

1.12. SUDĖTINGOS SISTEMOS VIDINIO MODELIO PANAUDOJIMAS JOS IŠORINIO MODELIO VAIDMENYJE

Sudėtinga sistema todėl ir vadinama sudėtinga, jog ji negali būti iš karto aprėpta vieno žmogaus intelektu. **Todėl sudėtingai sistemai iš karto negali būti sudarytas išorinis matematinis modelis.**

Tačiau, dekomponavus sistemą į mažiau sudėtingas dalis, gali pavykti sudaryti tų dalių makromodelius, o po to juos sujungti į sistemos mikromodelį.

Sistemos mikromodelį galima naudoti ne tik kaip sistemos vidinį modelį, bet ir sistemos išorinio modelio vaidmenyje, t. y., žinant sistemos išorinių įėjimų trajektorijas ir sistemos pradinę būseną, naudojantis jos vidiniu modeliu, galima rasti išorinių išėjimų ir sistemos fazines trajektorijas.

1.12.1. Išorinio sistemos modelio gavimo iš jos vidinio modelio pavyzdys

Kartais iš sistemos matematinio mikromodelio, eliminuojant vidines sistemos koordinates, pavyksta surasti matematiškai išreikštas priklausomybes tarp išorinių sistemos koordinačių, t. y. **gauti sistemos išorinį matematinį modelį.**

Kaip pavyzdį, iliustruojantį šią mintį, iš medžiagų sandėlio vidinio modelio gausime jo išorinį modelį.

Iš sandėlio struktūros matematinio modelio dvyliktosios lygybės ir iš sandėlininko makromodelio gauname: $(\bar{y} = \bar{y}_5^{(S)}) \wedge (y_{5,i,j}^{(S)} = x_{2,i,j}^{(S)}) \rightarrow (y_{i,j} = x_{2,i,j}^{(S)})$.

Iš sandėlio struktūros matematinio modelio antrosios lygybės ir iš lentynų makromodelio gauname: $(\bar{x}_2^{(S)} = \bar{y}^{(L)}) \wedge (y_{i,j}^{(L)} = x_{2,i,j}^{(L)}) \rightarrow (x_{2,i,j}^{(S)} = x_{2,i,j}^{(L)})$. Todėl $y_{i,j} = x_{2,i,j}^{(L)}$.

Iš sandėlio struktūros matematinio modelio vienuoliktosios lygybės ir iš sandėlininko makromodelio gauname:

$$(\bar{x}_2^{(L)} = \bar{y}_4^{(S)}) \wedge y_{4,i,j}^{(S)} = \begin{cases} \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}), \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \leq x_{1,i}^{(S)}, \\ \frac{\min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \cdot x_{1,i}^{(S)}}{\sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)})}, \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \geq x_{1,i}^{(S)}. \end{cases} \rightarrow$$

$$\rightarrow x_{2,i,j}^{(L)} = \begin{cases} \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}), \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \leq x_{1,i}^{(S)}, \\ \frac{\min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \cdot x_{1,i}^{(S)}}{\sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)})}, \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \geq x_{1,i}^{(S)}. \end{cases}.$$

$$\text{Todėl } y_{i,j} = \begin{cases} \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}), \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \leq x_{1,i}^{(S)}, \\ \frac{\min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \cdot x_{1,i}^{(S)}}{\sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)})}, \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{4,i,j}^{(S)}, x_{7,i,j}^{(S)} - x_{6,i,j}^{(S)}) \geq x_{1,i}^{(S)}. \end{cases}$$

Iš sandėlio struktūros matematinio modelio ketvirtosios, šeštosios, septintosios ir pirmosios lygybių, o taip pat iš žurnalų ir kartotekos makromodelių gauname, jog $(\bar{x}_4^{(S)} = \bar{x}_2) \wedge (\bar{x}_6^{(S)} = \bar{y}_1^{(Z)}) \wedge (\bar{x}_7^{(S)} = \bar{y}_2^{(Z)}) \wedge (\bar{x}_1^{(S)} = \bar{y}^{(K)}) \wedge (y_{1,i,j}^{(Z)} = z_{1,i,j}^{(Z)}) \wedge (y_{2,i,j}^{(Z)} = z_{2,i,j}^{(Z)}) \wedge (y_i^{(K)} = z_i^{(K)}) \rightarrow (x_{4,i,j}^{(S)} = x_{2,i,j}^{(S)}) \wedge (x_{6,i,j}^{(S)} = z_{1,i,j}^{(Z)}) \wedge (x_{7,i,j}^{(S)} = z_{2,i,j}^{(Z)}) \wedge (x_{1,i}^{(S)} = z_i^{(K)})$.

$$\text{Todėl } y_{i,j} = \begin{cases} \min(x_{2,i,j}, z_{2,i,j}^{(Z)} - z_{1,i,j}^{(Z)}), \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{2,i,j}^{(Z)} - z_{1,i,j}^{(Z)}) \leq z_{1,i}^{(K)}, \\ \frac{\min(x_{2,i,j}, z_{2,i,j}^{(Z)} - z_{1,i,j}^{(Z)}) \cdot z_{1,i}^{(K)}}{\sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{2,i,j}^{(Z)} - z_{1,i,j}^{(Z)})}, \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{2,i,j}^{(Z)} - z_{1,i,j}^{(Z)}) \geq z_{1,i}^{(K)}. \end{cases}$$

Kadangi $z_{2,i,j}^{(Z)} = z_{3,i,j}^{(Z)}$, $z_{1,i,j}^{(Z)} = z_{2,i,j}^{(Z)}$ ir $z_{1,i}^{(K)} = z_{1,i}$, tai

$$y_{i,j} = \begin{cases} \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}), \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}) \leq z_{1,i}, \\ \frac{\min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}) \cdot z_{1,i}^{(K)}}{\sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j})}, \\ \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}) \geq z_{1,i}. \end{cases}, \text{ t. y. gauname sandėlio išorinio}$$

matematinio modelio išėjimo funkciją išėjimo vektoriaus $\bar{y}$ koordinatei $y_{i,j}$.

Panašiu būdu iš sandėlio mikromodelio gausime sandėlio makromodelio perėjimo funkcijas.

$$\begin{aligned} \text{Pavyzdžiui: } z_{1,i}(t+1) &= z_i^{(K)}(t+1) = z_i^{(K)}(t) + x_{1,i}^{(K)}(t) - x_{2,i}^{(K)}(t) = z_i(t) + \\ &+ y_{1,i}^{(S)}(t) - y_{2,i}^{(S)}(t) = z_{1,i}(t) + x_{3,i,j}^{(S)}(t) - \sum_{j=1}^m x_{2,i,j}^{(S)}(t) = z_{1,i}(t) + x_{1,i}(t) - \sum_{j=1}^m y_{i,j}^{(L)}(t) = \\ &= z_{1,i}(t) + x_{1,i}(t) - \sum_{j=1}^m x_{2,i,j}^{(L)}(t) = z_{1,i}(t) + x_{1,i}(t) - \sum_{j=1}^m y_{4,i,j}^{(S)}(t) = \dots = z_{1,i}(t) + x_{1,i}(t) - \end{aligned}$$

$$-\sum_{j=1}^m \left\{ \begin{array}{ll} \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}), & \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}) \leq z_{1,i}, \\ \frac{\min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}) \cdot z_{1,i}^{(K)}}{\sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j})}, & \text{t. y. iš vidinio matematinio modelio gavome} \\ \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}), & \text{jei } \sum_{j=1}^m \min(x_{2,i,j}, z_{3,i,j} - z_{2,i,j}) \geq z_{1,i}. \end{array} \right.$$

išorinę perėjimo funkciją $\bar{z}_1(t+1) = \bar{\psi}_1(\bar{x}(t), \bar{z}(t))$. Analogiškai galima gauti ir likusias perėjimo funkcijas $\bar{z}_2(t+1) = \bar{\psi}_2(\bar{x}(t), \bar{z}(t))$ ir $\bar{z}_3(t+1) = \bar{\psi}_3(\bar{x}(t), \bar{z}(t))$.

1.12.2. Sistemos vidinio modelio panaudojimo jos išorinio modelio vaidmenyje galimybės, reikšmė, taikymai ir problemos

Žinoma, ne visada iš sudėtingos sistemos matematinio mikromodelio pavyksta išvesti išorines išėjimų ir perėjimų funkcijų analizines formules. Tačiau visuomet, turėdami matematinį sistemos mikromodelį ir žinodami sistemos išorinių įėjimų trajektorijas bei sistemos pradinę būseną, mes galime apskaičiuoti sistemos išėjimų ir naujos būsenos koordinačių reikšmes, t. y. gauti sistemos išorinių išėjimų bei sistemos fazines trajektorijas. O tai reiškia, jog **sistemos vidinį modelį visuomet galima panaudoti jos išorinio modelio vaidmenyje**. Tai padaryti ypatingai patogiu, jei vidinis sudėtingos sistemos modelis sudarytas kaip ESM programų sistema, kurioje vidinių sistemos elementų makromodeliai yra programų sistemos moduliai, sujungti į programų sistemą taip, kaip modeliuojamos sistemos elementai jungiasi vienas su kitu į sudėtingą sistemą.

Ši galimybė labai vertinga tiek moksliniu, tiek praktiniu atžvilgiu, nes **leidžia atlikti išorinius matematinius eksperimentus su didelių neapžvelgiamų sistemų matematiniais modeliais, nesudarant tų sistemų išorinių matematinių modelių ir net nepajėgiant tokių modelių sudaryti**.

