

Zadanie

Urobte rozbor chovania regulačného obvodu domácej žehličky na prádlo.

Rozbor

Regulačný obvod žehličky sa skladá z nasledujúcich častí :

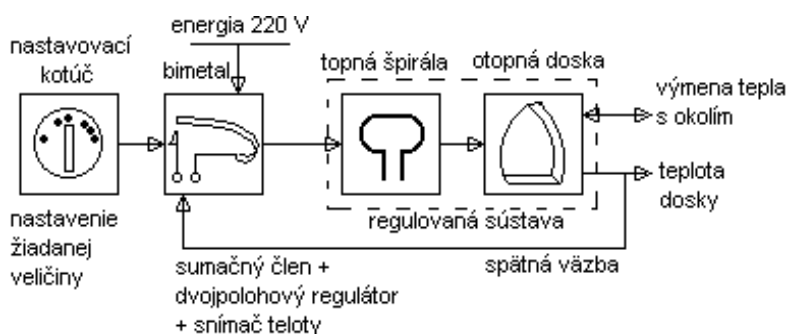
1. kotúč nastavujúci žiadanú teplotu otopnej dosky

označenie	druh prádla	teplota žehlenia
	SILON	140°C
•	HODVÁB	170°C
••	VLNA	190°C
•••	BAVLNA	250°C
	LAN	285°C

2. bimetal spínajúci prívod napájacieho napätia na základe rozdielu medzi žiadanou a skutočnou teplotou otopnej dosky,
3. topná špirála vyhrievajúca otopnú dosku,
4. otopná doska akumulujúca teplo a predávajúca ho žehlenému materiálu.

Zostavenie schémy regulačného obvodu

Z rozboru vlastností jednotlivých častí žehličky na prádlo vyplýva ich rozdelenie na hlavné časti regulačného obvodu na **Obr. 1**.

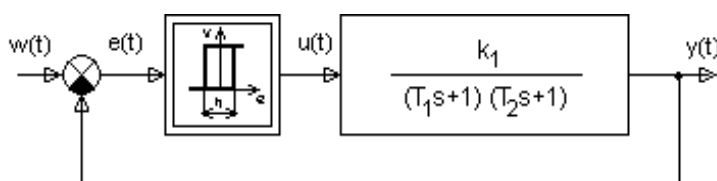


Obr. 1 : Súčinnosť jednotlivých častí žehličky

Z **Obr. 1** môžeme ľahko zostaviť obvyklú schému regulačného obvodu žehličky, ako je to znázornené na **Obr. 2**. Sumačný člen je tvorený mechanizmom prepínania bimetalu. Samotný bimetal je potom súčasne snímačom teploty aj nelineárnym dvojpohovým regulátorom s hystereziou, prepínajúcim medzi polohami 0 [V] - vypnuté a 220 [V] - zapnuté. Regulovaná sústava je tvorená spoločne topnou špirálou a otopnou doskou. Ich vlastnosti je vhodné vyšetrovať len spoločne. Navyše sa na vlastnostiach sústavy prejavujú aj vplyvy ochladzovania dosky výmenou tepla s okolím. Celkový prenos regulovanej sústavy určíme zo zmeranej prechodovej charakteristiky ako chovanie proporcionálnej sústavy so zotrvačnosťou druhého rádu. Tento prenos má však iné časové konštanty pri ohreve dosky (nižšie) a iné pri jej chladnutí. Túto skutočnosť vezmeme do úvahy rôznymi časovými konštantami T_2 pri ohreve a chladnutí dosky, ktoré určíme podľa toho, či dvojpohový regulátor dáva signál zapnuté, alebo vypnuté.

$$G_s(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (1)$$

kde je $G_s(s)$ - prenos regulovanej sústavy v oblasti s ,
 s - komplexná premenná v Laplaceovej transformácii [s^{-1}],
 $Y(s)$ - obraz výstupnej veličiny v oblasti s ,
 $U(s)$ - obraz akčnej veličiny (veličiny vstupujúcej do sústavy) v oblasti s ,
 k_1 - koeficient prenosu regulovanej sústavy – pomer hodnôt výstupnej veličiny ku vstupnej veličine v ustálenom stave [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{V}^{-1}$],
 T_1 - časová konštanta zotrvačnosti systému, veľkosť 10 [s],
 T_2 - časová konštanta ohrievania (chladnutia) otopnej dosky veľkosti 10 [s] pri ohreve dosky a 30 [s] pri chladnutí dosky.



