

## 1. Úvod

Významnú skupinu regulačných členov tvoria tzv. **nespojité regulátory**. Ich vlastnosti sú v mnohých smeroch odlišné od riadiacich členov, s ktorými sme sa zoznámili doposiaľ.

Je známe, že lineárne spojité regulátory sú matematicky popísané lineárnou diferenciálnou rovnicou, obrazovým alebo frekvenčným prenosom, prechodovou alebo impulznou funkciou. Hovoríme o tzv. **matematických modeloch** regulátorov. Spojitý vstupný signál regulátora vyvolá odozvu vo forme spojitého výstupného signálu. Súvislosť medzi týmito dvoma spojitými priebehmi je vyjadrená práve matematickými modelmi. Spojitý matematický model obsahuje všetky podstatné informácie o statických a dynamických vlastnostiach regulátora.

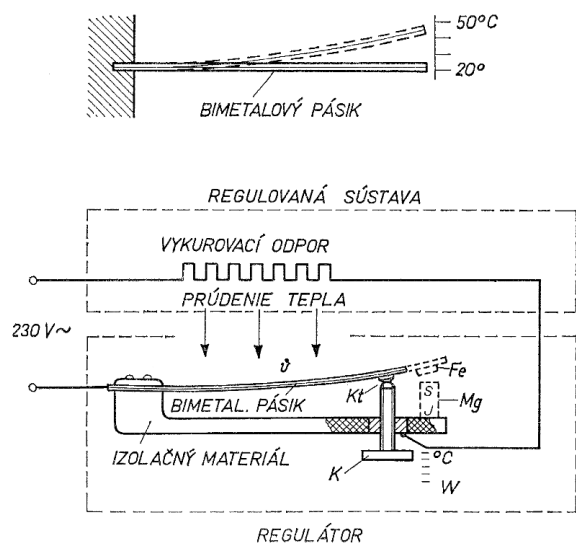
Nespojité regulátory sa vyznačujú tým, že veličina na ich výstupe sa nemení v závislosti na vstupnom signáli spojito, ale nadobúda iba niekoľko hodnôt. Už z tohto faktu vyplýva, že v určitom rozsahu zmien vstupnej veličiny sa na výstupe regulátora žiadna zmena neprejaví. **Nespojité regulátory tvoria samostatnú skupinu regulátorov nelineárnych.** Pre ich popis nie je možné využiť prostriedky, ktoré sú k dispozícii pri práci s regulátormi spojitými. Závislosť medzi vstupným a výstupným signálom nespojitého regulátora vyjadruje iba tzv. **statická prevodová charakteristika.**

Najbežnejšími v praxi používanými typmi nespojitých regulátorov sú regulátory **dvojpolohové (DR)** a **trojpolohové (TR)**.

DR sa vyznačujú tým, že ich výstupná veličina nadobúda iba dve hodnoty, výstupná veličina TR iba tri hodnoty.

Praktický význam riadiacich členov uvedených typov spočíva v ich jednoduchosti a s tým súvisiacou prevádzkovou spoľahlivosťou a nízkou cenou.

Nespojité regulátory je možné posudzovať ešte z iného pohľadu. Riadiace členy, ktoré energiu pre svoju činnosť získavajú z regulovanej sústavy a preto nepotrebujú svoj vlastný zdroj energie, nazývame **regulátory priame (direktné)**, regulátory, ktoré pokrývajú svoju energetickú potrebu z vlastného zdroja, sú tzv. **regulátory nepriame (indirektné)**. Typickým direktným riadiacim členom je bimetalový DR teploty (napr. žehličky, fritézy). Energia potrebná pre deformáciu bimetalového pásika je získavaná z tepla  $\theta$  (théta) telesa žehličky - regulovanej sústavy. Principiálna schéma je uvedená na Obr. 1, reálne vyhotovenie na Obr. 10.



