

UDK 621.224—55

Odvisnost stabilnosti hidroagregata od nastavitvenih konstant regulatorja

ZORAN KARIŽ

UVOD

Omenjena naloga je plod sodelovanja med oddelkom za turbinsko regulacijo tovarne »Litostroj« v Ljubljani ter katedre za tehnično kibernetiko Fakultete za strojništvo v Ljubljani. V prvi varianti je bila rešena kot seminarska naloga [3], dodatne zahteve pa so povzročile spremembe in dopolnitve pri reševanju vprašanja stabilnosti. Ta članek pri naša o njem opis metod in poteka ter rezultate.

1. OPIS PROBLEMA

Stabilnost sistema avtomatičnega krmiljenja vrtilne hitrosti (oz. frekvence) hidroagregata s Peltonovo turbino je osnovno vprašanje njegove uporabnosti [1]. Ker pa pri sistemih z dolgim cevovodom pri spremembi položaja ige* močno vpliva na dinamiko vodni udar, ga je v nekaterih primerih raziskave stabilnosti treba tudi upoštevati. Drugo zanimivo vprašanje je, kako nastavitve regulatorja vplivajo na kakovost sistema že v stacionarnem stanju, če predpostavljamo nedušen vodni udar.

Nakazana problematika nam že ponuja način, kako naj jo raziščemo. Če vzbujamo model sistema krmiljenja vrtilne hitrosti hidroagregata s koračno funkcijo, nam bo časovno naraščanje amplitude absolutne vrednosti poljubnega izhodnega signala kazalo nestabilnost sistema in nasprotno. Upoštevanje in neupoštevanje na modelu vodnega udara bo pokazalo vpliv tega pojava na stabilnost. Drugo vprašanje, ki je v praksi prav tako pomembno, kakšne so namreč amplitude izhodnega signala — vrtilne hitrosti že v stacionarnem stanju sistema zaradi nedušenega vodnega udara, pa raziščemo z opazovanjem omenjene amplitude po umirjenju prehodnega pojava po vzbujanju sistema s koračno funkcijo. Ta pojav definiramo s kakovostjo sistema v stacionarnem stanju.

Naloga se torej deli na tri dele:

- določanje odvisnosti stabilnosti sistema od nastavitvenih vrednosti konstant regulatorja,
- določanje odvisnosti stabilnosti sistema od vodnega udara,
- določanje kakovosti sistema v odvisnosti od vodnega udara in vrednosti nastavitvenih konstant regulatorja v stacionarnem stanju.

V točkah a, b in c podane zahteve združimo v en pojem — stabilnost hidroagregata, ki jo je treba raziskati.

Nalogo smo rešili z modeliranjem na hibridnem računalniku MEDA 41 T.

* Možna je trojna regulacija obravnavanega hidroagregata: samo z iglo, samo z odrezilom ali z obema.

2. OPIS HIDROAGREGATA

Hidroagregat sestavlja dve Peltonovi turbini s po dvema šobama z generatorjem na isti gredi, ki imata moč 59 MW pri imenski vrtilni hitrosti $n_N = 428,5 \text{ min}^{-1}$ ter pri padcu $H_N = 526 \text{ m}$. Karakteristični čas vztrajnosti vode v dovodnem cevovodu je $T_w = 2,7 \text{ s}$, karakteristični čas vodnih valov $T_r = 4,2 \text{ s}$. Regulator hitrosti ima strukturno shemo po sl. 1.

Raziskati je treba dani sistem za spreminjanje regulatorskih konstant v naslednjih območjih:

- pri stalni statiki (nasprotni vrednosti proporcionalnega ojačanja regulatorja) $b_p = 0 \dots 16 \%$,
- pri diferencialni časovni konstanti $T_n = 0 \dots 5 \text{ s}$,
- pri proporcionalni časovni konstanti $T_x = 0 \dots 4 \text{ s}$.

Upoštevati je treba koeficient samoreguliranja obremenitve v mejah $e_g = -1, 0$ in 2 , prazni tek ter 20% , 60% in 100% odstotno obremenitev agregata.

