

С.В. АБГАРЯН, Т.В. САРГСЯН

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Разработан алгоритм для исследования автоматических пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов в среде LabVIEW, который на основе метода Никольса-Циглера выполняет автоматический расчет параметров настройки регулятора для заданного объекта.

Ключевые слова: ПИД регулятор, параметры настройки, линия равного затухания, корневой годограф, Front Panel.

S.V. ABGARYAN, T.V. SARGSYAN

CALCULATION OF TUNING PARAMETERS OF A REGULATOR IN AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

An algorithm for investigating the automatic proportional-integral-derivative (PID) regulators operating in the LabVIEW environment is developed which performs automatic calculation of the tuning parameters of the regulator for the given plant by the method of Nichols-Ziegler.

Keywords: PID regulator, tuning parameters, line of equal attenuation, root locus, Front Panel.

ՀՏԴ 62:50

Տ.Ն. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ա.Ռ. ԶԻԼԻՆԳԱՐՅԱՆ, Օ.Ն. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ

ՄԻԱԶԱԲ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԿԱՐԳԵՐՈՒՄ L_1 ՀԱՐՄԱՐՎՈՂ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Դիտարկված են որոշ հարցեր, որոնք առնչվում են արտաքին վրդովմունքները չեզոքացնելու համար նախատեսված հարմարվող միաչափ մեկ մուտք և մեկ ելք (ՄՄՄԵ) ունեցող կառավարման համակարգերի կայունությանը: Հիմնվելով դրական իրական փոխանցման մատրիցների հատկությունների վրա՝ ցույց է տրված, որ այդպիսի համակարգերը կայուն են հարմարման գործակցի կամայական մեծ արժեքների, նույնիսկ աջակողմյան զրոներով համակարգերի դեպքերում:

Առանցքային բառեր. կառավարման միաչափ համակարգ, հարմարվող կառավարում, չափանմուշային մոդել, կայունություն, դրական իրական համակարգ:

Դիտարկված է միաչափ կառավարման համակարգերում L_1 հարմարվող կառավարման կիրառումը [1]: L_1 հարմարվող կառավարումը ստեղծվել է՝ լրացնելու համար չափանմուշային հարմարվող կառավարման մոդելը ($2<4U$), որի դեպքում, արագ հարմարվողական գործընթացների պայմաններում, տեղի է ունենում կայունության կորուստ [2,3]:

Որպես հաստատուն պարամետրերով գծային միաչափ համակարգերի հիմնարար մոդել թույլ տվեք դիտարկել մի համակարգ, որը կարող է արտահայտվել ըստ վիճակների տարածության հետևյալ կերպ.

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + bu(t), \\ y(t) &= cx(t),\end{aligned}\tag{1}$$

որտեղ $x(t)$ -ն n_x չափողականություն ունեցող վիճակի վեկտորն է, $u(t)$ -ն և $y(t)$ -ն՝ մուտքային և ելքային ազդանշանները, A -ն՝ $n_x \times n_x$ չափողականության մատրիցը, b և c -ն՝ համապատասխանաբար n_x չափողականության հաստատուն վեկտոր-տողը և վեկտոր-սյունը: Առաջիկայում կընդունենք, որ համակարգը ամբողջովին կառավարելի է և դիտարկելի, խիստ կայուն է, գուցե նաև առկա են աջ կիսահարթության փոխանցման զրոներ:

ՄՄՄԵ համակարգը կարել է դիտարկել նաև օպերատորային ձևով՝ որպես $W(s)$ սեփական ռացիոնալ ֆունկցիա s կոմպլեքս փոփոխականից:

Որպես կանոն, փոխանցման $W(s)$ ֆունկցիան կախված է (1) հավասարման A մատրիցից, b և c վեկտորներից հետևյալ բանաձևով [4].

$$W(s) = c(sI - A)^{-1}b,\tag{2}$$

որտեղ I -ն միավոր մատից է:

Դիտարկենք վիճակի կանխագուշակող և ցածր հաճախականային զտիչի L_1 կառավարման սխեման, որը ներկայացված է [1]-ում: Ենթադրենք, որ միաչափ խիստ կայուն ՄՄՄԵ համակարգը նկարագրվում է վիճակների տարածությունում հետևյալ հավասարումով.