Obr. 1

Legenda k Obr. 1:

$K$  – nastavovacia skrutka kontaktu (NZ)

$W$  – riadiaca veličina

$Kt$  – kontakt

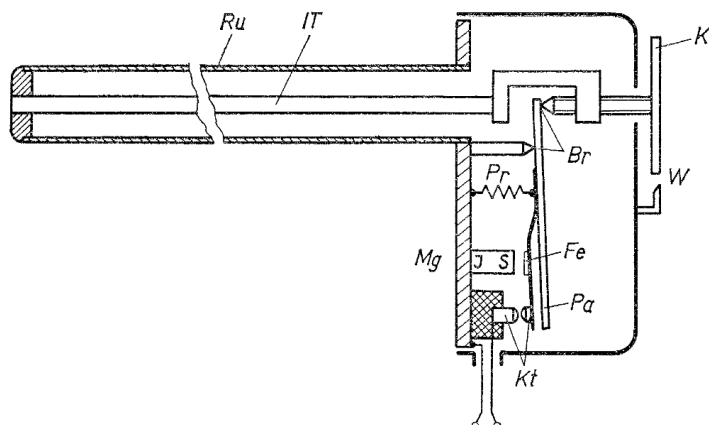
$Fe$  – ocelová doštička

$Mg$  – permanentný magnet

Uvedené zariadenie (bez uvažovania  $Fe$  a  $Mg$ ) obsahuje **kĺzavý kontakt**. Znamená to, že kontakty sa dotýkajú bez tlaku, kontakty sa oddávajú na malú vzdialenosť a to spôsobuje veľkú **hustotu (frekvenciu) spínania**. Všetky uvedené vlastnosti majú za následok opalovanie kontaktov a z toho plynúcu nízku životnosť regulátora.

PRIEMYSELNÁ INFORMATIKA  
**NESPOJITÁ REGULÁCIA**

Iným príkladom priameho dvojpohového regulátora je tyčinkový regulátor teploty. Princípiálna schéma je na Obr. 2, reálne vyhotovenie na Obr. 11.

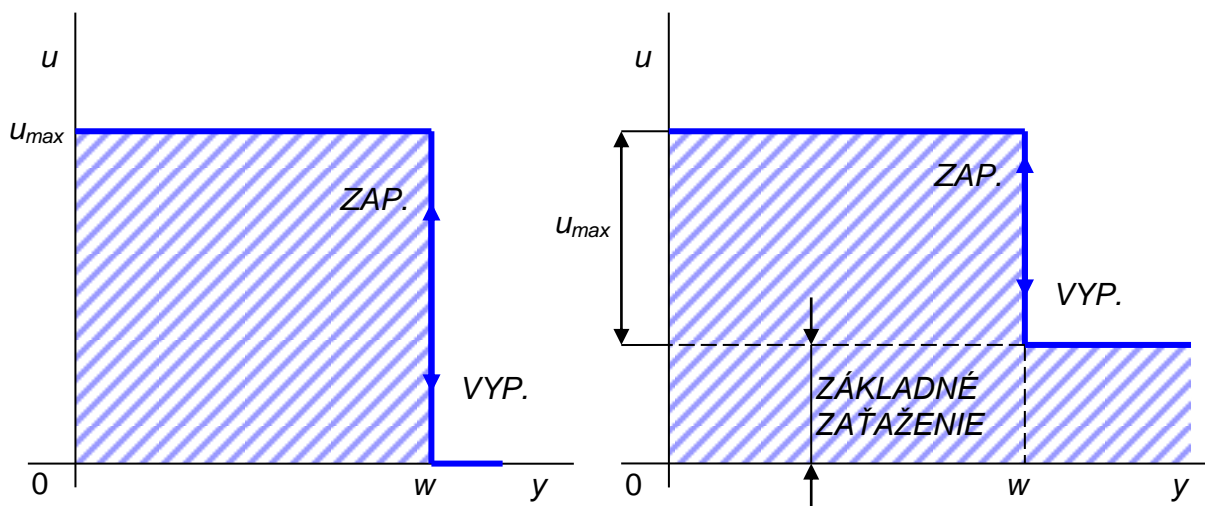


Legenda k Obr. 2:

- Ru* – mosadzná rúrka (veľká teplotná rozťažnosť)
- IT* – tyčinka z invaru - zliatina Fe, Ni (malá teplotná rozťažnosť)
- Pa* – páka
- Kt* – kontakt
- K* – nastavovacia skrutka kontaktu
- Br* – hrotové uloženie (brit)
- Pr* – pružina
- Fe* – oceľová doštička
- Mg* – permanentný magnet

Obr. 2

Príklad statickej prevodovej charakteristiky dvojpohového riadiaceho člena je na Obr. 3.