Podatki o vrsti turbine in o načinu obratovanja nam dajo naslednji sistem enačb [2, 3], ki opisuje hidroagregat**,

$$\begin{aligned} T_a \cdot s \cdot x(s) &= \Delta m_t(s) - \Delta m_g(s) \\ \Delta m_t(s) &= m_{ty2} \cdot \Delta y_2(s) + e_t \cdot \Delta x(s) + m_{th} \cdot \Delta h(s) \\ \Delta m_g(s) &= e_g \cdot \Delta x(s) + z(s) \\ \Delta q(s) &= q_y \cdot \Delta y_2(s) + q_h \cdot \Delta h(s) \\ \Delta h(s) &= G_u(s) \cdot \Delta q(s) \end{aligned} \quad (2.1)$$

kjer pomenijo:

- e_t — koeficient samoreguliranja turbine,
- h — relativno tlačno višino,
- G_u — prenosno funkcijo vodnega udara,
- Δh — relativni odstopok tlačne višine vode od obratovalne,
- Δm_g — relativni odstopok momenta generatorja od obratovalne vrednosti,
- Δm_t — relativni odstopok momenta turbine od obratovalne vrednosti,

$$m_{ty2} = \left. \frac{\partial m_t}{\partial y_2} \right|_0$$

(0 — pomeni obratovalno točko)

$$m_{th} = \left. \frac{\partial m_t}{\partial h} \right|_0$$

- q — relativni pretok vode skozi turbino,
- Δq — odstopok relativnega pretoka od obratovalne vrednosti,

** Upoštevamo najneugodnejši primer regulacije samo z iglo, z odrezilom pa ne.

$$q_h = \left. \frac{\partial q}{\partial y_2} \right|_0$$

$$q_{y_2} = \left. \frac{\partial q}{\partial h} \right|_0$$

s — Laplace-ovo spremenljivko,

T_a — časovno konstanto hidroagregata [s],

Δx — relativni odstop kotne vrtilne hitrosti turbine od nazivne vrednosti,

y_2 — relativni gib izvršnega organa (igle),

Δy_2 — relativni gib izvršnega organa od stacionarnega stanja,

z — relativno breme.

Če iz enačb (2.1) eksplicitno izračunamo $\Delta x(s)$, dobimo odvisnost

$$\Delta x(s) = \frac{m_{ty_2} + m_{th} \cdot \frac{G_u(s)}{1 - q_h \cdot G_u(s)} \cdot q_{y_2}}{(e_g - e_t) + T_a \cdot s} \cdot \frac{\Delta y_2(s) - 1}{(e_g - e_t) + T_a \cdot s} \quad (2.2)$$

Pri reševanju vprašanja stabilnosti bomo upoštevali le odvisnost spremembe vrtilne hitrosti turbine od položaja igle ali izraženo s prenosno funkcijo

$$G_A(s) = \frac{\Delta x(s)}{\Delta y_2(s)} = \frac{m_{ty_2} + m_{th} \cdot \frac{G_u(s)}{1 - q_h \cdot G_u(s)} \cdot q_{y_2}}{(e_g - e_t) + T_a \cdot s} \quad (2.3)$$

V zgornji enačbi velja, da je [3]

$$\begin{aligned} m_{th} &= 1,5 m_{to} \\ q_h &= 0,5 q_o \end{aligned} \quad (2.4)$$

in da gre za elastični vodni udar s prenosno funkcijo

$$G_u(s) = \frac{\Delta h(s)}{\Delta q(s)} = -2 \frac{T_w}{T_r} th(0,5 T_r \cdot s) \quad (2.5)$$

Če vstavimo izraza (2.5) in (2.4) v (2.3), dobimo nazadnje

$$G_A(s) = \frac{\Delta x(s)}{\Delta y_2(s)} = \frac{m_{ty_2} + (m_{ty_2} \cdot q_o - 3 m_{to} \cdot q_{y_2}) \cdot \frac{T_w}{T_r} th(0,5 T_r \cdot s)}{[(e_g - m_{to}) + T_a \cdot s] \left[1 + q_o \frac{T_w}{T_r} th(0,5 T_r \cdot s) \right]} \quad (2.6)$$

in s številkami

$$G_A(s) = \frac{m_{ty_2} + (m_{ty_2} \cdot q_o - 3 m_{to} \cdot q_{y_2}) \cdot 2,57 th(2,1 s)}{[(e_g - m_{to}) + 8,74 s] [1 + q_o \cdot 2,57 th(2,1 s)]} \quad (2.7)$$