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + b(u(t) + \sigma(t)), \quad x(0) = x_0, \\ y(t) &= cx(t),\end{aligned}\tag{3}$$

որտեղ $\sigma(t)$ -ն ներկայացնում է անհայտ և որոշակի սահմանափակումով ($|\sigma(t)| \leq \Delta_0$) արտաքին վրդովմունքը բնութագրող ժամանակից կախված փոփոխական, որը պետք է չեզոքացվի հարմարվող կառավարման միջոցով, իսկ մնացած բոլոր փոփոխականները և վեկտորները (3) հավասարման մեջ ունեն նույն չափողականությունը, ինչ հավասարում (1)-ում:

Վիճակի կանխագուշակող համակարգն ունի նույն կառուցվածքը, ինչպիսին հավասարում (3)-ում է.

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}}(t) &= A\hat{x}(t) + b(u(t) + \hat{\sigma}(t)), \quad \hat{x}(0) = x_0, \\ \hat{y}(t) &= c\hat{x}(t),\end{aligned}\tag{4}$$

և միակ տարբերությունը այն է, որ անհայտ արտաքին $\sigma(t)$ վրդովմունքը փոխարինվում է իր համարժեք $\hat{\sigma}(t)$ վեկտորով:

Վրդովմունքների չեզոքացման գործընթացը կարգավորվում է հետևյալ հարմարվողականության օրենքով [1]՝

$$\dot{\hat{\sigma}}(t) = \Gamma b^T P \varepsilon(t), \quad (5)$$

որտեղ $\varepsilon(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ կանխագուշակման սխալանքն է, $P = P^T > 0$ -ն Լյապունովի հավասարման լուծումը.

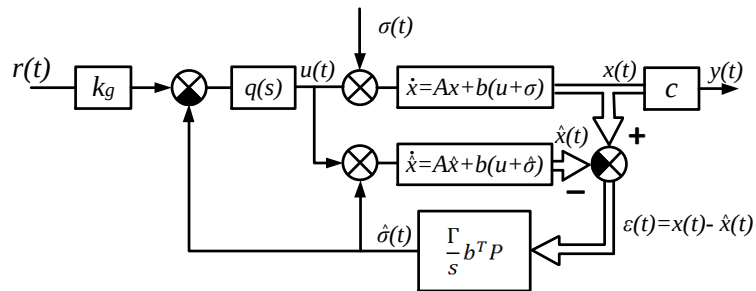
$$A^T P + P A = -Q, \quad (6)$$

որտեղ Q -ն դրական կողմնորոշված $Q = Q^T > 0$ մատրից է, իսկ Γ -ն դրական հաստատունը կոչվում է *հարմարվողականության ուժեղացման գործակից* [1]:

Համակարգի կառավարող $u(t)$ ազդանշանն ունի հետևյալ օպերատորային տեսքը.

$$u(s) = q(s)(k_g r(s) - \hat{\sigma}(s)), \quad (7)$$

որտեղ $r(s)$ -ը միաչափ չափանմուշային ազդանշանն է, k_g -ն՝ հաստատուն գործակից, իսկ $q(s)$ -ը՝ ցածր հաճախականային գտիչի փոխանցման ֆունկցիան, որը բավարարում է $q(0)=1$ պայմանը:



Նկ. 1. Հարմարվող կառավարման համակարգի կառուցվածքային սխեման

Վիճակի կանխագուշակումով (4) կառավարման համակարգի կառուցվածքային սխեման, վրդովմունքների չեզոքացման հարմարվողականության օրենքը (5) և $u(s)$ կառավարող ազդանշանը (7) ցուցադրված են նկ. 1-ում:

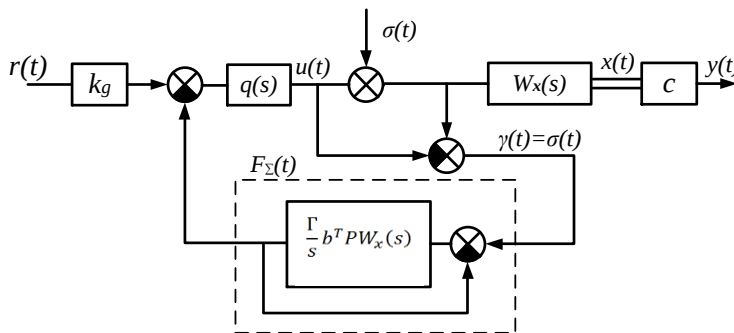
Այսպիսով, վերոնշյալ հարմարվող կառավարման համակարգի կառուցվածքը ներկայացնում է գծային ՄՄՄԵ համակարգ, որը կարող է ուսումնասիրվել գծային միաչափ համակարգերի դասական կառավարման մեթոդներով և մոտեցումներով