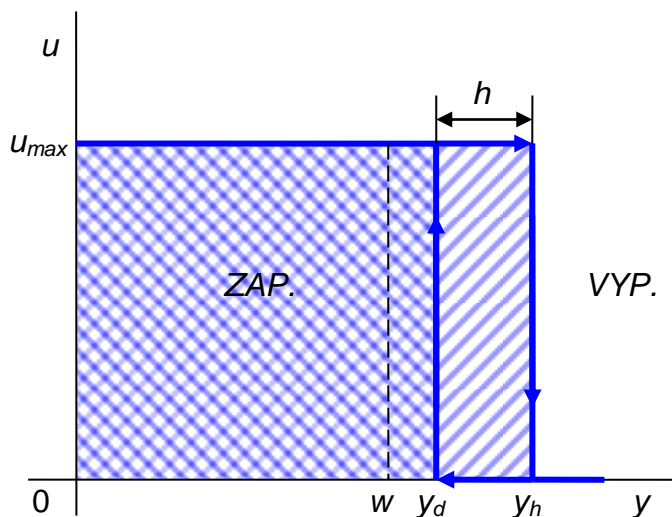
Obr. 3

Z obrázku vľavo je zrejmé, že výstupný signál regulátora nadobúda hodnotu  $u = 0$  pre všetky hodnoty vstupu  $y > w$ , pre  $y < w$  sa hodnota výstupu rovná  $u_{max}$ . Charakteristika, obrázok vpravo, popisuje prípad, ak je trvalo zapnutá stála hodnota akčnej veličiny – základná záťaž. Komplikovanejšia situácia nastáva vtedy, ak veličina  $y$  okolo hodnoty  $w$  kolíše. Dvojpohový člen prepína, výstupný signál svoju veľkosť skokovo mení z hodnoty  $u = 0$  na hodnotu  $u_{max}$  alebo opačne. Ak je tento člen realizovaný elektromechanickým kontaktným prvkom, napr. relé alebo stýkačom, dochádza k jeho opotrebovaniu v dôsledku zvýšenej frekvencie prepínania (pozri bimetalový resp. tyčinkový DR). Táto skutočnosť bola aktuálna predovšetkým v minulosti, kedy neboli k dispozícii polovodičové bezkontaktné spínacie súčiastky. V súčasnosti tento argument stratil svoju dôležitosť – spínacie členy sú realizované polovodičovými komponentmi (tyristor, triak, ...). Existuje však ešte ďalšie hľadisko. Uveďme príklad:

*Zapínanie verejného osvetlenia zabezpečuje dvojpohový člen, nazývaný súmrakový spínač. Je nastavený tak, aby sa pouličné svietidlá rozsvietili pri poklese intenzity denného svetla pod zadanú úroveň ( $w$ ). Ak sa teda táto intenzita priblíži k hodnote  $w$ , vzniká nebezpečenstvo, že v dôsledku pôsobenia poruchových vplyvov, nepresnosti*

merania, šumu súčiastok, ... dôjde striedavo k niekoľkým zapnutiam a vypnutiam. Toto skokové zaťažovanie a odľahčovanie napájacej siete nie je žiaduce a dochádza aj ku skracovaniu životnosti svietidiel. Uvedenému javu je preto treba zabrániť.

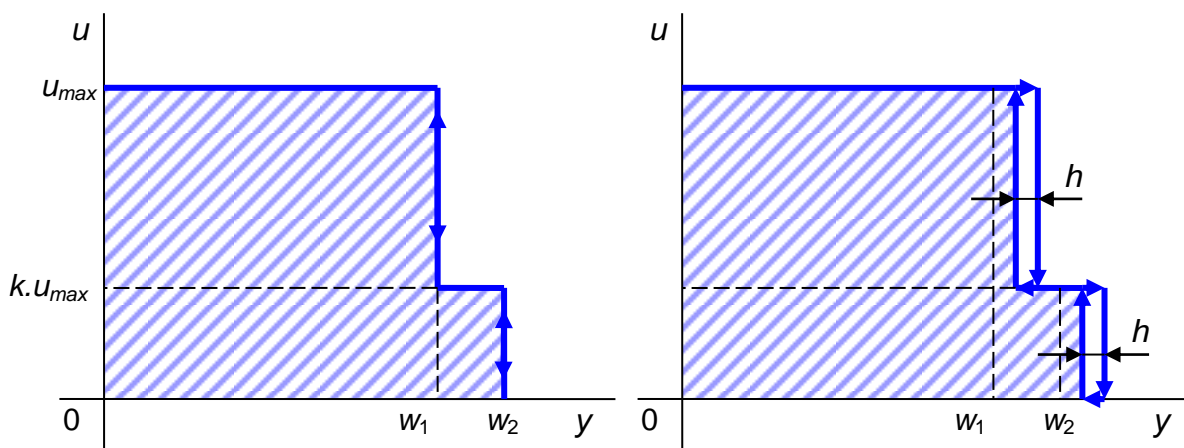
Riešením situácie je zavedenie tzv. **hysterézie** (pozri Obr. 4). Ide vlastne o odlišenie medze  $y_h$ , kedy výstup mení svoju hodnotu z  $u_{max}$  na 0 a medze  $y_d$ , kedy prechádza výstupná veličina z hodnoty 0 na hodnotu  $u_{max}$ . Platí pritom, že  $y_h > y_d$ . Rozdiel  $y_h - y_d = h$  je spomenutou hysteréziou.