Obr. 2 : Regulačný obvod žehličky

kde je $w(t)$ - žiadaná veličina (teplota) [$^{\circ}\text{C}$],
 $e(t)$ - regulačná odchýlka (rozdiel medzi žiadanou a skutočnou teplotou) [$^{\circ}\text{C}$],
 $u(t)$ - akčná veličina (signál zapnuté - vypnuté) s hodnotami 0 a 220 [V],
 $y(t)$ - regulovaná veličina (teplota) [$^{\circ}\text{C}$],
 h - hysterezia dvojpolohového regulátora (bimetalu) [$^{\circ}\text{C}$].

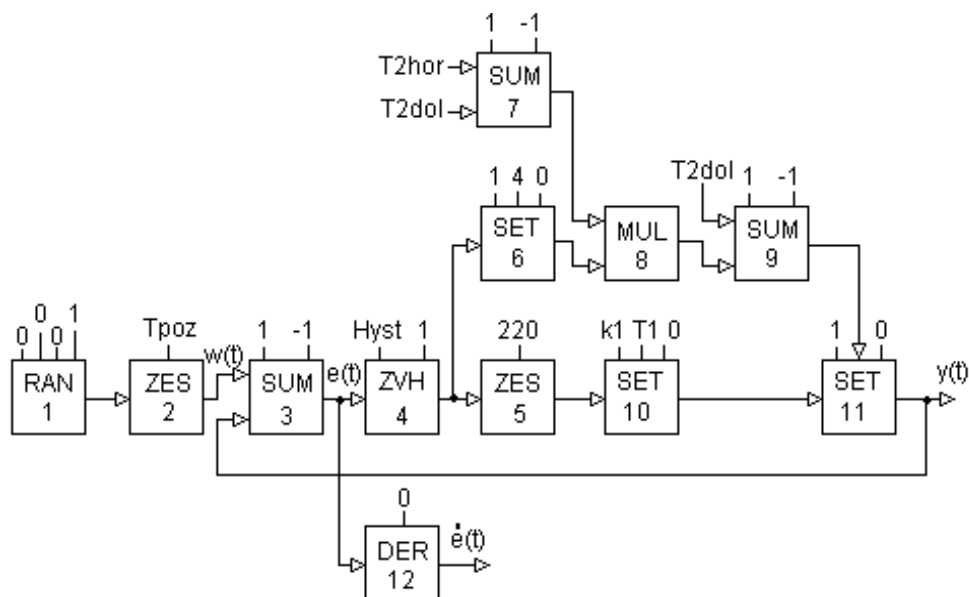
Zostavenie blokovej schémy pre simuláciu chovania žehličky

Z Obr. 2 môžeme priamo zostaviť blokovú schému regulačného obvodu žehličky pre simulačný program SIPRO 3.4. Pritom však musíme vytvoriť tiež mechanizmus, ktorý bude meniť časovú konštantu T_2 , podľa toho, či dvojpolohový regulátor dáva signál 220 alebo 0 [V]. Pre potreby simulačného modelu definujeme nasledujúce konštanty, ich hodnoty a význam sú v **Tab. 1**.

Tab. 1 : Symbolické konštanty použité v modeli žehličky

názov konštanty	hodnota	význam
Tpoz	150	žiadaná teplota otopnej dosky [$^{\circ}\text{C}$]
Hyst	40	hysterezia bimetalu [$^{\circ}\text{C}$]
T1	10	časová konštanta T_1 [s]
T2dol	30	časová konštanta T_2 pri chladnutí dosky [s]
T2hor	10	časová konštanta T_2 pri ohreve dosky [s]
K1	1.36	koeficient prenosu regulovanej sústavy [$^{\circ}\text{C} \cdot \text{V}^{-1}$]

Pomocou týchto konštánt zostavíme simulačný model regulačného obvodu, ako je znázornený na **Obr. 3**.