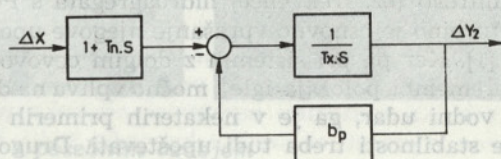
Vse konstante iz enačbe (2.7), označene s črkami, so spremenljive v odvisnosti od obremenitve, vrste mreže in stalne statike. K prenosni funkciji $G_A(s)$, moramo dodati še prenosno funkcijo regulatorja (sl. 1)

$$G_{RG}(s) = \frac{1 + T_n \cdot s}{b_p + T_x \cdot s} \quad (2.8)$$

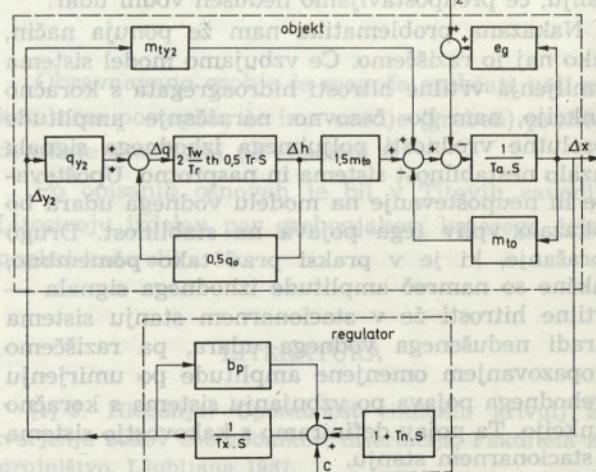
kar nam da celotno prenosno funkcijo, ki je razvidna iz blokovne sheme regulacije vrtilne hitrosti hidroagregata (sl. 2).

Shemo zaradi nazornosti še poenostavimo (glej sliko 3).

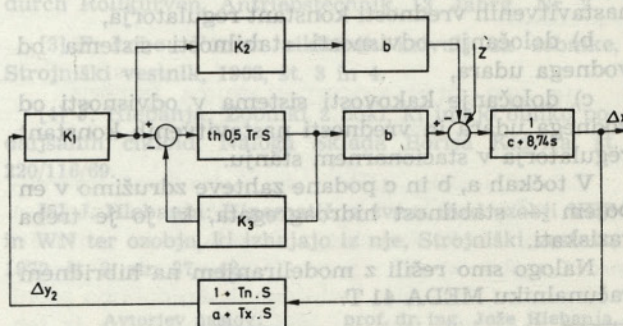
Primerjava slik 2 in 3 nam pojasni tudi pomen novih označb K_1 , K_2 , K_3 , a , b in c .



Sl. 1. Strukturna shema regulatorja



Sl. 2. Blokovna shema hidroagregata



Sl. 3. Poenostavljena blokovna shema hidroagregata

3. METODA DOLOČANJA STABILNOSTI

Poleg običajne odvisnosti stabilnosti avtomatskega sistema od nastavitvenih parametrov regulatorja je treba določiti tudi vpliv vodnega udara tako na stabilnost kakor tudi na kakovost sistema že v stacionarnem stanju.

Opazovati je torej treba prehodni pojav, prav tako pa tudi stacionarno stanje sistema v odvisnosti od parametrov sistema.

Če torej združimo opazovanje obeh pojavov, bomo lahko odgovorili na vsa zastavljena vprašanja iz naloge. Metoda določanja stabilnosti se ponuja kar sama: tj. opazovanje prehodne funkcije sklenjenega sistema avtomatične regulacije za posamezne nastavitve konstant regulatorja. Nyquistova [4] in druge [1, 5] metode določanja stabilnosti bi hkrati ne omogočale tudi opazovanja stacionarnega stanja, če že ne navajamo drugih težav, kakor so pri frekvenčnih metodah potrebno stacionarno stanje, pregled primerne področja frekvenc itd.