Obr. 4

Hysterézia síce odstráni nežiaduce skokové zmeny hodnoty výstupnej veličiny DR, ale súčasne (ako bude uvedené ďalej), je príčinou zníženia presnosti regulácie a vzniku pásma kolísania (kmitania) regulovanej veličiny. Technicky možno túto zmenu dosiahnuť tak, že do konštrukcie DR (Obr. 2 a Obr. 3) zaradíme magnet Mg a oceľovú doštičku Fe alebo predpätú pružinu. Obe riešenia majú za následok vznik doplnkovej sily, ktorá zabezpečí skokové spínanie/rozpínanie s väčším tlakom medzi kontaktmi a väčšou vzdialenosťou medzi nimi pri ich rozopnutí.

Obdobná situácia nastáva aj pri nespojitých regulátoroch trojpolohových, kedy výstupná veličina regulátora nadobúda tri úrovne. Statická prevodová charakteristika bez hysterézie aj s hysteréziou je zobrazená na Obr. 5.

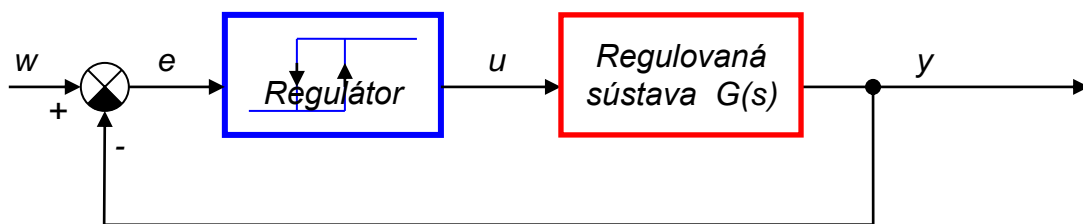


Obr. 5

## 2. DR v obvode s regulovanou sústavou 1. rádu

Predpokladajme regulačný obvod, v ktorom je zapojená regulovaná sústava 1. rádu a DR s hysteréziou  $h$  (Obr. 6), pričom predpokladáme  $e = 0$ . Regulačná odchýlka bude teda nulová, pokiaľ  $w = y$ .

PRIEMYSELNÁ INFORMATIKA  
**NESPOJITÁ REGULÁCIA**



Obr. 6

Pripomeňme, že vstupnou veličinou regulátora je regulačná odchýlka  $e(t)$ , regulátor potom generuje akčnú veličinu  $u(t)$ , ktorá v našom prípade nadobúda iba dve hodnoty.