Juk mes šiandien gana dažnai dar nepajėgūs sudaryti pakankamai detalius ir pakankamai adekvačius išorinius matematinius modelius tokių didelių ir sudėtingų sistemų kaip įmonė, administracinis rajonas, ekonomikos šaka, valstybė ir pan. Tačiau, **dekomponavus tokią didelę sistemą į paprastesnes dalis, sudarius jos elementų išorinius modelius kompiuterinių programų pavidalu ir sujungus jas į vidinio modelio struktūrą, izomorfišką nagrinėjamos sistemos struktūrai, galima, pasitelkus kompiuterį ar jų tinklą, atlikti įvairius vidinius ir išorinius matematinius eksperimentus su didelės sistemos sudėtingu vidiniu modeliu, pakeičiant jais brangius ir gana dažnai rizikingus natūrinius eksperimentus**. Tokie matematiniai eksperimentai su sistemų modeliais dabar gana dažnai taikomi, projektuojant sudėtingas technines sistemas: šiuolaikinius lėktuvus, kosminę techniką, atomines elektrines ir kitas energetines sistemas ir pan. Jie pradedami taikyti ir ekonominių bei ekologinių procesų bei sistemų tyrime ir jų vystymosi tendencijų prognozavime, valdymo sprendimų galimų variantų palyginime ir t. t.

Gaila tik, kad **dėl emerdžentiškumo, dekomponuojant sudėtingą sistemą į paprastesnes sudėtinės dalis, ne visuomet pavyksta sudaryti tokį sudėtingos sistemos vidinį matematinį modelį, kuris būtų pakankamai adekvatus nagrinėjamai sistemai**. Yra sistemų, kuriose emerdžencija pasireiškia taip stipriai, kad dekompozicijos metu kartais prarandama tiek daug esminių savybių, jog po jos

pakankamai adekvačiai atstatyti buvusią visumą jau nepavyksta. Tokių sistemų pavyzdžiu gali būti gyvieji organizmai, ir pirmiausia – žmogus, kuris kartu yra ne tik gyvas organizmas, bet ir asmenybė, dviejų sistemų – gyvosios gamtos ir socialinės sistemos – sudėtinė dalis.

Gyvųjų sistemų, vadinamų **organizminėmis**, pakankamai pilnų ir pakankamai adekvačių vidinių modelių sudarymas, neturint prieš tai pakankamai adekvataus išorinio modelio, yra beveik neįmanomas, nes tokiose sistemose gana sunku (o kartais net ir neįmanoma) suvokti vidinių jų elementų funkcijas, nagrinėjant vien tik vidinius procesus, neišsiaiškinus tų elementų ir jų veiklos reikšmės visos sistemos kontekste. Su pačiomis problemomis susiduriame ir nagrinėdami **organizacines sistemas**. Todėl, tokių sistemų nagrinėjimui **mechanistinės metodologijos, kurioje einama nuo sistemos dalių esmės ir jų sąveikavimo supratimo prie visos sistemos esmės supratimo, jau nebepakanka ir tenka ją papildyti organizmine metodologija, einančia nuo visos sistemos, kaip savarankiškos esybės, esmės supratimo prie tos sistemos dalių esmės ir jų sąveikavimo bei jų vaidmens sistemoje supratimo.**

Tačiau net ir organizminėse bei organizacinėse sistemose vidinių modelių kūrimo metodas, dekomponuojant sistemą į paprastesnes dalis, o po to panaudojant sukurta vidinį modelį eksperimentuose, lyginant matematinių eksperimentų rezultatus su analogiškų natūrinių (aktyviųjų ir pasyviųjų) eksperimentų rezultatais bei po to atitinkamai koreguojant sudarytą vidinį modelį, save pakankamai pateisina praktikoje ir yra gana dažnai naudojamas kaip vienas sudėtingų sistemų mokslinio tyrimo metodų.

Tokiose sistemose, kuriose emerdžencija pasireiškia ne taip stipriai ar yra pakankamai gerai ištirta ir todėl ne taip jau sunkiai prognozuojama, dėl ko pavyksta beveik iš karto sudaryti pakankamai adekvačius vidinius modelius, čia aprašomas **vidinių modelių kūrimo ir jų panaudojimo matematiniuose eksperimentuose išorinio modelio vaidmenyje metodas taikomas ne tik kaip mokslinio tyrimo, bet ir kaip praktinio prognozavimo bei projektavimo priemonė.**

1.12.3. Sistemos išorinio modelio ir jos išėjimo trajektorijų gavimas, naudojantis vidinio modelio blokų perdavimo funkcijomis

Patogu gauti išorinio sistemos funkcionavimo matematinį modelį (matematinių sistemos išėjimų trajektorijų aprašymą) iš jos vidinio modelio, kai **sistemos elementai yra tiesiniai objektai ir jų funkcionavimas matematiškai aprašytas perdavimo funkcijomis.**

Turėdami tokios sistemos struktūros aprašymą, t. y. elementų jungimo į sistemą aprašymą, ir sistemos sudėties aprašymą, t. y. elementų perdavimo funkcijas (o dar geriau – kompiuterinių programų modulius, realizuojančius tas funkcijas), mes, pasinaudodami perdavimo funkcijų jungimo savybėmis (žiūr. 1.11.9. skyrelį), galime rasti visos sistemos perdavimo funkciją bei jos išėjimų atvaizdų priklausomybę nuo įėjimo atvaizdų, t. y. galime gauti sistemos išorinio funkcionavimo matematinį aprašymą ir juo naudotis kaip išoriniu matematiniu išėjimo procesų modeliu. Tai mes jau ne kartą esame darę 1.11. skyriuje, todėl čia apsiribosiu tik keliais pavyzdžiais.

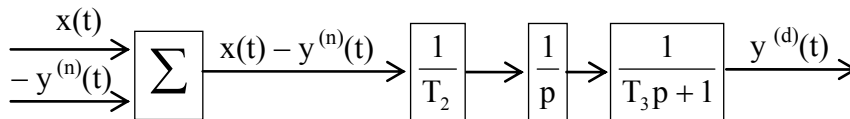
Pavyzdžiui, rasime sistemos, pavaizduotos 281 pav., išėjimo trajektorijos atvaizdą priklausomybę nuo įėjimo trajektorijų atvaizdų, kai $K > 0$:

$$Y^{(d)}(p) = [X(p) + K(Y^{(d)}(p) - Y^{(n)}(p))]W_0(p); \quad Y^{(d)}(p) = \frac{[X(p) - K \cdot Y^{(n)}(p)]W_0(p)}{1 - K \cdot W_0(p)}.$$

Kai, tarkime, $W_0(p) = \frac{1}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1} = \frac{1}{LCp^2 + RCp + 1}$, t. y., kai objektas yra virpesių kontūras (žiūr. 43 pav., o taip pat 1.4.8. ir 1.11.10. skyrelius), ir $K=1$, t. y., kai grįžtamojo ryšio grandinėje naudojame stiprintuvą, kurio stiprinimo koeficiento reikšmė $K=1$, tai gausime, jog

$$Y^{(d)}(p) = \frac{X(p) - Y^{(n)}(p)}{1 - \frac{1}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}} \cdot \frac{1}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1} = \frac{X(p) - Y^{(n)}(p)}{T_1^2 p^2 + T_2 p} = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{T_1^2 p + T_2} [X(p) - Y^{(n)}(p)].$$

Jei tartume, kad šiuo atveju visos sistemos įėjimu galima laikyti skirtumą $x(t) - y^{(n)}(t)$, o išėjimu – funkciją $y^{(d)}(t)$, tai tuomet gautume, jog sistemos perdavimo funkcija $W_s(p) = \frac{Y^{(d)}(p)}{X(p) - Y^{(n)}(p)} = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{T_2} \times \times \frac{1}{\frac{T_1^2}{T_2} p + 1} = \frac{1}{T_2} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{T_3 p + 1} = \frac{1}{RC} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{\frac{L}{R} p + 1}$. Tai reiškia, kad šiuo atveju sistema, pavaizduota 281 pav., būtų funkcionaliai ekvivalenti sistemai, susidedančiai iš nuosekliai sujungtų sumatoriaus, idealaus stiprintuvo („silpnintuvo“) su $K_s = \frac{1}{T_2}$, idealaus integratoriaus su perdavimo funkcija $\frac{1}{p}$ ir realios integravimo grandelės (inertiškumo grandelės – elementaraus realaus vėlinimo bloko) su perdavimo funkcija $\frac{1}{T_3 p + 1}$ (žiūr. 285 pav.), kur $T_3 = \frac{T_1^2}{T_2} = \frac{L}{R}$.



285 pav.

Šioje schemeje $x(t)$ – nevaldomo aplinkos poveikio į nagrinėjamą sistemą trajektorija, $y^{(n)}(t)$ – normatyvinė įėjimo trajektorija, kuri yra valdoma, nes specialiai planuojama, $y^{(d)}(t)$ – deskriptyvinė išėjimo trajektorija – nevaldomo įėjimo $x(t)$ ir valdomojo įėjimo, vaizduojančio planuojamą normatyvinį išėjimą $y^{(n)}(t)$, paimtą su priešingu ženklu, sąveikavimo nagrinėjamoje sistemoje rezultatas.