Obr. 3 : Simulačný model regulačného obvodu žehličky

Význam jednotlivých blokov v simulačnom modeli žehličky je nasledujúci :

- bloky 1 a 2 - vytvárajú žiadanú veličinu v tvare skokovej zmeny z hodnoty 0 na hodnotu T_{poz} , ktorá nastane v čase $t=0$,
- blok 3 - sumátor, na jeho výstupe je rozdiel medzi žiadanou a skutočnou teplotou otopnej dosky žehličky,
- bloky 4 a 5 - dvojpolohový regulátor, prepínajúci medzi polohami 0 a 220 s hystereziou $Hyst$,
- bloky 6,7,8 a 9 - vytvárajú premennú hodnotu časovej konštanty T_2 v závislosti na výstupe z dvojpolohového regulátora. Vložená zotrvačnosť (blok 6) vyhladzuje prechod medzi T_2 pri chladnutí a T_2 pri ohreve, ktorý sa nedeje skokom, ale plynulým prechodom,
- bloky 10 a 11 - regulovaná sústava s parametrami K_1 , T_1 , a T_2 (je výstupom z bloku 9),
- blok 12 - určenie derivácie regulačnej odchýlky pre potreby vykreslenia stavového grafu.

Ako výstup simulácie nás budú zaujímať tieto bloky uvedené v **Tab. 2**.

Tab. 2 : Tabuľka sledovaných veličín v modeli žehličky

blok	veličina	význam
2	$w(t)$	žiadaná teplota otopnej dosky
11	$y(t)$ – regulovaná veličina	skutočná teplota otopnej dosky
3	$e(t)$ – regulačná odchýlka	rozdiel medzi skutočnou a žiadanou teplotou
12	$\dot{e}(t)$ – derivácia reg odchýlky	derivácia regulačnej odchýlky

Simulácia chovania regulačného obvodu žehličky

Pristúpme teraz ku vloženiu vytvoreného simulačného modelu podľa **Obr. 3** do programu SIPRO. Predpokladáme, že máme spustený počítač s korektne nainštalovaným

programom SIPRO. Tiež budeme predpokladať implicitné nastavenie všetkých parametrov programu. Ešte pred začatím práce si povieme, že program sadá ovládať okrem klávesnice aj myšou.

Program spustíme príkazom SIPRO. Následne sa objaví úvodný box s informáciami o korektnej inštalácii programu a výzvou na stlačenie ľubovoľnej klávesy. Až potom sa objaví základná obrazovka programu, kurzor je v editore na prvom riadku okna **Bloky**.

Najprv zapíšeme názov bloku č. 1, tj. RAN a stlačíme ENTER. Ak sme názov zapísali správne, kurzor sa presunul do okna **Parametry**, kde zadáme hodnoty oboch parametrov tj. $t_1=0$, $t_2=0$. Po zadaní hodnoty druhého parametra a stlačení klávesy Enter sa kurzor automaticky presunul na ďalší riadok okna **Bloky**, hneď môžeme zadávať ďalší blok. Už po krátkej práci s programom SOPRO sadá zistiť, že kurzor sa automaticky pohybuje v prirodzenom slede zadávania údajov, čím sa táto činnosť značne zjednodušuje.

Zadáme teda názov druhého bloku ZES, pretože tento blok má vstup, presunuli sme sa do ďalšieho stĺpca okna **Bloky**, kde tento vstup nastavíme na hodnotu 1. Až tak dôjde ku presunu kurzora do okna **Parametry**. Všimnite si, že po presune do okna **Parametry** zostáva číslo bloku, jeho názov a vstupy zvýraznené, aby bolo zrejmé, s ktorým blokom pracujeme. V tomto prípade je parameter vyjadrený symbolickou konštantou, ktorú zadáme zápisom $k=V \text{ TPOZ}$. Písmeno "V" (Value) uvádza vždy symbolickú konštantu. Teraz sa na obrazovke objaví dialógový box s týmto hlásením :

Obr. 4 : Hlásenie pri použití nedefinovanej symbolickej konštanty

Toto hlásenie sa objaví vždy, keď sme na vyjadrenie vstupu alebo parametra použili dosiaľ nedefinovanú symbolickú konštantu. Definíciou tu chápeme uvedenie názvu a hodnoty symbolickej konštanty v okne **Konstanty**. V našom prípade odpovieme **ANO** tak, že stlačíme zvýraznené písmeno "A" (na čiernobielym **Obr. 4** nie je zvýraznenie viditeľné), alebo stlačíme klávesu Enter, pretože odpoveď **ANO** je zvýraznená podčiarknutím a predstavuje implicitne prednastavenú odpoveď. Všimnite si, že následne sa konštanta pridala do okna **Konstanty**, takže situácia na obrazovke vizerá takto :