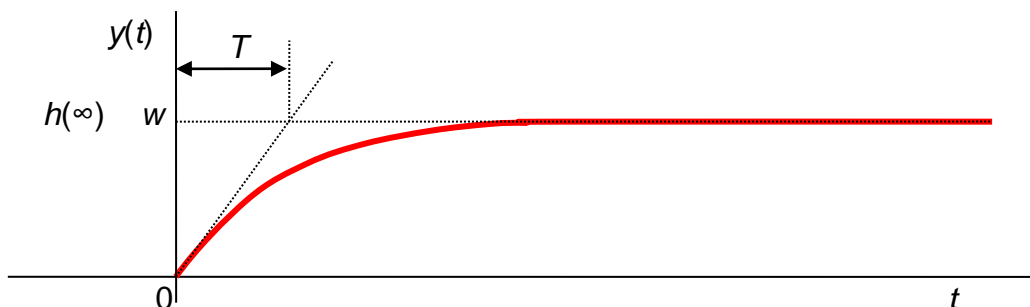
Regulovaná sústava má prenos

$$G(s) = \frac{1}{Ts+1} \quad (1)$$

a teda prechodová funkcia (Obr. 7) je popísaná vzťahom

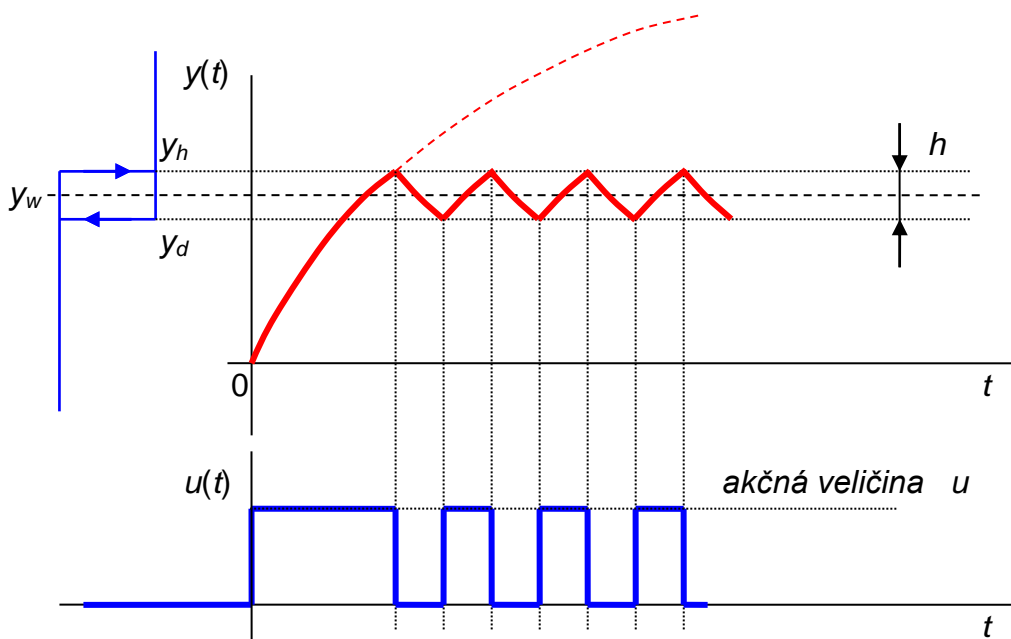
$$h(t) = k(1 - e^{-\frac{1}{T}t}) \quad (2)$$

Doba nábehu sa rovná časovej konštante  $T_n = T$ , doba prietahu  $T_u$  je nulová.



Obr. 7

Možný priebeh regulovanej veličiny  $y(t)$  – regulačný pochod, pri riadení na konštantnú hodnotu ( $w$  má tvar skoku) je zachytený na Obr. 8.



Obr. 8

V tom istom obrázku je znázornený aj priebeh akčnej veličiny  $u(t)$ .

**Poznámka:** Naznačené priebehy sú teoretické, v skutočnosti je prechod medzi klesaním a stúpaním regulovanej veličiny plynulý, nemá ostré hrany.

Vidíme, že regulovaná veličina  $y$  kolíše periodicky medzi hodnotami  $y_d$  a  $y_h$ , ktorých rozdiel je daný veľkosťou hysterézie  $h$  a vôbec nezávisí na parametroch regulovanej sústavy  $G(s)$ . Ak sa hodnota  $h$  zmenší, zúži sa aj pásmo kolísania  $y$ . Súčasne sa zvýši aj frekvencia spínania DR. Akčná veličina je zapnutá vždy pri poklese regulovanej veličiny na hodnotu  $y_d$ , k jej vypnutiu dochádza pri náraste regulovanej veličiny na hodnotu  $y_h$ .

Zavedme ešte jeden potrebný pojem:

Akčná veličina má určitý (konečný) rozsah. Keby sme skokovo na vstup statickej regulovanej sústavy pripojili akčný signál maximálnej možnej veľkosti  $u_{max}$ , regulovaná veličina by sa po čase ustálila na svojej maximálnej možnej hodnote  $y_{max}(\infty)$ . Ak predpokladáme, že regulovaná sústava je lineárna, potom platí, že trvalému pripojeniu veličiny  $u = k \cdot u_{max}$ ,  $k \leq 1$  na vstup sústavy zodpovedá na jej výstupe trvalá hodnota regulovanej veličiny  $y(\infty) = k \cdot y_{max}(\infty)$ . Medzi ustálenými hodnotami veličín  $u$  a  $y$  platí teda lineárna (priama) úmernosť.

$$\frac{u}{u_{max}} = \frac{y}{y_{max}} \quad (3)$$

Schopnosť regulácie znamená, že regulátor musí mať k dispozícii možnosť zvyšovať alebo znižovať hodnotu akčnej veličiny v súlade s algoritmom, ktorý je v ňom vložený a v závislosti na okamžitej veľkosti regulačnej odchýlky  $e$ . Keby regulátor pracoval v režime, že by generoval akčný signál maximálnej technicky možnej veľkosti, nereguloval by, bol by na medzi svojich možností. Aj regulovaná veličina by nadobúdala svoju medznú hodnotu. Uvedme praktický príklad. Predpokladajme obvod pre reguláciu teploty  $\theta$ , ktorý je schopný riadiť túto veličinu v rozsahu do hodnoty  $\theta_{max}$ . Tejto maximálnej teplote zodpovedá aj maximálna hodnota akčnej veličiny  $u_{max}$  elektrického príkonu. Ak zadáme žiadanú hodnotu teploty  $w_{max}$  zodpovedajúcu  $\theta_{max}$ , regulátor dodáva do sústavy akčnú veličinu s veľkosťou  $u_{max}$ , je teda na 100 % svojich možností, elektrický príkon vstupuje do regulovanej sústavy trvalo, bez prerušenia, teplota sa ustáli na maximálnej dosiahnuteľnej hodnote.

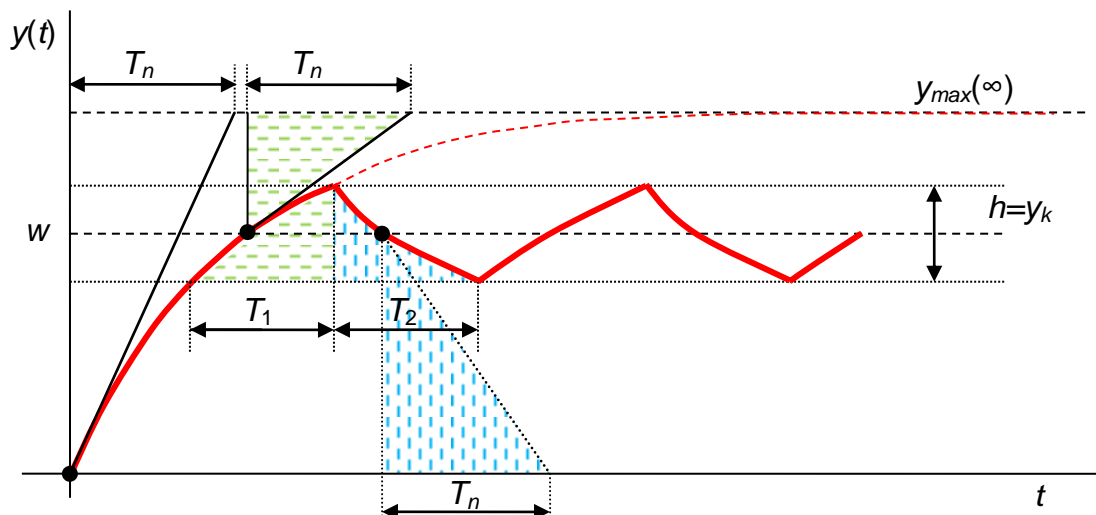
Ak má regulačný obvod plniť svoju úlohu, musí mať možnosť zvyšovať alebo znižovať veľkosť akčnej veličiny podľa okamžitých potrieb, t.j. okamžitá hodnota akčného signálu  $u$  sa musí vyskytovať pod 100 % svojej veľkosti. Zavádzame preto pojem „nadbytku akčnej veličiny“ (nadbytku výkonu), ktorý je definovaný pomerom

$$N = \frac{y_{max} - y}{y} 100 = \frac{u_{max} - u}{u} 100 [\%] \quad (4)$$

Aj v tomto vzťahu predpokladáme, že regulovaná sústava je lineárna.

Ak nadobúdajú veličiny  $y$  a  $u$  50% svojej maximálnej hodnoty, pracuje obvod so 100 % nadbytku akčnej veličiny (obvod je uprostred svojich možností), pri 75% maximálnej hodnoty je nadbytok akčnej veličiny 33%, ako zodpovedá vzťahu (4). Podľa praktických skúseností sa odporúča, aby regulačný obvod bol prevádzkovaný tak, že sa v ustálenom režime nadbytok akčnej veličiny pohybuje v rozmedzí 30 - 70 %.

Sledujme teraz súvislosť medzi uvedenými parametrami.



Obr. 9

Ak predpokladáme, že maximálna nastaviteľná veľkosť žiadanej hodnoty  $w_{max}$  zodpovedá maximálnej dostupnej hodnote regulovanej veličiny  $y_{max}(\infty)$ , t.j.  $w_{max} = y_{max}(\infty)$ , potom z Obr. 9 vyplýva (využíva sa princíp podobnosti trojuholníkov):

$$\frac{h}{T_1} = \frac{w_{max} - w}{T_n} \Rightarrow T_1 = \frac{hT_n}{w_{max} - w} \quad (5)$$

$$\frac{h}{T_2} = \frac{w}{T_n} \Rightarrow T_2 = \frac{hT_n}{w}$$

$$T_f = T_1 + T_2 = hT_n \frac{w_{max} - w + w}{w(w_{max} - w)}$$

$$\boxed{T_f = hT_n \frac{w_{max}}{w(w_{max} - w)}}$$

Periódou  $T_f$  fluktuáciej (premennej) zložky regulovanej veličiny závisí na hysterezii  $h$ , na veľkosti  $w$  a na hodnote  $(w_{max} - w) = y_{max}(\infty) - w$ .

Ak  $w = 0,5 \cdot w_{max}$ , teda 100% nadbytku výkonu, čo možno vyjadriť aj v tvare

$$w = w_{max} - w \quad (6)$$

je periódou  $T_f$  rovná

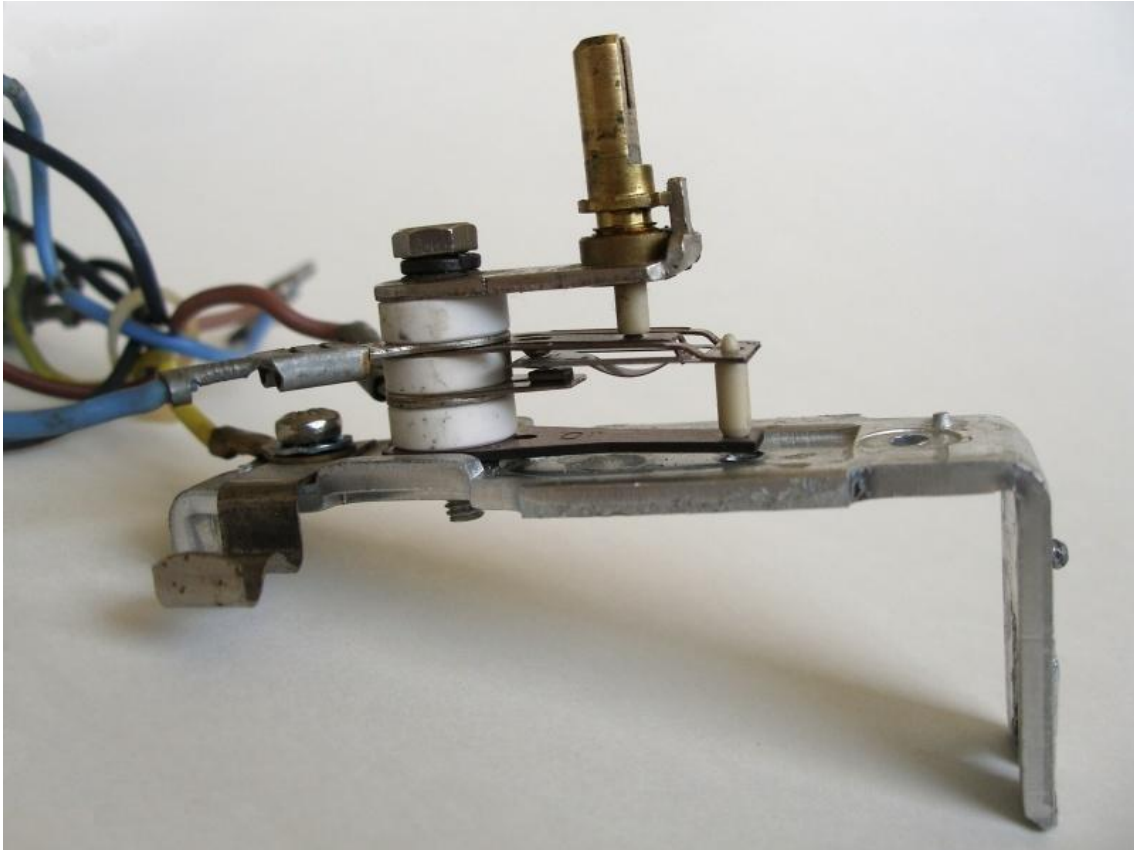
$$\boxed{T_f = 2h \frac{T_n}{w} = 4h \frac{T_n}{w_{max}}} \quad (7)$$