Način reševanja naloge bo torej takle: pri izbranih regulatorjevih nastavitvenih konstantah bomo vzbudili sistem s koračno funkcijo, odziv sistema pa bomo absolutizirali, izračunali maksimalno vrednost regulirane veličine in njeno časovno spreminjanje. Če bo to pozitivno ali nič, bomo imeli sistem za nestabilen, sicer pa za stabilen. Dodatno merilo za kakovost v stacionarnem stanju pa bo v odvisnosti od nedušenega vpliva hidravličnega udara pokazalo, ali je sistem dovolj natančen in uporaben. Podoben postopek je tudi pri določanju stabilnosti sistema brez upoštevanja vodnega udara.

4. UTEMELJITEV UPORABE HIBRIDNEGA RAČUNALNIKA

Osnovna utemeljitev je pač, da analogni (torej tudi hibridni) računalniki zelo hitro in dovolj preprosto rešujejo enačbe prehodnih procesov krmilnih sistemov. Logični del računalnika pa omogoča iteracijsko reševanje nalog, v našem primeru torej zaporedno avtomatično spreminjanje nastavitvenih konstant regulatorja. Uporaba hibridnega računalnika omogoča tudi sprotno opazovanje prehodnega pojava in stacionarnega stanja, kar je pri računalniškem reševanju problemov izredno pomembno. Prav ta argument je bil v korist hibridnega računalnika, ko so bile v obravnavi metode reševanja algebrائيh enačb, ki naj bi dale tiste vrednosti nastavitvenih konstant regulatorja, za katere je sistem avtomatičnega krmiljenja na meji stabilnosti. Prav posebno pa je pomembna možnost natančnega modeliranja prenosne funkcije vodnega udara.

Po drugi strani pa programiranje avtomatičnega računa ter spreminjanja konstant ni posebno lahka naloga. Tudi izpisovanje rezultatov na x - y risalniku

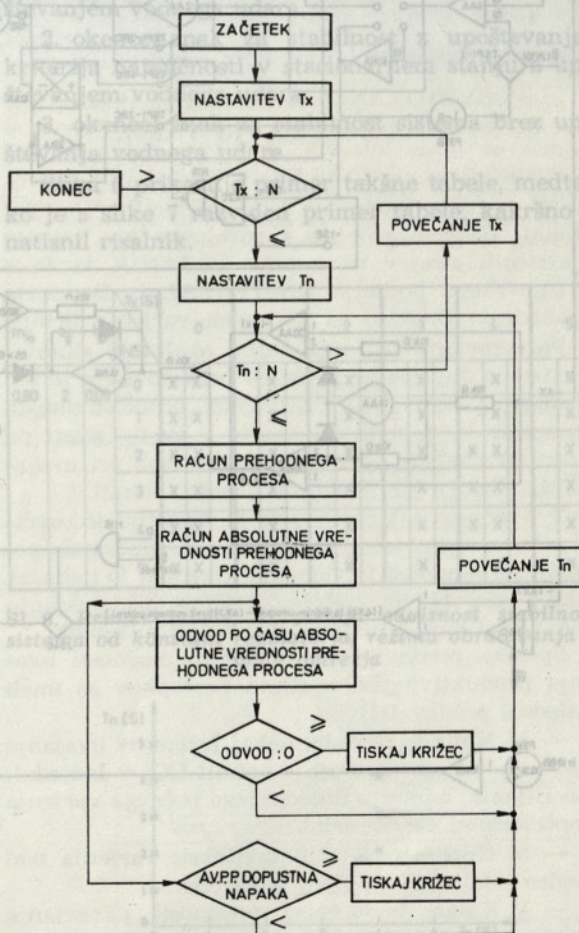
ni tako odlično, kakor velja to za izpis rezultatov na digitalnem računalniku.