[4,5]: Պետք է նշել, որ վիճակի կանխագուշակող L1 կառավարման կառուցվածքային սխեմայում $q(s)$ փոխանցման ֆունկցիան կառավարող $u(s)$ ազդանշանում (7) ներկայացված չէ վրդովմունքի չեզոքացման օրենքում (5): Դիտարկենք նկ. 1-ում ներկայացված հարմարվող համակարգի կառուցվածքի առանձնահատկությունները: Այդ նպատակով ներմուծենք հետևյալ փոխանցման վեկտորը.

$$W_x(s) = (sI - A)^{-1}b, \quad (8)$$

որը վերաբերում է $x(t)$ վիճակի վեկտորով (1) համակարգի մուտքին:

Հաշվի առնելով (8)-ը՝ նկ. 1 -ում պատկերված կառուցվածքային սխեման կարելի է ձևափոխել համարժեք նկ. 2 -ում պատկերված սխեմայով:



Նկ. 2. Նկ. 1-ում պատկերված համակարգի համարժեք կառուցվածքային սխեման

Հիմնվելով նկ. 2 -ի վրա՝ հեշտ է արտածել հարմարվող համակարգի հետևյալ հավասարումը.

$$y(s) = cW_x(s)q(s)k_g r(s) + cW_x(s) \left[I - q(s)[I + W_0(s)]^{-1}W_0(s) \right] \sigma(s), \quad (9)$$

կամ, քանի որ $cW_x(s) = W(s)$ [տե՛ս հավասարումները (2)-ում և (9)-ում], ապա՝

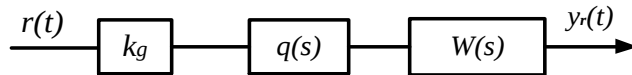
$$y(s) = W(s)q(s)k_g r(s) + W(s) \left[I - q(s)[I + W_0(s)]^{-1}W_0(s) \right] \sigma(s), \quad (10)$$

որտեղ

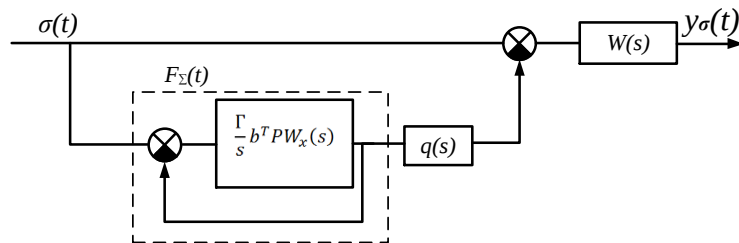
$$W_0(s) = \frac{\Gamma}{s} W_B(s); \quad W_B(s) = b^T P W_x(s); \quad (11)$$

Ինչպես երևում է (10) հավասարությունից, համակարգի ելքային $y(s)$ ազդանշանը բաղկացած է երկու բաղադրիչներից, որոնք ձևավորվել են համապատասխանաբար $r(s)$ հենակային ազդանշանից և $\sigma(s)$ վրդովմունքից: Քանի որ նկ. 1-ում

և 2-ում պատկերված հարմարվող ՄՄՄԵ համակարգը գծային է, ապա գործում է ազդեցությունների անկախ ազդեցության սկզբունքը (սուպերպոզիցիայի սկզբունքը), և, հաշվի առնելով (10) հավասարությունը, համակարգի դինամիկան կարելի է ներկայացնել երկու անկախ՝ նկ. 3 և նկ. 4 կառուցվածքային սխեմաների միջոցով:



Նկ. 3. Մուտքային $r(t)$ ազդանշանով պայմանավորված հարմարվող համակարգի համարժեք կառուցվածքային սխեման



Նկ. 4. $\sigma(t)$ վրդովմունքով պայմանավորված հարմարվող համակարգի համարժեք կառուցվածքային սխեման