Obr. 5 : Obrazovka po vložení druhého bloku

Stlačením kláves Alt+K sa presunieme do okna **Konstanty**, kde ľahko nastavíme správnu hodnotu konštanty TPOZ. Práca v okne **Konstanty** je podobná ako v okne **Bloky**, aj tu sa kurzor automaticky presunie v slede zadávaných údajov. Na pohyb kurzora sa dajú tiež využiť kurzorové šípky a klávesa TAB, ktorá zabezpečuje pohyb medzi stĺpcami **Nazev** a **Hodnota**. Pretože vieme, že budeme potrebovať ďalšie symbolické konštanty, ihneď ich definujeme. Urobíme to tak, že postupne zapíšeme názvy a hodnoty týchto konštánt podľa tabuľky 1.

Obr. 6 : Okno **Konstanty** po zadaní všetkých symbolických konštánt

Ďalej stlačíme klávesy Alt+B, čím sa presunieme späť do okna **Bloky**. Zadanie zvyšku modelu by už malo byť jednoduchou záležitosťou. Pri blokoch č. 7 a 9 si všimnite vstup vyjadrený symbolickou konštantou, ktorú zapíšeme analogicky ako v predošlých prípadoch, tj. $V \text{ T2DOL}$. Symbolická konštanta nám umožní ľahkú a rýchlu zmenu hodnoty parametrov aj na viacerých miestach simulačného modelu naraz.

Ďalším zaujímavým blokom je blok číslo 11. Jeho parameter je daný výstupom z bloku číslo 9. V okne **Bloky** zadáme typ bloku (SET) a jeho vstup (10). Tým sme sa

pesunuli do okna **Parametry**. Tu zadáme hodnotu parametra T1=**B9**. Písmeno "B" (Block) uvádza vždy vstup z bloku na mieste hodnoty parametra.

Situácia na obrazovke po vložení celého modelu je na **Obr. 7**.

Obr. 7 : Obrazovka po vložení modelu žehličky

Pred ďalšími krokmi je vhodné skontrolovať správnosť vloženého modelu a prípadné chyby opraviť. Na tento účel je nutne použitie kláves Up, Down, PgUp, PgDn, funkcia ktorých sa dá ľahko odhadnúť aj intuitívne. Klávesou Tab sa dá pohybovať medzi stĺpcami okna **Bloky** zľava doprava a následne do okna **Parametry**, klávesami Shift+Tab sa dá pohybovať v opačnom smere. Analogicky sa pohybujeme aj v ostatných oknách. Klávesami Alt+B, Alt+P a Alt+K sa prepíname medzi oknami **Bloky**, **Parametry** a **Konstanty**. Tiež si všimneme, že obsah okna **Parametry** sa vzťahuje vždy len k aktuálnemu bloku.

V tomto jednoduchom prípade nevyužijeme najsilnejšie funkcie editora – vkladanie a rušenie blokov (blokom riadkov). Tieto funkcie sa uplatnia najmä pri práci s rozsiahlejším modelom, ktorý chceme určitým spôsobom modifikovať alebo rozširovať. Popis funkcií pre prácu so skupinou blokov je uvedený v kapitole 4.1.4.

Teraz označíme výstupné bloky, teda bloky, ktorých výstupné hodnoty chceme uložiť do pamäti a následne prezentovať tabuľkou alebo niektorým typom grafu. V predchádzajúcej kapitole sme stanovili, že to budú bloky 2,3,11 a 12. V okne **Bloky** sa postupne nastavujeme na tieto bloky a stlačením klávesy F6 ich označíme ako výstupné. Tento stav je signalizovaný v stĺpci **Vystup** nápisom **ANO**. Posledným krokom pred spustením simulácie je nastavenie časových parametrov výpočtu a použitých numerických metód. Najprv vyvoláme menu **Vypocet** (Alt+V alebo F10,V) a nastavíme parametre tak, ako to vidíme na **Obr. 8**.

Obr. 8 : Menu **Vypocet**

Spustenie simulácie urobíme povelom **Vypocet/Vypocet** (Alt+V, V alebo F9). Pri bežiacom výpočte je na obrazovke okno, kde sa zobrazuje čas výpočtu (simulácie) a nastavené parametre.