Če pretehtamo vse glavne motive za in proti, je jasno, zakaj smo se odločili za hibridnega.

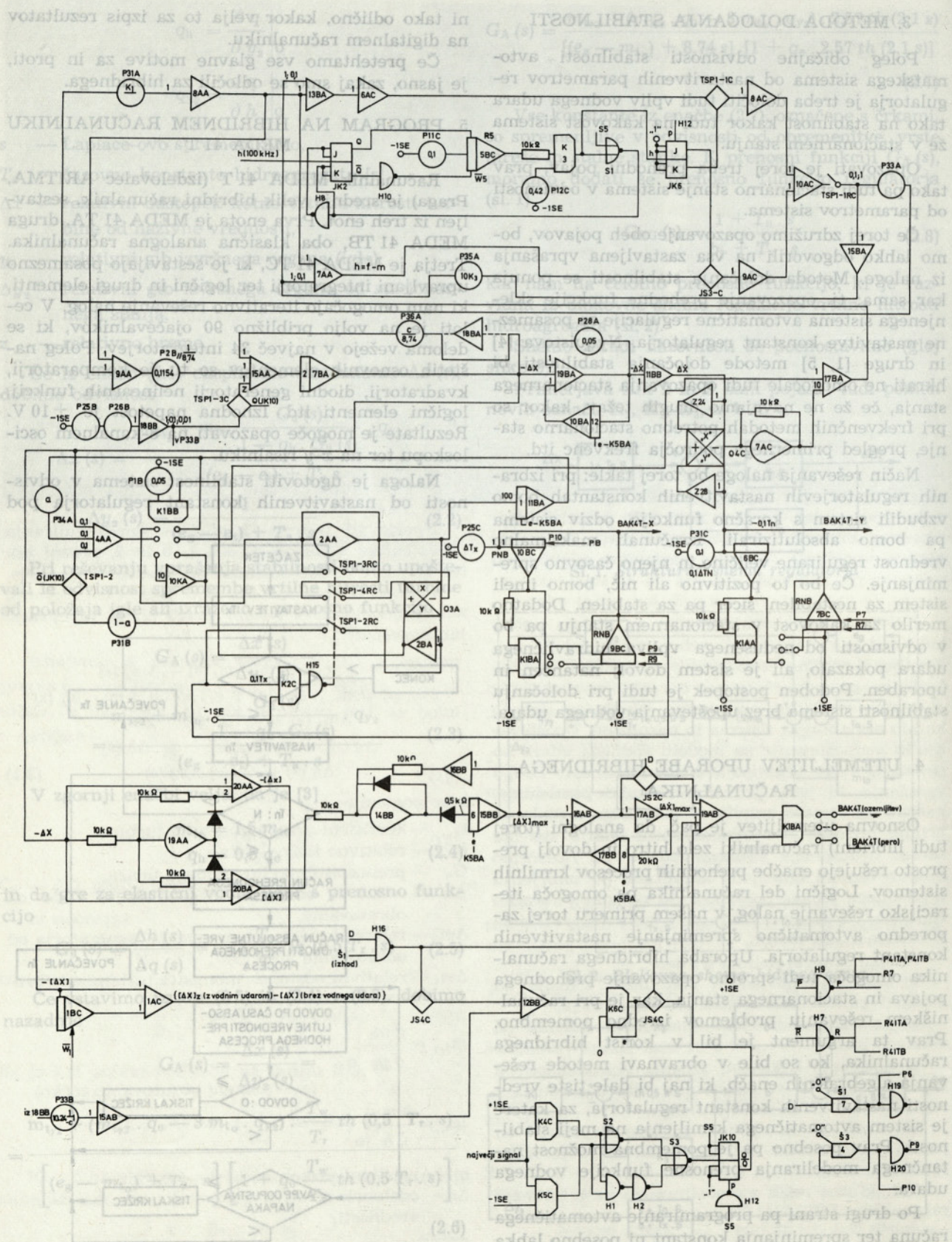
5. PROGRAM NA HIBRIDNEM RAČUNALNIKU MEDA 41 T

Računalnik MEDA 41 T (izdelovalec ARITMA, Praga) je srednje velik hibridni računalnik, sestavljen iz treh enot. Prva enota je MEDA 41 TA, druga MEDA 41 TB, oba klasična analogna računalnika. Tretja je MEDA 41 TC, ki jo sestavljajo posamezno upravljani integratorji ter logični in drugi elementi, ki nam omogočajo iterativno reševanje nalog. V celoti je na voljo približno 90 ojačevalnikov, ki se deloma vežejo v največ 34 integratorjev. Poleg naštetih osnovnih elementov so tu še komparatorji, kvadratorji, diodni generatorji nelinearnih funkcij, logični elementi itd. Izhodna napetost je ± 10 V. Rezultate je mogoče opazovati na 8-kanalnem osciloskopu ter na x - y risalniku.

Naloga je ugotoviti stabilnost sistema v odvisnosti od nastavitvenih konstant regulatorja pod



Sl. 4. Načelni potek računa za en obratovalni režim



Sl. 5. Program za hibridni računalnik MEDA 41 T

vplivom vodnega udara in brez njega ter vpliv vodnega udara na kakovost stacionarnega stanja. Pri tem se avtomatično spreminjata parametra regulatorja T_n in T_x , medtem ko preostale vrednosti, ki so odvisne od različnih režimov obratovanja hidroagregata (vrsta omrežja, odstotek obremenitve) nastavljamo ročno. Vprašanje je, zakaj tako, če imamo možnosti avtomatičnega nastavljanja še kakšne spremenljivke? Odgovor na to je, da rezultate iz računa rišemo v obliki ravninskih diagramov $T_n - T_x$ za različne režime obratovanja hidroagregata.

Sestaviti moramo torej ustrezno zaporedje operacij v enem koraku iteracijskega računa. Korak definirata nastavitveni konstanti regulatorja (glej sl. 4). Zaporedje operacij, kakor ga prikazuje sl. 4, pa ima še nekaj dodatnih elementov: čakanje, da sistem doseže stacionarno stanje, upoštevanje ali neupoštevanje vpliva vodnega udara itd. Vse te dodatne elemente upoštevamo pri konkretnem programiranju.