Vidíme, že zmenšením  $h$  sa skráti  $T_f$  a teda vzrastie frekvencia  $f = 1/T_f$ . V extrémnom prípade, keď  $h = 0$  teda  $T_f = 0 \Rightarrow f = \infty$ .

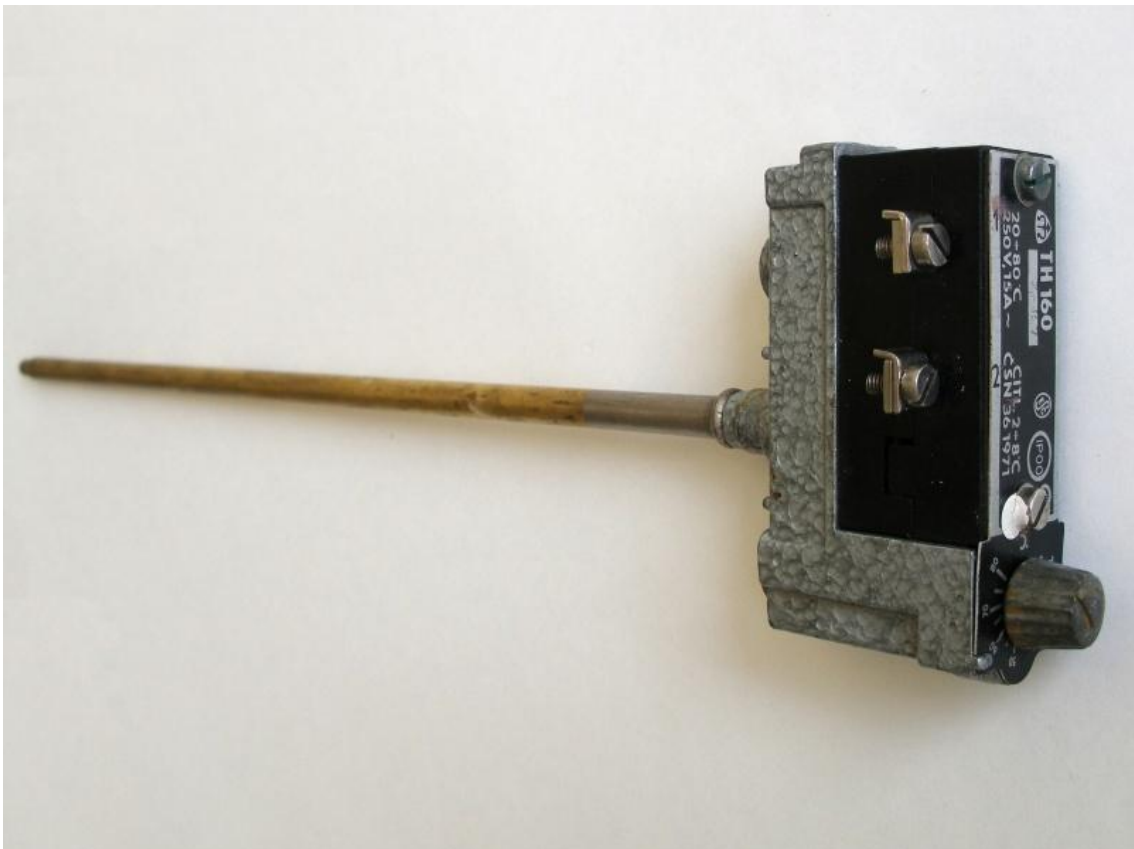
Zhrnutie:

**Rozsah kolísania regulovanej veličiny je určený iba veľkosťou  $h$  a na parametroch sústavy nezávisí, periódou premennej zložky regulovanej veličiny je určená hystereziou  $h$ , dobou nábehu  $T_n$  a hodnotou riadiacej veličiny  $w$ .**

*Obrazová príloha*



Obr. 10 Bimetalový dvojpohový regulátor



Obr. 11 Týčinkový dvojpohový regulátor