Obr. 9 : Informačné okno pri bežiacom výpočte

Po skončení výpočtu si môžeme pozrieť dosiahnuté výsledky. Tabuľka riešení sa dá vyvolať povelom **Obrazovka/Vypis reseni** (Alt+O, v alebo Alt+R), uzavrieť sa dá klávesou Esc. Lepšiu predstavu o priebehu teploty však získame z časového grafu. Aby sme využili možnosti programu, urobíme ručné nastavenie rozsahu grafu. Najprv povelom **Obrazovka/Nastavení** (Alt+O, N) vyvoláme menu nastavenia parametrov grafu, kde nastavíme voľbu **Rozsah grafu RUCNE** a menu uzavrieme stlačením klávesy Esc.

Obr. 10 : Menu **Obrazovka/Nastavení**

Ďalej vyberieme povel **Obrazovka/Casovy graf** (Alt+O, C alebo Alt+C), ktorý vyvolá ďalšie menu pre nastavenie rozsahu osí a zobrazovaných blokov. Jednotlivé parametre nastavíme tak, ako to vidíme na **Obr. 11**. Položky **TMin**, **TMax** slúžia na nastavenie rozsahu časovej (vodorovnej) osi, položky **YMin**, **YMax** umožňujú nastaviť rozsah zvislej osi. Položky **Blok x** umožňujú zvoliť výstupné bloky, ktoré budú zobrazené v grafe. Vpravo umiestnený nápis **ANO** znamená, že blok bude v grafe vykreslený, nápis **NE** má opačný význam.. Nastavenie urobíme tak, že na príslušnom bloku stlačíme klávesu Enter, čo spôsobí zmenu

aktuálneho nastavenia na opačné. V našom prípade chceme zobrazit' požadovanú a skutočnú teplotu čo sú bloky 2 a 11.

Obr. 11 : Menu **Obrazovka/Casovy graf**

Ďalej vyberieme povel **!!! Vykresli graf !!!**, ktorý spôsobí vykreslenie grafu, ako to vidíme na **Obr. 12**. V grafe môžeme pohybovať grafickým kurzorom pomocou myši alebo klávesnice, po stlačení ľaného tlačidla myši alebo klávesy Enter sa zobrazia súradnice tohoto kurzora. Uzavretie grafu a návrat do menu urobíme stlačením klávesy Esc alebo pravého tlačidla myši.

Obr. 12 : Priebeh žiadanej a skutočnej teploty otopnej dosky žehličky

Teraz si znázorníme stavový graf činnosti regulačného obvodu žehličky, teda závislosť dedrivácie regulačnej odchýlky na regulačnej odchýlke. Najprv v menu zvolíme povel **Obrazovka/Stavovy graf** (Alt+O, S alebo Alt+S). Následne sa zobrazí menu, ktoré umožňuje nastaviť pomocou povelov **XMin**, **Xmax** rozsahy vodorovnej osi x (os nezávislej premennej) a pomocou povelov **YMin**, **YMax** rozsah zvislej osi y (os závislej premennej). Pri zvolení povelov **Nezavisla** a **Zavisla** sa otvorí menu výstupných blokov (**Obr. 13**), v ktorom vyberieme príslušné bloky reprezentujúce závislú, resp. nezávislú premennú. Nastavenie jednotlivých hodnôt urobíme tak, ako to vidíme na obr. 14.

Obr. 13 : Menu výstupných blokov

Obr. 14 : Menu **Obrazovka/Stavovy graf**

Zvolenie povelu **!!! Vykresli graf !!!** spôsobí vykreslenie stavového grafu, ako ho vidíme na **Obr. 15**. Graf uzavrieme klávesou Esc.

Obr. 15 : Stavový graf priebehu regulácie teploty žehličky

Nakoniec vykreslíme rozšírený stavový graf, teda stavový graf dolnený časovou osou. Zvolíme povel **Obrazovka/Rozsireny stavovy graf** (Alt+O, R), ďalej postupujeme analogicky ako pre stavový graf. Výsledok je na **Obr. 16**.

Obr. 16 : Rozšírený stavový graf priebehu regulácie teploty žehličky

Aby sme model mohli využiť aj neskôr, uložíme ho do súboru. Do súboru sa ukladá nielen vlastný model, ale aj všetky nastavené parametre, ako je čas a krok riešenia, krok uloženia, použité numerické hodnoty, rozsahy osí alebo farby a typy čiar riešení.