Jei sistemoje, pavaizduotoje 281 pav., stiprinimo koeficiento K absoliuti reikšmė $|K|$ artėtų prie $+\infty$, tai gautume:

$$\lim_{|K| \rightarrow \infty} Y^{(d)}(p) = \lim_{|K| \rightarrow \infty} \frac{W_0(p) \left[\frac{X(p)}{K} - Y^{(n)}(p) \right]}{-W_0(p) + \frac{1}{K}} = \frac{W_0(p) \cdot Y^{(n)}(p)}{W_0(p)} = Y^{(n)}(p).$$

Tai reiškia, jog 281 pav. schema šiuo atveju, nepriklausomai nuo objekto įėjimo $x(t)$ ir jo perdavimo funkcijos $W_0(p)$, veiktų taip, kad $y^{(d)}(t)$ artėtų prie $y^{(n)}(t)$. Skirtumą $y^{(d)}(t) - y^{(n)}(t)$ galėtume padaryti kiek norima mažą, jei tik $|K|$ būtų pakankamai didelis.

Laikydami $[-y^{(n)}(t)]$ pagrindiniu sistemos, pavaizduotos 281 pav., įėjimu, o $x(t)$ – šalutiniu tos sistemos įėjimu (pavyzdžiui, atsitiktiniais trukdymais), mes gauname, jog **taip sukonstruota sistema, artėjant $|K|$ prie begalybės, nepriklausomai nuo trukdymų $x(t)$ ir nuo objekto perdavimo funkcijos $W_0(p)$, funkcionuos taip, kaip bus užprogramuota** sudarant normatyvinę išėjimo trajektoriją $y^{(n)}(t)$.

Ši savybė sistemoje išliks ir tada, kai stiprinimo koeficientas K bus neigiamas ir jo absoliuti reikšmė $|K|$ artės prie $+\infty$.

Tuomet gausime, jog $\lim_{|K| \rightarrow \infty} Y(p) = \lim_{|K| \rightarrow \infty} \frac{X(p) - KY^{(n)}(p)}{1 - KW_0(p)} W_0(p) = \frac{\frac{X(p)}{|K|} + Y^{(n)}(p)}{\frac{1}{|K|} + W_0(p)} W_0(p) = Y^{(n)}(p)$, t. y. gausime, kad sistemos išėjimas $y(t)$, didėjant $|K|$, artės prie $y^{(n)}(t)$. Tai reiškia, jog ši **nagrinėjamos sistemos savybė nepriklauso ne tik nuo $W_0(p)$, bet ir nuo**

stiprinimo koeficiento K ženklo. Svarbu tik, kad jo reikšmė |K| būtų pakankamai didelė.

Jei $y^{(n)}(t)=\text{const}$, tai nagrinėjamoji sistema taps **automatinio stabilizavimo sistema** ir $y^{(d)}(t)\approx\text{const}$.

Jei $y^{(n)}(t)$ – kokia nors programuojama (planinė) trajektorija, tai gausime **automatinę programinio valdymo sistemą**, kurios išėjimas $y^{(d)}(t)$ bus toks (ar beveik toks), koks buvo užprogramuotas, sudarant $y^{(n)}(t)$.

Jei $y^{(n)}(t)$ – kokio nors išorinio objekto (pavyzdžiui, lėktuvo) reali trajektorija, o $y^{(d)}(t)$ – valdomos sistemos (pavyzdžiui, radijolokatoriaus) trajektorija, tai turėsime **automatinę sekimo sistemą**, kuri automatiškai kartos stebimo išorinio objekto veiksmus (pavyzdžiui, radiolokatoriaus antenos automatiškai sukiosis taip, kad visą laiką stebėtų pasirinktą lėktuvą).

Kai sudėtinga sistema, kurios elementų perdavimo funkcijos mums žinomos, turi keletą išėjimų, tai **išorinį tos sistemos modelį perdavimo funkcijų stratoje sudarys visų išorinių išėjimų perdavimo funkcijų aibė (jų vektorius ar matrica)**, kurios elementai (išorinės perdavimo funkcijos) surandami (sudaromi), nagrinėjant vidinį sistemos modelį (jos elementų perdavimo funkcijas ir jų tarpusavio ryšius) ir, naudojantis 1.11.9. skyrelyje aprašytais perdavimo funkcijų savybėmis, sintezuojant išorines perdavimo funkcijas.

Pavyzdžiui, jei sistemos, pavaizduotos 275 pav. (žiūr. 1.11.77. užduotį), išoriniais išėjimais laikytume ne tik išėjimą $y(t)$, bet ir blokų su perdavimo funkcijomis $W_4(p)$, $W_9(p)$ ir $W_{11}(p)$ išėjimus $y_4(t)$, $y_9(t)$ ir $y_{11}(t)$, tai gautume (rekomenduoju skaitytojui pabandyti pačiam išsivesti šias formules):

$$\begin{aligned} 1) W_s(p) &= \frac{Y(p)}{X(p)} = W_1(p) \frac{W_I(p)}{1 + W_I(p)W_{II}(p)} W_{III}(p), \text{ kur } W_I(p) = W_2(p)W_4(p) + W_3(p) + \\ &+ W_5(p) \frac{W_6(p)}{1 - W_6(p)W_7(p)}, W_{II}(p) = W_8(p)W_9(p)W_{10}(p), W_{III}(p) = W_{13}(p) + \frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p)W_{12}(p)}; \\ 2) W_{s,4}(p) &= \frac{Y_4(p)}{X(p)} = W_1(p) \frac{W_2(p)W_4(p)}{1 + W_I(p)W_{II}(p)}; \\ 3) W_{s,9}(p) &= \frac{Y_9(p)}{X(p)} = W_1(p) \frac{W_I(p)}{1 + W_I(p)W_{II}(p)} W_8(p)W_9(p); \\ 4) W_{s,11}(p) &= \frac{Y_{11}(p)}{X(p)} = W_1(p) \frac{W_I(p)}{1 + W_I(p)W_{II}(p)} \cdot \frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p)W_{12}(p)}. \end{aligned}$$

Jei, pavyzdžiui, pirmasis blokas būtų idealus pastovaus vėlavimo blokas, turintis perdavimo funkciją $W_1(p)=e^{-p\tau}$, kur $\tau=\text{const}$ – vėlavimo trukmė;

antrasis blokas – reali integravimo grandelė, turinti perdavimo funkciją $W_2(p)=\frac{1}{1+pT}$, kur $T=R_2C_2=5$;

trečiasis blokas – realus virpesių kontūras, turintis perdavimo funkciją $W_3(p)=\frac{1}{T_1^2p^2 + T_2p + 1}$, kur $T_1^2=L_3C_3=2,5$, $T_2=R_3C_3=5,5$;

ketvirtasis blokas – invertorius, turintis perdavimo funkciją $W_4(p)=-1$;

penktasis blokas – lėto reagavimo grandis, turinti perdavimo funkciją $W_5(p)=\frac{1+pT_5}{1+pT}$, kur $T=C_5(R_{5,1}+R_{5,2})=5$, $T_5=C_5R_{5,2}=2$;

šeštasis blokas – reali diferencijavimo grandelė, turinti perdavimo funkciją $W_6(p)=\frac{T_6p}{1+T_6p}$, kur $T_6=R_6C_6=1$;

septintasis blokas – idealus integratorius, turintis perdavimo funkciją $W_7(p)=\frac{1}{p}$;

aštuntasis blokas – stiprintuvas, turintis perdavimo funkciją $W_8=K$, kur $K=5$;

devintasis blokas – pirmos eilės forsavimo blokas, turintis perdavimo funkciją $W_9(p)=1+T_9p$, kur $T_9=0,5$;

dešimtas blokas – greito reagavimo blokas, turintis perdavimo funkciją
 $W_{10}(p) = \frac{T_{10}(1+pT_{10,1})}{T_{10,1}(1+pT_{10})}$, kur $T_{10,1}=R_{10,1}C_{10}=5$; $T_{10}=C_{10} \frac{R_{10,1}R_{10,2}}{R_{10,1}+R_{10,2}}=1$;

vienuoliktasis blokas – antrosios eilės forsavimo blokas, turintis perdavimo funkciją
 $W_{11}(p) = T_{11,1}^2 p^2 + T_{11,2}p + 1$, kur $T_{11,1}=1$, $T_{11,2}=1$;

dvyliktasis blokas – idealus diferenciatorius, turintis perdavimo funkciją $W_{12}(p)=p$;

tryliktasis blokas – idealus virpesių kontūras, turintis perdavimo funkciją $W_{13}(p) = \frac{1}{T_{13}^2 p^2 + 1}$, kur

