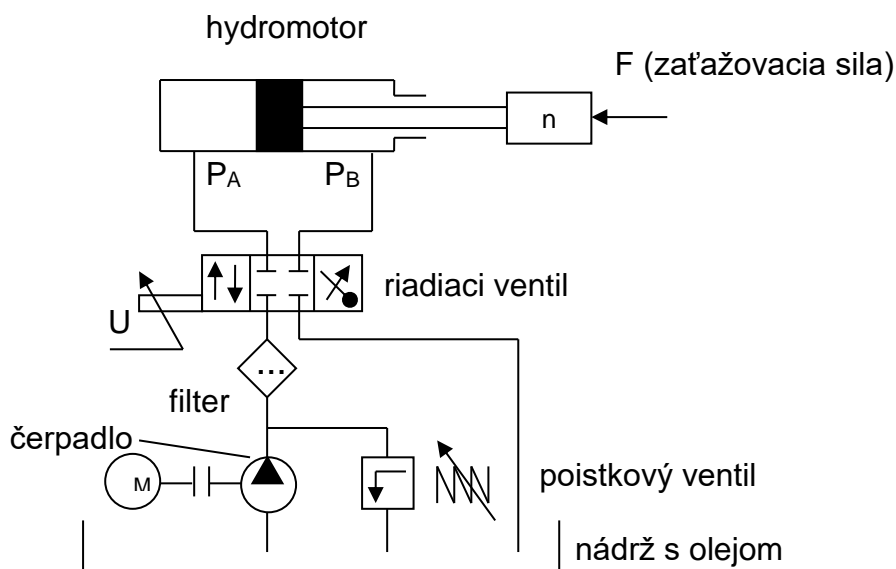
Pohony môžu byť pneumatické, hydraulické a elektrické. Pretože vstupný signál pohonu je priamočiary alebo rotačný pohyb, väčšinou riadený spätnoväzbovým obvodom, nazývame ho servopohon. Okrem samotného pohonu a prevodovky je často vystrojený koncovými spínačmi na určenie krajných polôh a dopravným vysielačom nastavenej polohy, ktorým vysiela informácie riadiacemu systému

o skutočnom stave. Konštrukčné usporiadanie má vždy obsahovať aj riešenie ručného núdzového otvorenia alebo uzavretia regulačného orgánu.

Akčné členy sa často vyrábajú v jednom konštrukčnom celku. Znamená to, že ventil obsahuje už aj vlastný pohon.

Regulačné orgány na nastavenie elektrického prúdu a napätia, ktoré sa používajú najčastejšie, sú tieto: regulačné rezistory, transformátory, tranzistory, tyristory, stýkače a rôzne druhy riadených výkonových zosilňovačov. Na ovládanie prietoku tlakového vzduchu a tlakového oleja sa používajú rôzne klapky, ventily, posúvače a pod.

ZÁKLADNÁ ŠTRUKTÚRA A VELIČINY VŠEOBECNÉHO HYDRAULICKÉHO OBVODU

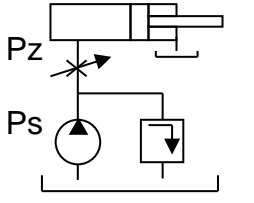
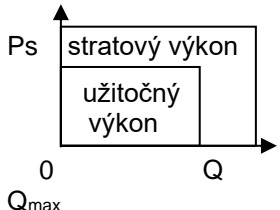
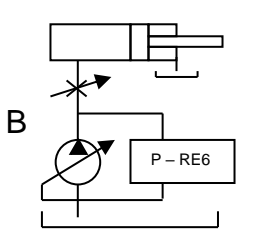
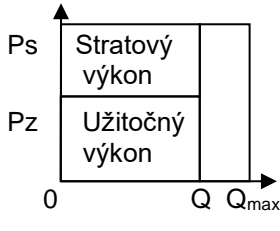


Hydraulický obvod ktorý sme nakreslili je hydrostatický obvod. Hydrodynamicky by bol vtedy ak by nim pretekala kvapalina, napr. voda.

Hydraulické pohony zaberajú významné miesto a využívajú sa pri výrobe, doprave, manipulácií s materiálom, zariadení pre divadelnú techniku, zábavný priemysel atď.

V nami nakreslenom obrázku hydraulického obvodu má riadiaci ventil napájanie +/- 10V. Úlohou hydraulického zariadenia je prenášať záťaž istou silou po nejakej dráhe. Hydraulický obvod musí vyvinúť nejaký výkon P , ktorý je súčinom obehového prietoku Q a tlaku v hydraulickom obvode P . $P=Q \cdot p$. Z tohto vzťahu vyplynie, že ak chceme šetriť palivo, treba regulovať výkon hydraulického obvodu a P môžeme riadiť len buď množstvom hydraulickej kvapaliny pretekajúcej za jednotku času alebo tlakom hydraulickej kvapaliny.

Typ obvodu	Základné vzťahy	Principiálne schémy	Energetická bilancia
------------	-----------------	---------------------	----------------------

<p>System s konštantným prietokom</p>	$P_{HG} = Q_{max} \cdot P_s$ $P_{HM} = Q \cdot P_z$ $P_z = Q_{max} P_s - Q \cdot P_z$ $N_{max} = 38\%$		
<p>System s konštantným hákom</p>	$P_{HG} = Q \cdot P_s$ $P_{HM} = Q \cdot P_z$ $P_z = Q(P_s - P_z)$ $N_{max} = 67\%$		
<p>Load - sensing system s regulačným hydrogenerátorom</p>	$P_{HG} = Q (P_z - \Delta P_{Lc})$ $P_{HM} = Q \cdot P_z$ $P_z = Q \cdot P_{23}$ $Až N_{max} > 67\%$	