Na sliki 5 je narisana program v zaporedju, kakršnega prikazuje slika 4. Program daje možnost raziskave zgoraj postavljenih vprašanj za linearni model hidroagregata z natančnim modelom elastičnega vodnega udara, kakor ga opisuje enačba (2.5). V enem iteracijskem ciklu raziščemo stabilnost hidroagregata z upoštevanjem in brez upoštevanja vodnega udara za celotno območje spreminjanja konstant T_n in T_x regulatorja pri preostalih nespremenjenih vrednostih.

Logično zaporedje operacij, ki ga ponazarja sl. 4, ureja ciklični generator časovnih impulzov, ki omogoča štiri zaporedne korake, katerih trajanje je mogoče nastavljati, in štiri, ki so po trajanju odvisni od prvih. S temi impulzi sprožujemo nastavljanje časovnih konstant T_x in T_n , nato sprožujemo prehodni proces. Ko se ta ustali, pa na podlagi vrednosti odvoda, njegove absolutne vrednosti in kriterija dopustnega odstopanja frekvence od zahtevane sklepamo o stabilnosti sistema. Cikel se nato ponovi.

Modeliranje prenosne funkcije vodnega udara (enačba 2.5) je mogoče z individualno upravljanim integratorjem in nekaj logičnimi elementi, od katerih je le eden spominski JK flip flop. Z integratorjem in logiko ustvarjamo žagasto napetost, ki je namenjena vklopjanju in izklapljanju elektronskega para stikal. Skozi ta par stikal spuščamo signal z različnim predznakom in tako ustvarjamo model vodnega udara.

Posebno zahtevno za število elementov računalnika je modeliranje regulatorja, katerega konstante se avtomatično spreminjajo in v določenem trenutku zavzamejo v imenovalcu vrednost 0. Za ta primer je treba sestaviti posebno shemo in jo vklopiti v primernem trenutku. Ta posebna shema zahteva zlasti množico stikal, ki jih upravljamo s cikličnim generatorjem časovnih impulzov.

Zaradi računanja absolutne vrednosti signala frekvence hidroagregata je hitrost računa omejena z minimalno upornostjo, ki jo lahko uporabljamo v vezju, to je 0,5 k Ω . Tako lahko le 100-krat pospešimo račun v primerjavi z realnim časom, kar ni malo, četudi bi bila večja pospešitev ugodna.

6. REZULTATI

V celoti je treba podati 20 trojnih tabel, kjer pomeni 20 število izbranih kombinacij za 4 mogoče stopnje obremenitev (prazni tek, 20, 60 in 100 %), tri vrste omrežja ($e_g = 0, -1$ in 2) ter tri vrednosti stalne statike ($b_p = 0; 0,05$ in 0,16). V vsaki tabeli trajata časa T_n in T_x vsak od 0 do 5 s po stopnjah 1 s. Križci pomenijo, da je sistem za izbrane parametre nestabilen, prazen prostor pomeni, da je sistem stabilen, 0 pa, da je vprašanje stabilnosti brezpredmetno (sistem je nestabilen zaradi vodnega udara, kriterij natančnosti v stacionarnem stanju nima več vpliva).

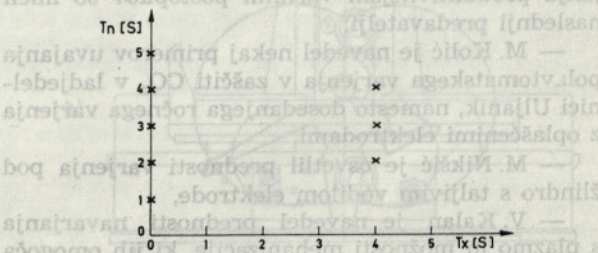
Trojna razdelitev vsake kombinacije parametrov od leve proti desni pomeni:

1. okence: znak za stabilnost brez upoštevanja kriterija natančnosti v stacionarnem stanju z upoštevanjem vodnega udara,
2. okence: znak za stabilnost z upoštevanjem kriterija natančnosti v stacionarnem stanju z upoštevanjem vodnega udara,
3. okence: znak za stabilnost sistema brez upoštevanja vodnega udara.

Slika 6 prikazuje primer takšne tabele, medtem ko je s slike 7 razviden primer tabele, kakršno je natisnil risalnik.

m_{10}	e_g	b_p	$T_x(S)$	$T_n(S)$						
			0	1	2	3	4	5		
0,60	2	0,05	0	x	x		x		x	
			1	x	x		x		x	
			2	x	x		x	x	x	
			3	x	x		x	x	x	
			4	x	x		x	x	x	
			5	x	x		x		x	

Sl. 6. Primer tabele, ki podaja odvisnost stabilnosti sistema od konstant regulatorja, režima obratovanja in vrste omrežja



Sl. 7. Primer tabele, ki jo je natisnil risalnik

Dobljeni rezultati omogočajo izbiro parametrov regulatorja hidroagregata, ki bodo uporabni za stabilno delovanje sistema v takem pomenu, kakršen je opisan v točki 1 tega sestavka.

7. SKLEP

Hibridni računalnik se je pokazal kot primerno sredstvo za študij stabilnosti hidroagregata, posebej s stališča modeliranja vodnega udara, nazornosti reševanja in možnosti preprostega prilagajanja modela spremenjenim zahtevam.

Slaba stran pa je kljub dokajšnji stopnji avtomatizacije nujnost ročnega nastavljanja posameznih parametrov cikla, kar je vezano tudi z zmogljivostjo in izvedbo računalnika.

Vrednost teoretično ugotovljenih rezultatov bo znatno večja, ko jih bomo primerjali z eksperimentalno dobljenimi podatki.

LITERATURA

[1] Tehničeskaja kibernetika — Teorija avtomatičeskogo regulirovanija t. 1 »Mašinostroenie«, Moskva 1967.

[2] Pivovarov V. A.: Proektirovanie i rasčet sistem regulirovanija gidroturbin »Mašinostroenie«, Leningrad 1973.