Pre uloženie zadania vyberieme povel **Disk/Uloz zadani** (Alt+D, U) alebo použijeme horúcu klávesu F2. Tým dôjde k zobrazeniu editačného ovládača pre zadanie mena súboru. Editačný ovládač je zvláštny typ okna, umožňujúci vstup číselných alebo textových údajov.

Obr. 17 : Editačný ovládač pre zadanie mena súboru

Zadáme teda názov súboru ZEHLICKA a zadanie do neho uložíme. Ak sme nezadali príponu, automaticky sa doplní prípona SIP. Meno súboru musí vždy spĺňať konvencie operačného systému DOS. Ak nechceme ukladať do aktuálneho adresára, môžeme zadať celú cestu. Súbor má textový formát, jeho výpis je uvedený v kapitole 8.1.2.

Vyhodnotenie výsledkov

Graf na **Obr. 12** znázorňuje časový priebeh žiadanej a skutočnej teploty otopnej dosky. Teplota rýchlo rastie, prekoná žiadanú hodnotu (čo spôsobuje hysterezia regulátora a zotrvačnosť sústavy), keď regulátor vypne, teplota vďaka zotrvačnosti sústavy ešte chvíľu stúpa, potom však začína klesať. Klesanie teploty je pritom výrazne pomalšie. Skutočná teplota opäť klesne od žiadanej teploty, keď regulátor zapne, začína opäť stúpať. To sa opakuje v pravidelných cykloch.

Na **Obr. 15** je znázornený stavový graf, kde je badateľný ustálený cyklus ohrevu a chladnutia žehličky. Prehľadnejšie je tento cyklus znázornený na rozšírenom stavovom grafe na **Obr. 16**.

Skontrolujme teraz, či simulované chovanie žehličky zodpovedá jej skutočnému chovaniu, napr. porovnávaním skutočnej a simulovanej prechodovej charakteristiky. Ak je to potrebné, urobíme korekciu parametrov jej modelu.

Simulácia vplyvu hysterezie bimetalu na chovanie žehličky

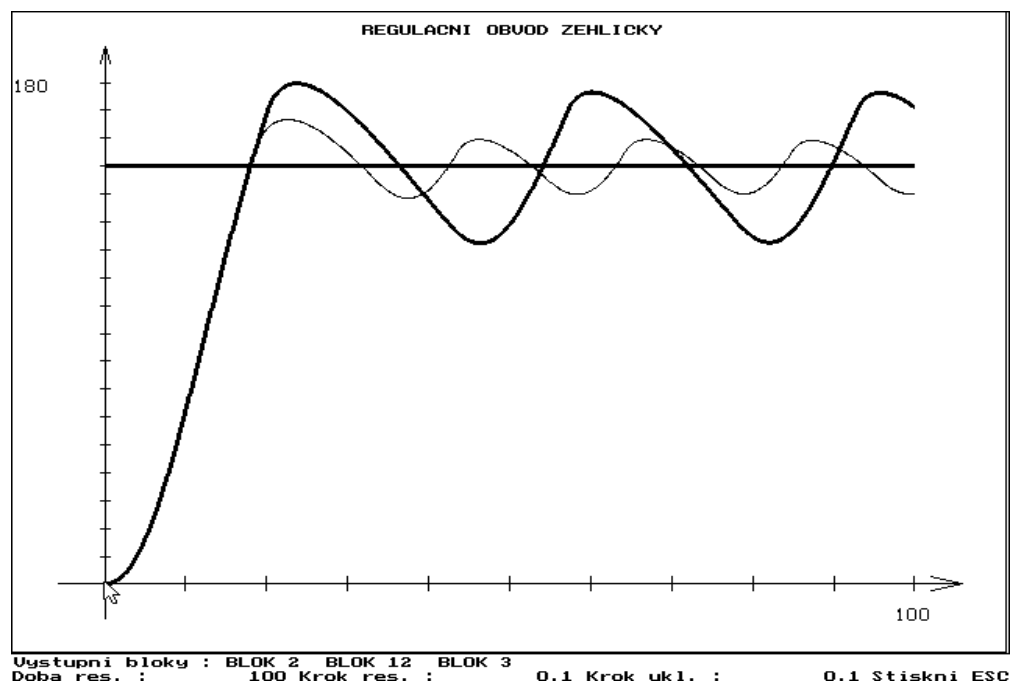
Akonáhle je simulačný model žehličky odladený, môžeme ho použiť na zisťovanie, ako by sa na chovaní žehličky prejavili zásahy dojej jednotlivých častí. Pritom nepredpokladáme žiadne fyzické zmeny na žehličke. Najjednoduchším zásahom je zmena hysterezie bimetalu. Pozrime sa teda, čo spôsobí zmenšenie hysterezie bimetalu na hodnotu $h=10$ (symbolická konštanta Hyst v simulačnom modeli).