$$T_{13}^2 = L_{13}C_{13}=1;$$

tai gautume, jog

$$\begin{aligned} W_I(p) &= W_2(p) \cdot W_4(p) + W_3(p) + W_5(p) \cdot \frac{W_6(p)}{1 - W_6(p) \cdot W_7(p)} = \frac{1}{1+5p}(-1) + \frac{1}{2,5p^2 + 5,5p + 1} + \\ &+ \frac{1+2p}{1+5p} \cdot \frac{\frac{p}{1+p}}{1 - \frac{p}{1+p} \cdot \frac{1}{1+p}} = \frac{(1+p)^2}{(1+5p)(1+0,5p)}; \\ W_{II}(p) &= W_8(p) \cdot W_9(p) \cdot W_{10}(p) = 5 \cdot (1+0,5p) \cdot \frac{1+5p}{5(1+p)} = \frac{(1+0,5p)(1+5p)}{1+p}; \\ W_{III}(p) &= W_{13}(p) + \frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p) \cdot W_{12}(p)} = \frac{1}{1+p^2} + \frac{p^2 + p + 1}{1 + (p^2 + p + 1)p} = \frac{p^2 + 2p + 2}{(1+p)(1+p^2)} = \frac{1+p}{1+p^2} + \\ &+ \frac{1}{(1+p)(1+p^2)}; \\ W_s(p) &= W_I(p) \cdot \frac{W_I(p)}{1 + W_I(p) \cdot W_{II}(p)} \cdot W_{III}(p) = e^{-p\tau} \cdot \frac{\frac{(1+p)^2}{(1+5p)(1+0,5p)}}{1 + \frac{(1+p)^2}{(1+5p)(1+0,5p)} \cdot \frac{(1+0,5p)(1+5p)}{1+p}} \times \\ &\times \frac{p^2 + 2p + 2}{(1+p)(1+p^2)} = \frac{e^{-p\tau}(1+p)(p^2 + 2p + 2)}{(1+5p)(1+0,5p)(2+p)(1+p^2)}; \\ W_{s,4}(p) &= W_I(p) \cdot \frac{W_2(p) \cdot W_4(p)}{1 + W_I(p) \cdot W_{II}(p)} = e^{-p\tau} \cdot \frac{\frac{1}{1+5p}(-1)}{1+1+p} = -\frac{e^{-p\tau}}{(1+5p)(2+p)}; \\ W_{s,9}(p) &= W_I(p) \cdot \frac{W_I(p)}{1 + W_I(p) \cdot W_{II}(p)} \cdot W_8(p) \cdot W_9(p) = e^{-p\tau} \cdot \frac{\frac{(1+p)^2}{(1+5p)(1+0,5p)}}{1+1+p} \cdot 5(1+0,5p) = \\ &= \frac{5e^{-p\tau}(1+p)^2}{(1+5p)(2+p)}; \\ W_{s,11}(p) &= W_I(p) \cdot \frac{W_I(p)}{1 + W_I(p) \cdot W_{II}(p)} \cdot \frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p) \cdot W_{12}(p)} = e^{-p\tau} \cdot \frac{(1+p)^2}{(1+5p)(1+0,5p)(2+p)} \times \\ &\times \frac{p^2 + p + 1}{(1+p)(1+p^2)} = \frac{e^{-p\tau}(1+p)(1+p+p^2)}{(1+5p)(1+0,5p)(2+p)(1+p^2)}. \end{aligned}$$

Turėdami šias ką tik išvestas perdavimo funkcijų $W_s(p)$, $W_{s,4}(p)$, $W_{s,9}(p)$ ir $W_{s,11}(p)$ formules, mes galime pasinaudoti jomis panašiai kaip ir išoriniu sistemos modeliu: gauti sistemos išėjimų trajektorijų atvaizdus, atitinkančius bet kurią sistemos įėjimą, o po to – ir pačias išėjimų trajektorijas.

Kai tiesinė sistema turi keletą įėjimų, tai galima rasti jos išorinių išėjimų trajektorijų atvaizdų priklausomybę nuo jos išorinių įėjimų trajektorijų atvaizdų. Tai mes taip pat esame darę 1.11.9. ir 1.11.16. skyreliuose, parodydami, kad tas priklausomybės galima rasti įvairiais būdais.

Kadangi tiesinėse sistemose kiekvienas išėjimas gali būti randamas kaip visų sistemos įėjimų poveikių į tą išėjimą algebrinė suma, tai galima įvesti kiekvienai įėjimų ir išėjimų porai perdavimo

funkcijas.

Pavyzdžiui, 1.11.9. skyrelyje nagrinėdami sistemą, pavaizduotą 255 pav., mes buvome radę pirmojo įėjimo poveikio į ketvirtojo bloko išėjimą atvaizdą $Y_4^{(1)}(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}{1 + W_2(p)W_3(p)W_5(p)} X_1(p)$.

Pasinaudodami šia lygybe, rasime santykį $\frac{Y_4^{(1)}(p)}{X_1(p)} = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}{1 + W_2(p)W_3(p)W_5(p)}$, kurį galima pavadinti **pirmojo įėjimo poveikio į ketvirtąjį išėjimą perdavimo funkcija $W_{4,1}(p)$** .

Analogiškai samprotaudami, rastume $W_{4,2}(p) = \frac{W_2(p)W_3(p)W_4(p)}{1 + W_2(p)W_3(p)W_5(p)}$, $W_{4,3}(p) = W_4(p)$, $W_{4,4}(p) = -\frac{W_2(p)W_3(p)W_4(p)W_5(p)}{1 + W_2(p)W_3(p)W_5(p)}$, iš kur išplaukia, jog $Y_4(p) = W_{4,1}(p) X_1(p) + W_{4,2}(p) X_2(p) + W_{4,3}(p) X_3(p) + W_{4,4}(p) X_4(p)$.

Bendroju atveju, kai tiesinės sistemos įėjimų vektorius $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, o jos išėjimų vektorius $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m)$, gauname $W_{j,i}(p) = \frac{Y_j^{(i)}(p)}{X_i(p)}$, $Y_j(p) = \sum_{i=1}^n Y_j^{(i)}(p) = \sum_{i=1}^n W_{j,i}(p) \cdot X_i(p)$.

Visų tokių perdavimo funkcijų $W_{j,i}(p)$ **matrica ($W_{j,i}(p)$), turinti $n \times m$ matavimų, ir sudaro sistemos išorinio funkcionavimo matematinį modelį, gautą iš vidinio modelio perdavimo funkcijų stratoje.**

Kai sistema turi tik vieną įėjimą ($n=1$) ir vieną išėjimą ($m=1$), tai ši matrica turės tik vieną elementą – sistemos perdavimo funkciją $W(p)$.

Jei $n=1$, o $m>1$, tai matricą sudarys viena eilutė – sistemos išėjimų perdavimo funkcijų vektorius: $(W_1(p), W_2(p), \dots, W_j(p), \dots, W_m(p))$.

Jei $n>1$, o $m=1$, tai matricą sudarys vienas stulpelis – įėjimų poveikių į išėjimą perdavimo funkcijų vektorius: $(W_1(p), W_2(p), \dots, W_i(p), \dots, W_n(p))^T$. Šio vektoriaus skaliarinė sandauga su įėjimų trajektorijų atvaizdų vektoriumi $\vec{X}(p) = (X_1(p), X_2(p), \dots, X_i(p), \dots, X_n(p))$ duotų išėjimo trajektorijos atvaizdą $Y(p)$.

Ir bendrai, **perdavimų matricos ($W_{j,i}(p)$) sandauga su įėjimų trajektorijų atvaizdų vektoriumi $\vec{X}(p)$ yra išėjimų trajektorijų atvaizdžių vektorius, t. y. $\vec{Y}(p) = (Y_1(p), Y_2(p), \dots, Y_j(p), \dots, Y_m(p)) = \left(\sum_{i=1}^n W_{1,i}(p)X_i(p), \sum_{i=1}^n W_{2,i}(p)X_i(p), \dots, \sum_{i=1}^n W_{j,i}(p)X_i(p), \dots, \sum_{i=1}^n W_{m,i}(p)X_i(p) \right)$.**

Todėl perdavimo funkcijų matrica ($W_{j,i}(p)$) ir vadinama **sistemos matricine perdavimo funkcija**, apie ką jau rašėme 1.11.16. skyrelyje.

Žinodami sistemos elementų perdavimo funkcijas, galime gauti visos sistemos dalines perdavimo funkcijas $W_{j,i}(p)$ ir jų matricą ($W_{j,i}(p) = W_s(p)$) ne tik tada, kada turime elementų jungimo į sistemą schemą, bet ir tuomet, kada sistemos struktūra aprašyta kitais būdais.

Tarkime, kad **sistemos struktūra aprašyta ryšių operatoriaus R lentele** (žiūr., pavyzdžiui, 160 pav., pateiktą 1.9.2.19-jame skyrelyje), ir mums yra žinomos sistemos elementų – agregatų A_j – perdavimo funkcijos $W_{j,k}^{(u)}(p)$, kur j – agregato numeris, k – jo išėjimo numeris, u – jo įėjimo numeris.

Analizuodami 160 pav. lentelę, mes randame, kad sistema turi keturis išėjimus, kurie sutampa su trečiojo agregato pirmuoju ir antruoju išėjimais, penktojo agregato pirmuoju išėjimu ir ketvirtojo agregato antruoju išėjimu. Taip pat randame, kad sistema turi keturis įėjimus, kurie sutampa su pirmojo ir antrojo agregatų pirmuoju ir antruoju įėjimais. Todėl išorinių perdavimo funkcijų matricą ($W_{S,k}^{(u)}(p)$)

sudarys 16 perdavimo funkcijų $W_{S,k}^{(u)}(p) = \frac{Y_{S,k}^{(u)}(p)}{X_{S,u}(p)}$, kur $Y_{S,k}^{(u)}(p)$ – u – jo sistemos S išorinio įėjimo poveikio į k -jį tos sistemos išėjimą atvaizdas, $X_{S,u}(p)$ – tos sistemos u – jo įėjimo trajektorijos atvaizdas.

Kad išreikštume sistemos S išorines perdavimo funkcijas $W_{S,k}^{(u)}(p)$ per jos elementų perdavimo funkcijas, įvesime žymėjimus:

- 1) $X_{j,u}(p)$ – j -jo agregato u -jo įėjimo trajektorijos atvaizdas,
- 2) $Y_{i,k}(p)$ – i -jo agregato k -jo išėjimo trajektorijos atvaizdas,
- 3) $Y_{i,k}^{(u)}(p)$ – i -jo agregato u -jo įėjimo į to agregato k -jį išėjimą poveikio atvaizdas,

4) $W_{j,k}^{(u)}(p)$ – j-jo agregato u-jo įėjimo poveikio į k-jį jo išėjimą perdavimo funkcija, t. y.

$$W_{j,k}^{(u)}(p) = \frac{Y_{j,k}^{(u)}(p)}{X_{j,u}(p)}.$$

$$\begin{aligned} \text{Iš 160 pav. lentelės gauname } Y_{S,1}(p) &= Y_{3,1}(p) = Y_{3,1}^{(1)}(p) + Y_{3,1}^{(2)}(p) + Y_{3,1}^{(3)}(p) = W_{3,1}^{(1)}(p) \times \\ &\times Y_{1,1}(p) + W_{3,1}^{(2)}(p) \cdot Y_{1,2}(p) + W_{3,1}^{(3)}(p) \cdot Y_{1,3}(p) = W_{3,1}^{(1)}(p) \cdot [W_{1,1}^{(1)}(p) \cdot X_{1,1}(p) + W_{1,1}^{(2)}(p) \cdot X_{1,2}(p)] + \\ &+ W_{3,1}^{(2)}(p) \cdot [W_{1,2}^{(1)}(p) \cdot X_{1,1}(p) + W_{1,2}^{(2)}(p) \cdot X_{1,2}(p)] + W_{3,1}^{(3)}(p) \cdot [W_{1,3}^{(1)}(p) \cdot X_{1,1}(p) + W_{1,3}^{(2)}(p) \cdot X_{1,2}(p)] = \\ &= [W_{3,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,1}^{(1)}(p) + W_{3,1}^{(2)}(p) \cdot W_{1,2}^{(1)}(p) + W_{3,1}^{(3)}(p) \cdot W_{1,3}^{(1)}(p)] \cdot X_{S,1}(p) + [W_{3,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,1}^{(2)}(p) + \\ &+ W_{3,1}^{(2)}(p) \cdot W_{1,2}^{(2)}(p) + W_{3,1}^{(3)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p)] \cdot X_{S,2}(p). \text{ Iš čia išplaukia, jog } Y_{S,1}(p) = Y_{S,1}^{(1)}(p) + Y_{S,1}^{(2)}(p) = \\ &= W_{S,1}^{(1)}(p) \cdot X_{S,1}(p) + W_{S,1}^{(2)}(p) \cdot X_{S,2}(p), \text{ kur } W_{S,1}^{(1)}(p) = W_{3,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,1}^{(1)}(p) + W_{3,1}^{(2)}(p) \cdot W_{1,2}^{(1)}(p) + \\ &+ W_{3,1}^{(3)}(p) \cdot W_{1,3}^{(1)}(p) \text{ ir } W_{S,1}^{(2)}(p) = W_{3,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,1}^{(2)}(p) + W_{3,1}^{(2)}(p) \cdot W_{1,2}^{(2)}(p) + W_{3,1}^{(3)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Analogiškai gauname, jog } W_{S,2}^{(1)}(p) &= W_{3,2}^{(1)}(p) \cdot W_{1,1}^{(1)}(p) + W_{3,2}^{(2)}(p) \cdot W_{1,2}^{(1)}(p) + W_{3,2}^{(3)}(p) \times \\ &\times W_{1,3}^{(1)}(p) \text{ ir } W_{S,2}^{(2)}(p) = W_{3,2}^{(1)}(p) \cdot W_{1,1}^{(2)}(p) + W_{3,2}^{(2)}(p) \cdot W_{1,2}^{(2)}(p) + W_{3,2}^{(3)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p), \text{ o } W_{S,1}^{(3)}(p) = \\ &= W_{S,1}^{(4)}(p) = W_{S,2}^{(3)}(p) = W_{S,2}^{(4)}(p) = 0, \text{ nes trečiasis ir ketvirtasis sistemos įėjimai, kaip matyti 160 pav.,} \\ &\text{pirmąjį ir antrąjį sistemos išėjimus paveikti negali. Kadangi } Y_{S,3}(p) = Y_{5,1}(p) = W_{5,1}^{(1)}(p) \cdot Y_{1,3}(p) + \\ &+ W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot Y_{4,1}(p) = W_{5,1}^{(1)}(p) \cdot [W_{1,3}^{(1)}(p) \cdot X_{S,1}(p) + W_{1,3}^{(2)}(p) \cdot X_{S,2}(p)] + W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot [W_{4,1}^{(1)}(p) \cdot Y_{1,3}(p) + \\ &+ W_{4,1}^{(2)}(p) \cdot Y_{2,1}(p)] = [W_{5,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(1)}(p) + W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot W_{4,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(1)}(p)] \cdot X_{S,1}(p) + [W_{5,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p) + \\ &+ W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot W_{4,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p)] \cdot X_{S,2}(p) + W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot W_{4,1}^{(2)}(p) \cdot [W_{2,1}^{(1)}(p) \cdot X_{2,1}(p) + W_{2,1}^{(2)}(p) \cdot X_{2,2}(p)], \text{ tai} \\ &\text{iš čia išplaukia, kad } Y_{S,3}(p) = Y_{S,3}^{(1)}(p) + Y_{S,3}^{(2)}(p) + Y_{S,3}^{(3)}(p) + Y_{S,3}^{(4)}(p), \text{ } W_{S,3}^{(1)}(p) = W_{5,1}^{(1)}(p) \times \\ &\times W_{1,3}^{(1)}(p) + W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot W_{4,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(1)}(p), \text{ } W_{S,3}^{(2)}(p) = W_{5,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p) + W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot W_{4,1}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p), \\ &W_{S,3}^{(3)}(p) = W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot W_{4,1}^{(2)}(p) \cdot W_{2,1}^{(1)}(p), \text{ } W_{S,3}^{(4)}(p) = W_{5,1}^{(2)}(p) \cdot W_{4,1}^{(2)}(p) \cdot W_{2,1}^{(2)}(p). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadangi } Y_{S,4}(p) &= Y_{4,2}(p) \cdot W_{4,2}^{(1)}(p) \cdot Y_{1,3}(p) + W_{4,2}^{(2)}(p) \cdot Y_{2,1}(p) = W_{4,2}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(1)}(p) \cdot X_{S,1}(p) + \\ &+ W_{4,2}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p) \cdot X_{S,2}(p) + W_{4,2}^{(2)}(p) \cdot W_{2,1}^{(1)}(p) \cdot X_{S,3}(p) + W_{4,2}^{(2)}(p) \cdot W_{2,1}^{(2)}(p) \cdot X_{S,4}(p), \text{ tai gauname,} \\ &\text{jog } Y_{S,4}(p) = Y_{S,4}^{(1)}(p) + Y_{S,4}^{(2)}(p) + Y_{S,4}^{(3)}(p) + Y_{S,4}^{(4)}(p), \text{ } W_{S,4}^{(1)}(p) = W_{4,2}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(1)}(p), \text{ } W_{S,4}^{(2)}(p) = \\ &= W_{4,2}^{(1)}(p) \cdot W_{1,3}^{(2)}(p), \text{ } W_{S,4}^{(3)}(p) = W_{4,2}^{(2)}(p) \cdot W_{2,1}^{(1)}(p), \text{ } W_{S,4}^{(4)}(p) = W_{4,2}^{(2)}(p) \cdot W_{2,1}^{(2)}(p). \end{aligned}$$

Nagrinėjamos sistemos išorinę matricinę perdavimo funkciją $(W_{S,k}^{(u)}(p))$ galima buvo gauti ne tik iš 160 pav., lentelės, bet ir iš 48, 49, 50 lentelių, naudojantis sistemų kompozicijos operacija (žiūr. 1.9.2.21.2. skyrelį), kitaip vadinama struktūrų superpozicijos pirmąja modifikacija (žiūr. 1.9.2.30. skyrelį). Naudodamiesi operatoriais $R_1^{(1)}$ ir $R_2^{(1)}$, pavaizduotais 48 ir 49 lentelėse, pradžioje gautume posistemų $S_1^{(1)}$ ir $S_2^{(1)}$ perdavimo funkcijų matricas $(W_{S_1,k}^{(u)}(p))$ ir $(W_{S_2,k}^{(u)}(p))$, o po to, žiūrėdami į tas matricines perdavimo funkcijas kaip į sistemos $S^{(II)}$ elementų perdavimo funkcijas ir naudodamiesi operatoriumi $R^{(II)}$ (žiūr. 50 lentelę), gautume visos sistemos S perdavimo funkcijų matricą $(W_{S,k}^{(u)}(p))$.

Operacinio skaičiavimo matematiniu aparatu ir perdavimo funkcijų kompozicijos ir dekompozicijos metodais galima naudotis **ne tik gaunant sudėtingos sistemos išorinį modelį iš jos vidinio modelio**, apie ką buvo kalbama šiame skyrelyje ir kas buvo pailiustruota keliais pavyzdžiais, **bet ir sintezuojant sistemos, transformuojančios duotąją įėjimo trajektoriją į duotąją ar pageidaujamą išėjimo trajektoriją, galima vidinį modelį**. Sudarę projektuojamos sistemos atitinkamas išorines perdavimo funkcijas, mes galime, kai tos funkcijos sudėtingos, naudodamiesi 1.11.9. skyrelyje aprašytomis perdavimo funkcijų savybėmis, dekomponuoti tas funkcijas į paprastesnių tipinių perdavimo funkcijų sandaugas bei sumas, o taip pat išskirti iš elementarių blokų sudarytus ciklus su grįžtamaisiais ryšiais, t. y. nustatyti projektuojamos sistemos sudėtį ir struktūrą elementarių tipinių

blokų, turinčių nesudėtingas perdavimo funkcijas, lygyje. Tokie sudėtingų sistemų projektavimo metodai plačiai naudojami inžinerijoje panašiai kaip ir baigtinių automatų abstrakčiosios, struktūrinės ir loginės sintezės metodai, nes jų taikymas ne tik žymiai palengvina ir paspartina sudėtingų valdymo sistemų projektavimą bei konstravimą, bet ir sudaro palankias sąlygas šių procesų algoritmizavimui ir automatizavimui. Tai – gana perspektyvi techninio progreso sritis. Skaitytojams, kurie ja susidomėjo ir norėtų apie tai sužinoti daugiau, rekomenduoju susipažinti su specialia literatūra (žiūr., pavyzdžiui, [114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125] ir [101, 102, 105, 110, 112, 126, 127]).

1.12.4. Struktūrų algebros panaudojimas, formalizuojant sistemos išorinio modelio gavimo iš jos vidinio modelio procedūras. Struktūrų algebros evoliucijos į matematinių modelių algebrą galimybės

Išnagrinėti pavyzdžiai rodo, jog struktūrų algebros operacijas su sistemų struktūromis ir su sistemų elementais bei jų ryšiais, apie kurias rašėme 1.9.2. poskyryje, galima atlikti ir su elementų bei sistemų perdavimo funkcijomis. Apie tai jau buvo rašyta 1.9.3. poskyryje, kai buvo kalbama apie L. Šatichino pasiūlytą „fizinį“ sistemos struktūros aprašymo būdą, matricinėje formoje vaizduojantį sistemos vidinį matematinį modelį ir leidžiantį panaudoti tą modelį išorinio matematinio modelio vaidmenyje.

Tiesa, šis metodas gali būti taikomas tik tiesinėms sistemoms, kurios aprašomos tiesinėmis algebrinėmis lygtimis ir tiesinėmis diferencialinėmis bei integralinėmis lygtimis su pastoviais koeficientais, nes, kaip buvo parodyta 1.11.8. skyrelyje, tik tokiais atvejais gali būti surastos elementų ir sistemų perdavimo funkcijos, kaip elementų ir sistemų charakteristikos, nepriklausančios nuo elementų ir sistemų įėjimų trajektorijų. Tačiau netiesiniai modeliai gali būti aproksimuojami tiesiniais modeliais, todėl galimas šio metodo artutinis taikymas ir netiesinėms sistemoms.

Šį įdomų metodą, leidžiantį sujungti struktūrų matematinį aprašymą ir struktūrų algebros aparatą su elementų bei jų ryšių matematiniais modeliais ir tokiu būdu gauti sistemų vidinius modelius ir operuoti su jais ir kaip su mikro, ir kaip su makro modeliais, galima apibendrinti ir pritaikyti ne tik operacijoms su perdavimo funkcijomis bei jų matricomis, bet ir su elementų bei sistemų ir jų posistemų matematiniais modeliais, su perėjimų ir išėjimų funkcijomis, kurios gali būti kaip tiesinės, taip ir netiesinės, tenkinti įvairias (o ne tik nulines) pradines sąlygas. Apie tokią galimybę taip pat jau buvo kalbėta (žiūr. 1.7.7.1. ir 1.7.7.2. skyrelius) ir buvo aprašyta bei parodyta, kaip surandamos sistemos, kurių struktūra pavaizduota 42 pav., išėjimo ir perėjimo funkcijos. Tą pačią idėją iliustruojame ir šiame (1.12.) skyriuje (žiūr. 1.12.1. skyrelį), gaudami iš vidinio medžiagų sandėlio modelio jo išorinį modelį.

Todėl galima galvoti ne tik apie struktūrų, bet ir apie objektų ir sistemų išorinių ir vidinių matematinių modelių algebros kūrimą. Tokioje algebroje sistemos vidinis matematinis modelis būtų matrica, susidedanti iš dviejų dalių. Pirmoji dalis – kvadratinė matrica – aprašytų sistemos sudėtį ir vidinę struktūrą, antroji – sistemos išorinius ryšius su aplinka, t. y. sistemos įėjimus ir išėjimus. Kvadratinės matricos pagrindinės teigiamos įstrižinės elementai būtų sistemos elementų išoriniai matematiniai modeliai, t. y. jų perėjimų ir išėjimų funkcijos, o visi kiti šios matricos elementai – sistemos elementų atitinkamų vidinių ryšių matematiniai modeliai. Antrąją matricą sudarytų du vektoriai, kurių pirmojo elementai būtų sistemos elementų išorinių įėjimų (sistemos įėjimų) vektoriai (tų

vektorių koordinačių trajektorijos ar jų atvaizdai), antrojo vektoriaus elementai būtų skirti sistemos elementų išorinių išėjimų (sistemos išėjimų) vaizdavimui. Tokia sistemos vidinio matematinio modelio forma būtų gana patogi, realizuojant ir naudojant šį modelį ESM, tačiau, kaip jau buvo minėta 1.7.7. skyrelyje, ji ne visada pakankamai „ekonomiška“, nes ne visuomet visi sistemos elementai surišti su visais kitais tos sistemos elementais tarpusavio ryšiais. Todėl galimos ir kitos – „ekonomiškesnės“ – sistemų ir objektų matematinių modelių banko organizavimo formos. Viena jų – ryšių operatorių lentelių forma, aprašyta tame pačiame 1.7.7. skyrelyje.

Kuriant sistemų matematinių modelių algebrą, tektų detalizuoti ir išplėsti ir struktūrų algebrą, įvedant papildomas jau 1.9.2. poskyryje aprašytų operacijų modifikacijas, o taip pat ir naujas operacijas. Pavyzdžiui, struktūrų jungimo operacijoje (žiūr. 1.9.2.21. skyrelį) tektų įvesti elementų bei sistemų nuoseklaus ir lygiagretaus jungimo operacijas, o taip pat grįžtamųjų ryšių organizavimo operacijas. Būtų tikslinga įvesti specialias operacijas, formalizuojančias sistemos išorinio matematinio modelio gavimą iš jos vidinio matematinio modelio. Kadangi sudėtingais atvejais (ypatingai, jei sistemoje vyksta stochastiniai procesai, apie kuriuos bus kalbama 1.14. skyriuje) ne visuomet įmanoma iš vidinio sistemos modelio gauti jos išorinį modelį analizinėje formoje, tai tektų įvesti ir tokias operacijas, kurios iš vidinio sistemos modelio gautų jos išorinį modelį algoritminėje (programinėje) formoje ir formalizuotą tokio modelio panaudojimą sistemos išorinio modelio vaidmenyje.

Žinoma, sistemų matematinių modelių algebroje rastų sau vietą ir įprastos matematinės operacijos su matematiniais modeliais (perdavimo, perėjimų ir išėjimų funkcijomis, trajektorijomis ir jų atvaizdais ir t. t.). Tokia sistemų išorinių ir vidinių matematinių modelių algebra taptų svarbia matematinės sistemų teorijos dalimi, sistemų analizės ir sintezės matematinio aparato pagrindu.

1.12. skyriaus santrauka

Egzistuoja sistemos, kurios negali būti iš karto aprėptos vieno žmogaus intelektu taip, kad jis galėtų iš karto susidaryti pakankamai adekvačius tų sistemų išorinius matematinius modelius, išreiškiančius priklausomybes tarp sistemos įėjimų, būsenų ir išėjimų.

Tokių sistemų aibėje galima išskirti nemažai sistemų, kurioms, jas atitinkamai dekomponavus į sudėtinges dalis, gali būti sudaryti jų vidiniai matematiniai modeliai, pakankamai adekvačiai aprašantys tų sistemų sudėtį ir struktūrą, jų elementų funkcionavimą ir sąveikavimą.

Tokias sistemas 1.6. skyriuje mes pavadino sudėtingomis sistemomis, nesančiomis labai sudėtingomis.

Šio – 1.12. – skyriaus paskirtis – parodyti, kaip sudėtingos sistemos vidinis modelis gali būti panaudotas ne tik sistemos vidinio funkcionavimo nagrinėjimui, bet ir tos sistemos išorinio modelio vaidmenyje.

Egzistuoja tokios sistemos ir tokie jų vidiniai modeliai, iš kurių gali būti išvesti jų išoriniai matematiniai modeliai. 1.12.1. skyrelyje pateiktas tokio išvedimo pavyzdys: iš medžiagų sandėlio vidinio modelio, analizuojant sąryšius tarp elementų ir tų elementų išorinius modelius, gaunamas viso sandėlio išorinis matematinis modelis.

1.12.2. skyrelyje aprašomi ir tokie vidinio modelio panaudojimo išorinio modelio vaidmenyje atvejai, kai iš vidinio modelio gauti analizinį išorinį sudėtingos sistemos modelį nepavyksta. Tokiais atvejais, turėdami sistemos vidinį modelį ir žinodami sistemos įėjimų trajektorijas bei jos elementų pradinės būsenas, mes galime apskaičiuoti sistemos fazines ir išėjimų trajektorijas bei tų trajektorijų artutinius įverčius, t. y. gauti tą informaciją, kuria galėtume naudotis, turėdami sistemos išorinį matematinį modelį.

Deja, pakankamai adekvačius vidinius modelius pavyksta sudaryti ne visoms sistemoms, nes ne visada įmanoma išsiaiškinti ir pakankamai tiksliai išreikšti matematiškai visus tarpelementinius ryšius, kurie nutraukiami dekomponuojant sistemą į tokias jos sudėtinges dalis, kurioms galima sudaryti

pakankamai adekvačius išorinius matematinius modelius. Tokias sistemas mes 1.6. skyriuje priskyrėme prie **labai sudėtingų sistemų**. Šiai sistemų klasei priklauso organizminės sistemos ir daugelis organizacinių sistemų. **Tokių sistemų nagrinėjimui jau nebepakanka mechanistinės metodologijos, kurioje einama nuo sistemos dalių esmės ir jų sąveikavimo supratimo prie visos sistemos esmės supratimo. Mechanistinę metodologiją tenka papildyti organizmine metodologija, einančia nuo visos sistemos, kaip savarankiškos esybės, esmės supratimo prie tos sistemos dalių esmės, jų vaidmenų sistemoje ir jų sąveikavimo supratimo.**

Tačiau net ir tokiose labai sudėtingose sistemose vidinių modelių kūrimas ir matematiniai eksperimentai su jais yra gana efektyvus ir praktiškai gana dažnai taikomas labai sudėtingų sistemų tyrimo metodas.

1.12.3. skyrelyje nagrinėjamas **sudėtingos sistemos išėjimo trajektorijų ir jos išorinio modelio gavimas, naudojantis tos sistemos elementų perdavimo funkcijomis**. Toks metodas gali būti taikomas tais atvejais, kai sudėtingą sistemą pavyksta dekomponuoti į elementus, kurių išoriniai matematiniai modeliai yra tiesiniai. Skyrelyje pateikti konkretūs tokio metodo taikymo pavyzdžiai sudėtingoms sistemoms, turinčioms po kelis įėjimus ir kelis išėjimus bei savo viduje grįžtamųjų ryšių kilpas, kai tų sistemų struktūrų aprašymas pateikiamas įvairiais būdais. Rekomenduojau skaitytojui pabandyti pačiam savarankiškai išsivesti tuose pavyzdžiuose pateikiamas formules. Tai leis ne tik geriau suvokti aprašomo metodo esmę, bet ir patikrinti ankstesnių skyrių studijose įgytų žinių ir sugebėjimų lygį. Juk formulės, kurios pateiktos minėtuose pavyzdžiuose, yra ankstesniuose mokymo priemonės skyriuose pateiktų užduočių atsakymai. Tiems skaitytojams, kuriuos domina matematinių metodų taikymas inžineriniame sistemų projektavime, pateikiamas literatūros, kurioje gausu įvairių tokio taikymo pavyzdžių, sąrašas. Mokymo priemonės studijų metu įgytų žinių pakaks tam, kad skaitytojas tą literatūrą suprastų ir galėtų ją laisvai naudotis.

1.12.4. skyrelis skirtas aprašytų metodų tolesnės galimos raidos apžvalgai. **Sintezuojant sisteminio modeliavimo metodus su struktūrų algebros metodais, galima bandyti kurti ne tik sistemų struktūrų, bet ir sisteminių modelių algebros matematinį aparatą ir jį taikyti sisteminiame modeliavime, sisteminiame projektavime ir sisteminėje analizėje.** Prie šitos problemos dar grįšime antrojoje šios mokymo priemonės dalyje.

Išsiaiškinamos sąvokos

adekvataus vidinio modelio sudarymo sunkumai	automato makromodelis
agregatas	automato mikromodelis
antrosios eilės forsavimo grandis	
baigtinio automato abstrakčioji sintezė	baigtinio automato struktūrinė sintezė
baigtinio automato loginė sintezė	
dalinė perdavimo funkcija	diferencijavimo grandelės perdavimo funkcija
deskripcinė trajektorija	
emerđžencija	elementų lygiagretaus jungimo operacija
elementų makromodeliai	elementų nuoseklaus jungimo operacija
fazinės trajektorijos atvaizdas	„fizinis“ sistemos struktūros aprašymo būdas
fazinė trajektorija	
greito reagavimo grandis	grįžtamųjų ryšių organizavimo operacijos
grįžtamieji ryšiai: neigiamas, teigiamas	
idealus diferenciatorius	invertorius
idealus integratorius	išėjimo funkcija
idealus stiprintuvas	išėjimo trajektorija
idealus vėlinimo blokas	išėjimo trajektorijos atvaizdas
idealus virpesių kontūras	išėjimo trajektorijų atvaizdų vektorius
įėjimo trajektorija	išoriniai matematiniai eksperimentai su sistemų modeliais
įėjimo trajektorijos atvaizdas	išorinis sistemos modelis perdavimo funkcijų stratoje
įėjimo trajektorijų atvaizdų vektorius	
inertiškumo grandelė	
integravimo grandelė	

labai sudėtinga sistema	lėto reagavimo grandis
makromodelis	matematiniai eksperimentai su sistemų modeliais
matematinė sistemų teorija	matematinų modelių algebra
matricinė perdavimo funkcija	mikromodelis
mechanistinė metodologija	
netiesinė sistema	nulinės pradinės sąlygos
normatyvinė trajektorija	nuoseklaus veikimo dvejetainis sumatorius
organizacinė sistema	organizminė sistema
organizminė metodologija	
perdavimo funkcija	perdavimo funkcijų metodo taikymas sistemų
perdavimo funkcija kaip operatorius	projektavime
perdavimo funkcijų matrica	pirmosios eilės forsavimo grandis
perdavimo funkcijų metodas	pradinės sąlygos
perdavimo funkcijų metodo taikymas sisteminėje analizėje	
realus vėlinimo blokas	ryšių operatoriaus lentelinis modelis
realus virpesių kontūras	ryšių operatorius
sandėlio išorinio modelio išvedimas iš jo vidinio modelio	sistemos vidinis modelis algoritminėje formoje
sisteminio modeliavimo ir struktūrų algebros sintezė	sistemos vidinis modelis programinėje formoje
sistemos dekompozicija	sistemų analizės matematinis aparatas
sistemos elementų perdavimo funkcijos	sistemų sintezės matematinis aparatas
sistemos išorinė perdavimo funkcija	stiprinimo koeficientas
sistemos išorinio modelio išvedimas iš jos vidinio modelio	stiprintuvas
sistemos išorinis modelis algoritminėje formoje	struktūrų algebra
sistemos išorinis modelis programinėje formoje	sudėtinga sistema
sistemos išorinių ryšių aprašymas	sudėtingų sistemų projektavimo metodai
sistemos vidinio modelio panaudojimas jos išorinio modelio vaidmenyje	sumatoriaus makromodelis
	sumatoriaus mikromodelis
Šatichino matrica	
tiesinė sistema	tiesinis elemento modelis
vidinė sistemos struktūra	vidinis sistemos modelis perdavimo funkcijų
vidiniai eksperimentai su sistemos modeliu	stratoje

UŽDUOTYS

1.12.1. Iš sandėlio vidinio modelio gaukite išorines perėjimo funkcijas $\bar{z}_2(t+1) = \bar{\psi}_2(\bar{x}(t), \bar{z}(t))$ ir $\bar{z}_3(t+1) = \bar{\psi}_3(\bar{x}(t), \bar{z}(t))$.

1.12.2. Iš sandėlio, į kurį medžiagas tiekia keli tiekėjai (žiūr. 1.10.2. užduotį), mikromodelio gaukite išorinį matematinį modelį.

1.12.3. Iš diferencijavimo grandelės matematinio mikromodelio, sudaryto 1.10.5. skyrelyje, gaukite tos grandelės matematinį makromodelį.

1.12.4. Iš automato mikromodelio, sudaryto 1.10.3. skyrelyje, gaukite to automato makromodelį.

1.12.5. Iš vamzdžių paskirstymo automato mikromodelio (žiūr. 1.10.5. užduotį) gaukite to automato makromodelį ir palyginkite jį su makromodeliu, gautu, vykdant 1.4.9. užduotį.

1.12.6. Iš lygiagretaus veikimo dvejetainio sumatoriaus mikromodelio gaukite to sumatoriaus makromodelį.

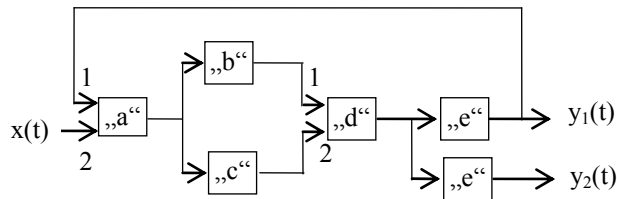
1.12.7. Iš nuoseklaus veikimo dvejetainio sumatoriaus mikromodelio, sudaryto 1.11.3. skyrelyje, gaukite to sumatoriaus makromodelį.