[3] Aleksić U., Bon D., Kovačič Z., Mozetič O.: Seminarška naloga »Konstruiranje krmilnih sistemov«, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1974.

[4] Tehničeskaja kibernetika — Teorija avtomatičeskogo regulirovanija t. 2 »Mašinostroenie«, Moskva 1967.

[5] Hokeš J., Kohout P.: Aplikace a systémy hybridních počítačů n. p. Aritma, Praha, 1971.

Avtorjev naslov:

mag. Zoran Kariž, dipl. ing.,
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani

POROČILO

UDK 621.791:658.52.011

POSVETOVANJE O MEHANIZACIJI IN AVTOMATIZACIJI PRI VARJENJU

V letošnjem aprilu je bilo v Beogradu posvetovanje o mehanizaciji in avtomatizaciji v varilni tehniki. Posvetovanje je s sodelovanjem tovarne električnih strojev in naprav ULJANIK iz Pule in trgovskega podjetja UNIVERZAL iz Beograda organiziralo Društvo za napredek varjenja Srbije.

Posvetovanja se je udeležilo okoli 200 slušateljev iz vse Jugoslavije. Namen posvetovanja je bil, seznaniti udeležence z razvojem produktivnejših postopkov in naprav pri nas in v svetu, zlasti pa izmenjati izkušnje in osvetliti probleme pri uvajanju sodobnejše tehnologije v varilni tehniki.

V uvodnem predavanju je A. Arsenijević osvetlil nekatere probleme, zaradi katerih moramo posodobljati tehnologijo varjenja. Obenem je nakazal, kakšen naj bi bil načelen pristop pri uvajanju mehanizacije in avtomatizacije v varilni tehniki.

Splošna predavanja s prikazom možnosti uvajanja produktivnejših varilnih postopkov so imeli naslednji predavatelji:

— M. Kolić je navedel nekaj primerov uvajanja polavtomatskega varjenja v zaščiti CO₂ v ladjedelnici Uljanik, namesto dosedanjega ročnega varjenja z oplaščenimi elektrodami,

— M. Nikšić je osvetlil prednosti varjenja pod žilindro s taljivim vodilom elektrode,

— V. Kalan je navedel prednosti navarjanja s plazmo in možnosti mehanizacije, ki jih omogočata sodobni varilni postopek,

— V. Dilthy je prikazal, kako je mogoče povečati produktivnost in ekonomičnost postopka EPP (z več žicami, z dovajanjem predgrete žice, z uvedbo širokih tračnih elektrod).

Če izvzamem še predavanje V. Sabljaka, ki se je omejil na mehanizem za dovajanje žice pri avtomatskih in polavtomatskih postopkih varjenja, so preostala predavanja obravnavala praktične probleme v industriji. Bili so podani primeri uvajanja sodobnejših, produktivnejših varilnih postopkov, prijemi pri reševanju tehnoloških in organizacijskih težav ter dosežene prednosti z uvedbo mehanizacije in avtomatizacije pri varjenju.

Osnovno misel, ki jo je poudarjalo ali vsaj v načelu izkazovalo vseh 15 predavateljev, bi lahko strnil v naslednjem. Avtomatizacija ni in ne more biti sama sebi namen. Osnovno vodilo, ki nas sili v to, da varilne postopke v kar največji meri mehaniziramo ali celo avtomatiziramo, je zniževanje stroškov varjenja, boljša kvaliteta zvarnega spoja in izboljšanje varilčevih delovnih razmer. Pri tem pa ne smemo gledati problemov le delno; za-jeti je treba celotni proizvodni proces, od vhoda materiala, prek posameznih tehnoloških operacij in transporta pa do kontrole.

V okviru posvetovanja je bil organiziran tudi prikaz naprav v Zavodu za varjenje, ki pa je bil le propaganda za izdelke TESU Uljanik iz Pule.

Večji del predavanj je zbran v zborniku, ki ga je prejel vsak udeleženec, preostala predavanja pa bodo objavljena v reviji »Zavarivač«.

Ivan Polajnar