Najprv si doterajšie riešenie pre hystereziu $h=40$ uložíme do pamäti. To urobíme povelom **Vypocet/Uschovej reseni** (Alt+V, U alebo Alt+U). O uložení nás informuje dialógový box s príslušným oznamom. Od tejto chvíle označujeme uložené riešenie ako minulé riešenie.

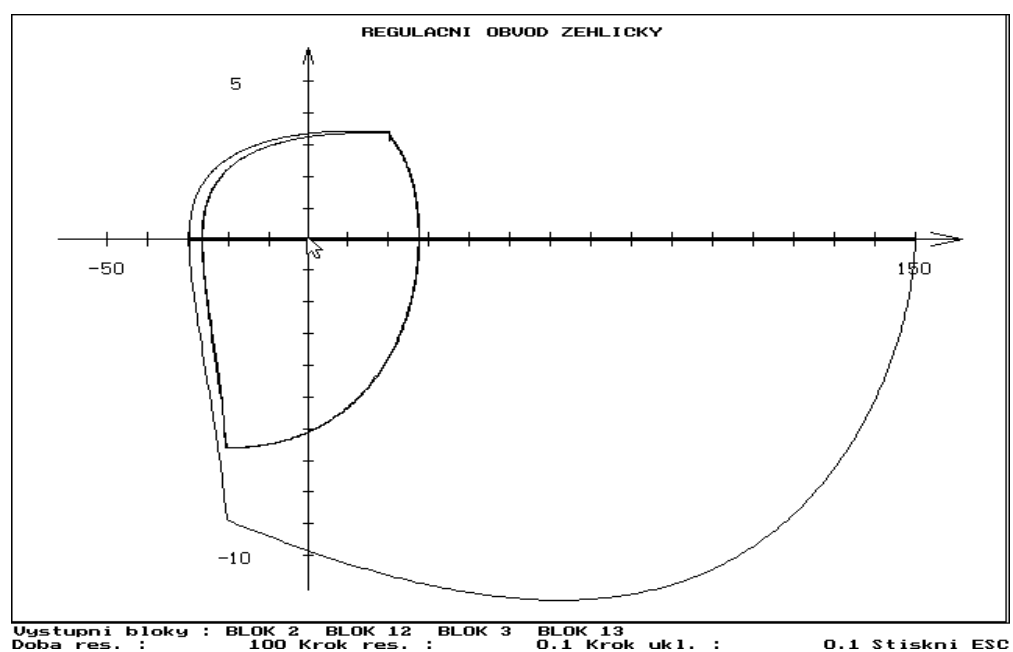
V editore sa teraz presunieme do okna **Konstanty** (Alt+K) a zmeníme hodnotu konštanty Hyst na 10. Teraz spustíme výpočet (F9). Aby sme mohli porovnať minulé a aktuálne riešenie, zvolíme povel **Obrazovka/Nastavení**. Zobrazí sa menu, ktoré obsahuje aj povely na nastavenie minulého riešenia (porovnaj **Obr. 10** a **Obr. 18**). Tu urobíme také nastavenie, aby minulé aj aktuálne riešenie bolo zobrazené v spoločnom (hlavnom) okne s rovnakými mierkami, minulé riešenie chceme odlíšiť hrubou čiarou (**Obr. 18**). Menu uzavrieme klávesou Esc.

Obr. 18 : Menu **Obrazovka/Nastavení**

Následne vyvoláme časový a stavový graf, rovnako ako v predchádzajúcich prípadoch. Na **Obr. 19** vidíme porovnanie časových priebehov teploty otopnej dosky pre obidve nastavené hysterezie bimetalu. Pre menšiu hodnotu je prepínanie častejšie. Týmje tiež väčšie opotebenie a kratšia životnosť, ale tiež menšia amplitúda kmitania teploty. Stavový graf pre obidve nastavenia hysterezie je na **Obr. 20**.



Obr. 19 : Pribeh žiadanej a skutočnej teploty otopnej dosky žehličky



Obr. 20 : Stavový graf priebehu regulácie teploty žehličky