1.12.8. Nurodykite, kuomet Jūs, vykdydami 1.10.14. užduotį, naudojotės darbo centrų sąveikos modeliu, kaip mikromodeliu, kada – kaip makromodeliu. Ką, Jūsų nuomone, reikėtų vadinti išoriniu eksperimentu su sistemos mikromodeliu, ką – vidiniu?

1.12.9. Ar galima iš sistemos makromodelio gauti jos mikromodelį? Savo atsakymą argumentuokite, o taip pat pailiustruokite pavyzdžiais.

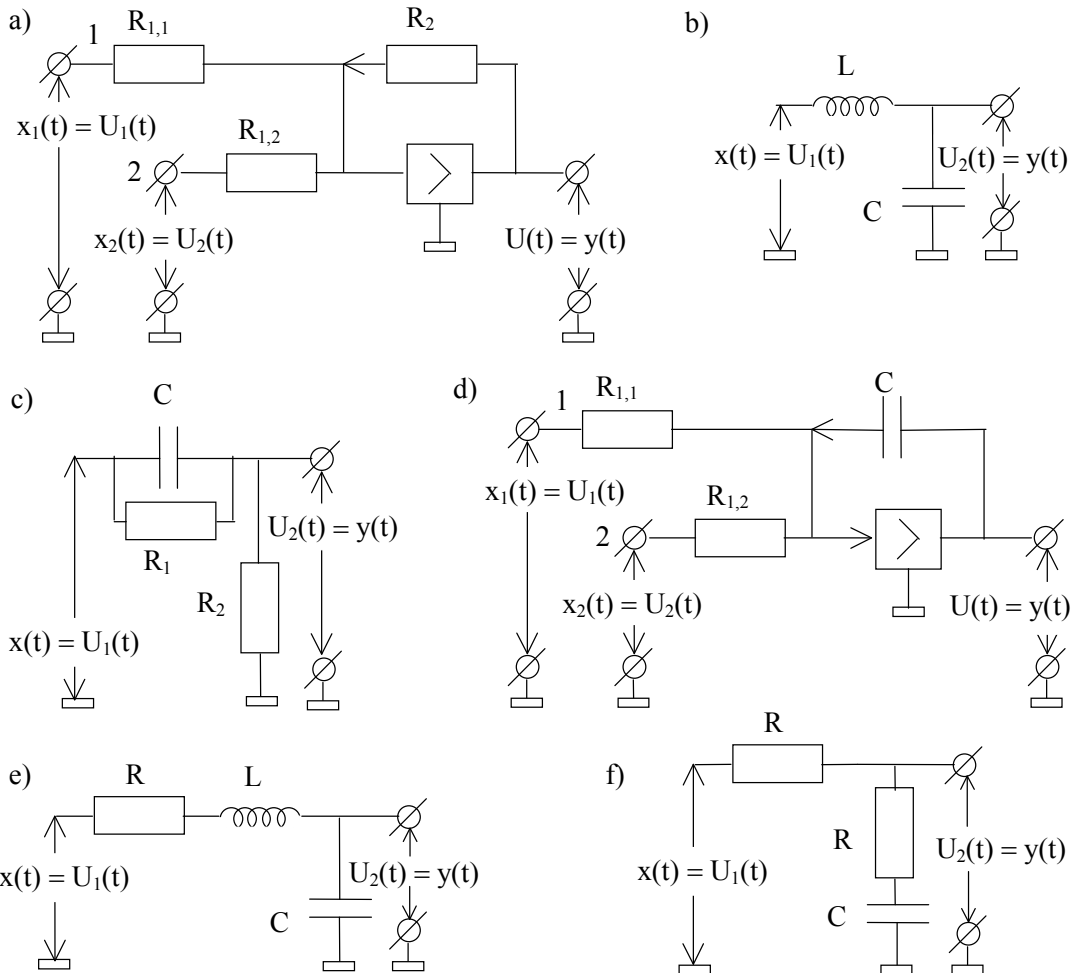
1.12.10. Ar galima iš vieno mikromodelio gauti kelis skirtingus makromodelius? Kodėl?

1.12.11. Sudarykite sistemos S išorines perdavimo funkcijas, jei sistema S turi tokią struktūrą, kokia pavaizduota 286 pav.



286 pav.

Sistemos S elementų – blokų „a“, „b“, „c“, „d“, „e“, „f“ – schemas pavaizduotos 287 pav.



287 pav.

1.12.12. Raskite sistemos, pavaizduotos 282 pav., matricinę perdavimo funkciją $(W_{s,k}^{(u)}(p))$.

1.12.13. Naudodamiesi 48 ir 49 lentelėmis, sudarykite posistemių $S_1^{(I)}$ ir $S_2^{(I)}$ matricines perdavimo funkcijas, laikydami, kad agregatų j išėjimų k perdavimo funkcijos $W_{j,k}^{(u)}(p)$ yra žinomos.

Po to, naudodamiesi 50 lentele, raskite visos sistemos S matricinę perdavimo funkciją $W_s(p)$.

1.12.14. Laikydami, kad sistemos S sudėtį sudarančių visų aštuonių agregatų visų išėjimų dalinės perdavimo funkcijos yra žinomos, raskite tos sistemos matricinę perdavimo funkciją:

a) naudodamiesi 51 lentele,

b) naudodamiesi 52, 53, 54 ir 55 lentelėmis.

Palyginkite abi matricines perdavimo funkcijos sudarymo procedūras ir gautus rezultatus.

1.12.15. Naudodamiesi 160 pav. ir laikydami, jog agregatų išoriniai matematiniai modeliai mums yra žinomi, iš vidinio sistemos S modelio gaukite jos išorinį modelį, t. y. sudarykite sistemos išorinių išėjimų ir perėjimų funkcijų formules, kaip elementų perėjimų ir išėjimų funkcijų superpozicijas.

1.12.16. Naudodamiesi 48, 49 ir 50 lentelėmis, sudarykite posistemių $S_1^{(I)}$, $S_2^{(I)}$ ir sistemų $S^{(II)}$ ir S išorinius modelius, išreikšdami posistemių ir sistemų perėjimų ir išėjimų funkcijas per elementų perėjimų ir išėjimų funkcijas bei jų įėjimus ir pradines būsenas.

1.12.17. Įvykdyskite 1.12.15. užduotį, naudodamiesi 51 lentele.

1.12.18. Įvykdyskite 1.12.16. užduotį, naudodamiesi 52, 53, 54 ir 55 lentelėmis.

1.12.19. Įveskite į struktūrų algebrą papildomas struktūrų jungimo operacijos modifikacijas, atitinkančias blokų perdavimo funkcijų sandaugos, sudėties bei blokų jungimo į ciklus su grįžtamaisiais (atbuliniais) ryšiais operacijas, suformuluokite modifikacijų apibrėžimus ir jų vykdymo algoritmus, iliustruodami visa tai pavyzdžiais.

Parodykite, kaip šiomis operacijomis naudotis sistemų modelių algebroje (perdavimo funkcijų ir išorinių matematinių modelių stratoje), sudarant iš vidinių modelių išorinius modelius.

1.12.20. Pasiūlykite, kaip reikėtų modifikuoti ir papildyti 1.9.2. poskyryje aprašytas struktūrų algebros operacijas, kad jomis būtų patogiau operuoti, sudarant sistemų išorines perdavimo funkcijas ir jų išorinius matematinius modelius iš sistemų elementų išorinių matematinių modelių bei jų perdavimo funkcijų.

Kokios struktūrų algebros operacijos jau dabar pritaikytos šiam tikslui?

1.12.21. Pabandykite sudaryti kokios nors valdymo sistemos vidinį modelį ir užrašyti jį matricinėje formoje. Sudarykite tokios operacijos algoritmą, kuri sugebėtų tame modelyje išskirti uždarus valdymo kontūrus bei kitus ciklus ir rasti jų matematinius modelius.

1.12.22. Į perdavimo funkcijas galima žiūrėti, kaip į tam tikrus matematinius operatorius, transformuojančius įėjimų atvaizdus į išėjimų atvaizdus. Ar galima sukurti operatorius, transformuojančius sistemų vidinius matematinius modelius į jų išorinius matematinius modelius?

1.12.23. Naudodamiesi operacinio skaičiavimo matematiniu aparatu ir perdavimo funkcijų kompozicijos ir dekompozicijos metodais, suprojektuokite elementariųjų perdavimo funkcijų stratoje vidinį modelį tokios sistemos, kuri, atsižvelgdama į išoriniu termometru matuojamą lauko temperatūrą, būsto sienų šiluminį laidumą, kurį paprastumo dėlei galima laikyti pastoviu (t. y. galima laikyti, kad būsto šiluminiai nuostoliai yra tiesiogiai proporcingi būsto vidaus ir lauko temperatūrų skirtumui) ir iš centrinio šildymo sistemos ateinančio vandens temperatūrą, matuojamą specialiu termometru, reguliuotą į būsto radiatorius patenkančio karšto vandens kiekį, matuojamą specialiu skaitliuku, taip, kad būsto viduje būtų palaikoma pastovi duotoji temperatūra, matuojama vidaus termometru. Sudarykite dalinės perdavimo funkcijas, vaizduojančias būsto vidaus temperatūros priklausomybę nuo lauko ir šildymo sistemos karšto vandens temperatūrų atvejais: a) kai nėra Jūsų suprojektuotos būsto vidaus temperatūros automatinio stabilizavimo sistemos; b) kai tokia sistema veikia.