Անդրադառնանք նկ. 1-ում պատկերված հարմարվող համակարգի կայունության վերլուծությանը: Նկ. 3-ում պատկերված կառուցվածքային սխեմայից ակնհայտ է, քանի որ երկու $\sigma(s)$ և $W(s)$ փոխանցման ֆունկցիաները կայուն են, ապա այն ներկայացնում է կայուն ՄՄՄԵ բաց համակարգ, որը կախված չէ Γ հարմարվողականության ուժեղացման գործակցից:

Ի հակադրություն նկ. 3-ում պատկերված սխեմայի, նկ. 4-ում պատկերված են բացասական հետադարձ կապով բաց համակարգի փոխանցման $W_0(s)$ ֆունկցիան (11) և հետևյալ փակ համակարգի փոխանցման $F_\Sigma(s)$ ֆունկցիան.

$$F_\Sigma(s) = [I + W_0(s)]^{-1} W_0(s) = \left[I + \frac{\Gamma}{s} W_B(s) \right]^{-1} \frac{\Gamma}{s} W_B(s): \quad (12)$$

Վերոնշյալ համակարգի բնութագրիչ հավասարումը հետևյալն է.

$$\det[I + W_0(s)] = \det \left[I + \frac{\Gamma}{s} W_B(s) \right] = 0, \quad (13)$$

և, ակնհայտ է, որ հարմարվող համակարգի բևեռները կախված են հարմարվողականության Γ ուժեղացման գործակցից, որը կարելի է սահմանել որպես բաց համակարգի փոխանցման $W_0(s)$ ֆունկցիան (11) ուժեղացման գործակցից:

Հաշվի առնելով հավասարում (8)-ը, $W_B(s)$ -ը (11) կարելի է ներկայացնել վիճակների տարածությունում հետևյալ կերպ:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + bu(t), \\ y_B(t) &= c_B x(t),\end{aligned}\tag{14}$$

որտեղ

$$c_B = b^T P:\tag{15}$$

Հաշվի առնելով (15) հավասարումը՝ և, կիրառելով Կալման-Յակուբովիչի լեմմը [1-3,6], հանգում ենք այն եզրակացության, որ $W_B(s)$ -ն պատկանում է, այսպես կոչված, *իրական դրական* փոխանցման ֆունկցիաների դասին, որը դրական է ($\operatorname{Re} W_B(j\omega) \geq 0$) բոլոր *իրական* ω -երի համար, իսկ $j\omega$ -ն չի հանդիսանում բևեռ $W_B(s)$ -ի համար:

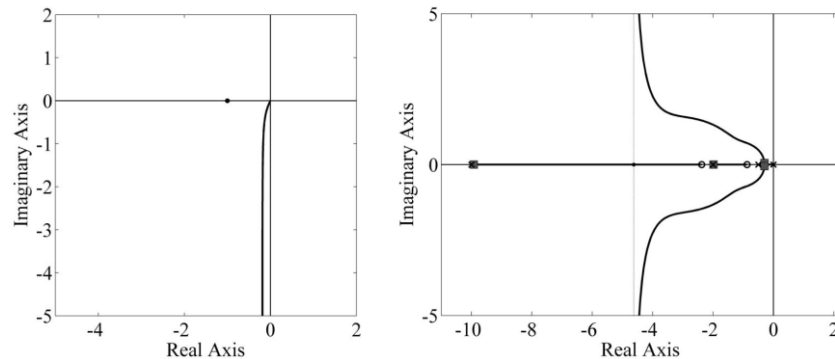
Օրինակ: Դիտարկենք ինտեգրող օղակ պարունակող միաշափ համակարգի փոխանցման ֆունկցիան.

$$W(s) = \frac{\Gamma 20}{s(s+0.5)(s+2)(s+10)},\tag{16}$$

որին համարժեք հարմարվող համակարգի փոխանցման ֆունկցիան կունենա հետևյալ տեսքը.

$$W_0(s) = \frac{\Gamma 0.86508(s+2.377)(s+0.8754)}{s(s+0.5)(s+2)(s+10)},\tag{17}$$

Վերոնշյալ ֆունկցիայի Նայքվիստի կորը և արմատային հոդոգրաֆները բերված են նկ. 5 -ում:



Նկ. 5. Ինտեգրող օղակով օբյեկտի համարժեք հարմարվող համակարգի Նայքվիստի և արմարային հոդոգրաֆները

Ինչպես տեսնում ենք նկ. 5-ում, $W(s)$ փոխանցման ֆունկցիա ունեցող հարմարվող համակարգը կայուն է ցանկացած $\Gamma > 0$ հարմարվողականության գործակցի դեպքում:

Եզրակացություն: Հարմարվող կառավարման համակարգը կայուն է ցանկացած $W(s)$ խիստ կայուն փոխանցման ֆունկցիայի, նույնիսկ աջակողմյան զրոների և ցանկացած Γ հարմարվողականության գործակցի արժեքի դեպքերում:

Վերոհիշյալ պնդումը բխում է այն փաստից, որ հարմարվող համակարգի համարժեք փոխանցման ֆունկցիան միշտ պատկանում է դրական իրական ֆունկցիաներին, այսինքն՝ ունի -1 հարաբերական կարգ (համակարգի զրոների և բևեռների տարբերությունը -1 է), և համարժեք փոխանցման ֆունկցիայի բոլոր զրոները և բևեռները միշտ գտնվում են ձախ կիսահարթությունում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Hovakimyan N. and Cao. C.** L_1 Adaptive Control Theory - Guaranteed Robustness with Fast Adaptation. - SIAM, Philadelphia, 2010. – 340 p.
2. **Astrom K. and Wittenmark B.** Adaptive Control. - Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, 1994. - 575 p.
3. **Ioannou P. and Sun J.** Robust Adaptive Control. - Prentice Hall, 1996. – 834 p.
4. **Skogestad S. and Postlethwaite I.** Multivariable Feedback Control. Analysis and Design. - John Wiley and Sons Ltd., Chichester, Sussex, UK, 2005. - 595 p.
5. **Gasparyan O. N.** Linear and Nonlinear Multivariable Feedback Control: A Classical Approach. - John Wiley & Sons, UK, 2008. - 354 p.
6. **Slotine J.-J. E. and Li W.** Applied Nonlinear Control. - Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 1991. - 476 p.

Т.Н. ОГАННИСЯН, А.Р. ЧИЛИНГАРЯН, О.Н. ГАСПАРЯН

**О ПРИМЕНЕНИИ L1 АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
В ОДНОМЕРНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ**

Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с устойчивостью адаптивных одномерных (имеющих один вход и один выход) систем управления, предназначенных для компенсации внешних возмущений. Основываясь на свойствах положительных действительных передаточных функций, показано, что подобные системы устойчивы при произвольно больших значениях коэффициента адаптации, даже в случае систем с правосторонними нулями.

Ключевые слова: одномерная система управления, адаптивное управление, эталонная модель, устойчивость, положительная действительная система.

T.N. HOVHANISSYAN, A.R. CHILINGARYAN, O.N. GASPARYAN

**APPLICATION OF L1 ADAPTIVE CONTROL IN ONE-DIMENSIONAL
CONTROL SYSTEMS**

Some issues concerning the stability of SISO (i.e. having one input and one output) adaptive control systems for rejecting the external disturbances are discussed. Based on the properties of positive real transfer matrices, it is shown that such systems are stable for arbitrary large values of the adaptation gain, even in the case of systems with right half plane zeros.

Keywords: single input single output (SISO) control system, adaptive control, reference model, stability, positive real system.

ՀՏԴ 62-50

Վ.Հ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

**ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԴԱՍԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ ԲԱԶՄԱԶԱՓ
ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԳՐԱՖԻԿԱԿԱՆ
ԻՆՏԵՐՖԵՅՍ**

MATLAB ծրագրային լեզվով ստեղծվել է գրաֆիկական ինտերֆեյս բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգերի (ԲԱԿ) կարգավորիչների ընտրության համար, որը հնարավորություն է տալիս նախագծել ԲԱԿ-երը (ընդհանուր տեսքի, միատիպ, ցիրկուլյանտ և այլն)՝ դասական միաչափ համակարգերի կիրառմամբ: Այդ ինտերֆեյսի միջոցով կատարվել է տարբեր տեսակի համակարգերի կայունության վերլուծություն՝ Նայքվիստի չափանիշի կիրառմամբ:

Առանցքային բառեր. միաչափ և բազմաչափ ավտոմատ կառավարման համակարգեր, միատիպ, ցիրկուլյանտ համակարգեր, կարգավորիչ, գրաֆիկական ինտերֆեյս, համակարգի կայունություն, Նայքվիստի չափանիշ: