

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

UOT 629.12.066

OBJEKTŁƏRİN İDARƏ EDİLMƏSİ ÜÇÜN MƏNTİQİ TƏNZİMLƏYİCİNİN SİNTEZİ VƏ TƏDQİQİ

Fərhadov V.Q., Bayramova İ.P., Qocayeva A.B.

“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ

AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18

E-mail vahidf@mail.ru, genclik76@mail.ru

Xülasə. Məntiqi tənzimləyicilərin qurulması avtomatik idarəetmənin nəzəri və tətbiqi məsələlərinin əsas istiqamətlərdən biridir. Sintez məsələsinin çətinliyi bir çox elektromexaniki sistemlərin, texnoloji proseslərin, mobil və uçan aparat vasitələrinin riyazi modellərinin yüksək qeyri-müəyyənlik dərəcəsinə, eyni zamanda obyektin qeyri-xətti və qeyri-stasionarlığının olması ilə xarici və parametrik təsirləri çox vaxt ölçməyin mümkün olmamasından ibarətdir. Belə hallarda tənzimləyicilərin sintezinə konstruktiv yanaşmalardan biri məntiqi idarəetmədir. Bu yanaşma hərəkətin fundamental göstəricilərinin məntiqi-lingvistik təhlilinə əsaslanır və buna görə də obyektin formal riyazi modeli və həyacanlandırıcı təsirlərin xüsusiyyətləri haqqında çox bilik tələb edilmir. Məntiqi-lingvistik idarəetmənin sintezinə əsas yanaşmalardan biri də “Lyapunov funksiyası üsulu”dur. Hazırda bu üsul həm deterministik, həm də qeyri-səlis tənzimləyicilərin sintezi üçün geniş istifadə olunur.

Аннотация. Построение логических регуляторов является одним из основных направлений теории и практики автоматического управления. Задача синтеза усложняется тем, что математические модели многих электромеханических систем, технологических процессов, подвижных и летательных аппаратов имеют большую степень неопределенности, а также часто бывают недоступны измерению внешние и параметрические возмущения, являющиеся источниками нелинейности и не стационарности характеристик объекта. В указанной ситуации одним из конструктивных подходов к синтезу стабилизирующих регуляторов является логическое управление. Этот подход основывается на логико-лингвистическом анализе фундаментальных показателей движения и поэтому не требует больших знаний о формальной математической модели объекта и характеристик возмущений. Одним из основных подходов синтеза логико-лингвистического управления является «метод функции Ляпунова». В настоящее время этот метод широко используется как для синтеза детерминированных, так и нечетких регуляторов.

Abstract. The construction of logical controllers is one of the main directions in the theory and practice of automatic control. The task of synthesis is complicated by the fact that mathematical models of many electromechanical systems, technological processes, mobile and aircraft vehicles have a high degree of uncertainty, and external and parametric disturbances, which are sources of non-linearity and non-stationarity of object characteristics, are often inaccessible to measurement. In this situation, one of the constructive approaches to the synthesis of stabilizing controllers is logical control. This approach is based on a logical-linguistic analysis of the fundamental indicators of movement and therefore does not require much knowledge about the formal mathematical model of the object and the characteristics of disturbances. One of the main approaches to the synthesis of logical-linguistic control is the "method of the Lyapunov function". Currently, this method is widely used for both the synthesis of deterministic and fuzzy controllers.

Açar sözlər: *tənzimləyici, faza portreti, məntiqi idarəetmə, alqoritm, astatizm, gücləndirmə əmsali, statik xəta, keçid prosesi*

Ключевые слова: *регулятор, фазовый портрет, логическое управление, алгоритм, астатизм, коэффициент усиления, статическая ошибка, переходный процесс*

Key words: *regulator, phase portrait, logic control, algorithm, astatism, amplification factor, static error, transition process*

Giriş. Məntiqi idarəetmə modellərinin meydana gəlməsi avtomatlaşdırma sahəsində qeyri-müəyyən obyektlərin tədqiq edilməsi ilə əlaqədardır. Bu halda idarəetmənin əhəmiyyəti üsulları aşağı effektivli və ya sadəcə yararsız olurlar. Bunun əsas səbəbi aşağıdakılardır [1]:

1. Bir-çox idarə məqsədləri ədədi münasibətlərlə ifadə oluna bilmir.
2. Bəzi idarə girişləri arasında dəqiq ədədi asılılıqları təyin etməyin mümkün olmaması.
3. İdarə prosesinin coxmərhələli olması və hər bir addımın təsirinin əvvəlcə təyin oluna bilməməsi.
4. Obyektlərin mövcud yazılış üsullarının praktikada real zamanda istifadə oluna bilməməsi.
5. Obyektin fəaliyyəti zamanın onun parametrləri və strukturunun dəyişməsi.

Bu səbəbdən hər bir konkret hal meydana gəldikcə, idarəni dəyişmək lazım gəlir ki, bu da idarəetməni əhəmiyyətli dərəcədə çətinləşdirir. İdarəetmədə məntiqi üsulların əlverişliliyi aşağıdakı səbəblərlə əlaqədardır:

1. Tələb olunan nəticəni tam informasiya və bilik tələb olunmadan aksiomatik xarakterli anlayışlar və müddəaların əsasında almaq olar.
2. Formalizasiya prosesi (riyazi təsviretmə) təbiiyə adekvat olan məntiqi mühakiməyə gətirir.
3. Məntiqi mühakimə nisbətən daha sadə olan dil konstruksiyalarından ibarət olur.
4. Dinamik proseslər halında formal mülahizələr dayanıqlıq nəzəriyyəsinin ümumi qaydaları əsasında qurulur ki, bu da mühakimə prosesini başa düşməyə və yoxlamağa imkan verir.
5. Formal mühakimənin nəticəsini hər hansı bir sistemdə çıxarış kimi almaq olar, çıxarışın axtarış prosesini isə konstruktiv qaydalardan ibarət olan sistemdə kompüter proqramlarının köməyi ilə asanlıqla yetirilə yetirmək olar. Bu halda, məsələn, “if-then” (“əgər-onda”) qaydalarından istifadə etmək olar.

Hazırda texnika və texnologiyada istifadə edilən obyektlər üçün məntiqi-linqvistik idarənin qurulmasına olan əsas yanaşmalardan biri x_i faza dəyişənləri arasında sonlu sayda ədədi münasibətlərin ayrılmasına əsaslanır. Bu münasibətlər idarə strategiyasının ayrı-ayrı elementlərini əlaqələndirir.

Əsas hissə. Dinamik obyektlər üçün məntiqi idarənin əsas sintez üsulu Lyapunov funksiyası üsuludur. Bu məsələnin həllində determinik [1] və qeyri-səlis [2] yanaşmalar mövcuddur. Məntiqi idarənin əsasını Lyapunovun 2-ci üsulu təşkil edir. Bu üsula əsasən, əgər “məsafə” ilə əlaqədar olan, məsələn, evklid norması, elə müsbət müəyyən $V(x_1, x_2, \dots, x_n)$ funksiyası seçmək və idarəni seçməklə bu “sürətiin” sıfırdan kiçikliyini təmin etmək mümkün olarsa, yəni $dV(x)/dt < 0$ şərti ödənərsə, onda hesab etmək olar ki, idarəetmənin əsas məsələsi, dinamik sistemlər üçün, dayanıqlıq ödənilmişdir.

Energetik baxımdan bu xüsusiyyəti belə əsaslandırmaq olar. Əgər Lyapunov funksiyası adlanan $V(x)$ potensial funksiyasının enerjisi sistemin traektoriyası $x(t)$ boyunca azalırsa, sistemin hərəkəti müəyyən vaxtdan sonra yekunlaşacaqdır. Adətən, kanonik kvadratik və xətti vuruqlara ayrılan kvadratik formalardan istifadə olunur.

Alınmış məntiqi idarəetmə strategiyası seçilmiş Lyapunov funksiyasının tipindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Məsələnin həlli sadə halda 4 mərhələdən ibarətdir:

• müsbət müəyyən (yəni $V(x) > 0, V(0) = 0$) funksiyanın seçilməsi; obyektin traektoriyası $x(t)$ üzrə bu funksiyanın zamana görə $dV(x)/dt$ törəməsinin təyin olunması; alınmış törəmənin idarə u ilə əlaqələndirilməsi: $dV(x)/dt = f(u)$; $dV(x)/dt < 0$ şərtini ödəyən əks əlaqəli $u(x)$ idarəsinin təyin olunması.

Kanonik kvadratik forma halında $x_i, i=1,2,\dots,n$, faza dəyişənlərinin işarəsindən asılı olaraq elə idarə $u_j(x)$ seçilir ki, işarələrin kombinasiyasının baxılan oblastında törəmənin sıfırdan kiçikliyini təmin edir. Bu səbəbdən, hər bir j -ci oblastda özünün lokal $u_j(x)$ təyin edilir. Sistemin tərtibi artdıqca işarələrin kombinasiyalarının sayı kəskin artır və məntiqi qanunauyğunluqlar ekspert tərəfindən getdiycə başa düşülmür.

İşdə qeyri-xəttilər üçün yuxarıda göstərilən çətinliklərdən qismən azad olmağa imkan verən məntiqi rele idarəetmə alqoritmı işlənilmişdir. Bu halda obyekt qeyri-müəyyən olub, qeyri-xəttilik və xarici həyazanlandırıcı təsirlər məlum olmur. İki tip məntiqi rele tənzimləyiciləri işlənilmişdir:

1. Kvazisürüşən rejimdə işləyən rele tənzimləyiciləri.
2. “if-then” qaydaları əsasında qurulmuş rele tənzimləyiciləri.

Bu halda qeyri-xəttiliyin və həyazanlandırıcı təsirin hədd qiymətlərini bilmək kifayətdir. Təbii ki, bu halda rele signalının səviyyəsi qeyri-xəttiliyin yaratdığı hərəkət toplananını və həyazanlandırıcı təsirləri dəf edərək bilmək üçün kifayət etməlidir.

Xəttili vuruqlara ayrılan kvadratik formaqan istifadə etdikdə tapılmış idarə sürüşən rejim doğurur. Sürüşən rejim sonlu gücləndirmə əmsalında avtomatik idarəetmədə əldə edilən ən robust rejimdir. Lakin bu rejimdə idarə signalının yüksək tezlikli rəqslər etməsi icra orqanının dayanıqlığını və etibarlılığını zəiflədir. Bu xüsusiyyət sürüşən rejimlərin tətbiq sahəsini məhdudlaşdırır. İşdə bu çatışmamazlıq qoşma $s=0$ xəttinin sərhəd təbəqəsində $u=0$ idarə signalının istifadə edilməsinə yolu ilə zəiflədilir.

Məntiqi idarənin sintezi məsələsinin qoyuluşu. $\dot{V}(x)$ törəməsinin sıfırdan kiçik olmasını təmin edən elə idarəni təyin etmək lazımdır ki, bütün x_i faza dəyişənlərinin işarəsini təhlil təhlil etmək mümkün olsun. Yüksək tərtibli obyektlər halında kombinasiyaların sayı kəskin artır və bütün işarə kombinasiyaları üçün $\dot{V}(x) < 0$ şərtini təmin edən məntiqi qanunauyğunluqların qurulması olduqca çətinləşir.

Lyapunov funksiyasını qurduqdan sonra ikinci əsas məsələ $\dot{V}$ törəməsinin u idarəsindən asılılığını tapmaqdan ibarətdir.

Bu halda Lyapunov funksiyası aşağıdakı şəkildə verilir:

$$V(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} x_i x_j = \frac{1}{2} x^T Q x,$$

burada $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – vəziyyət vektoru; $Q = (q_{ij})$, $i, j = \overline{1, n}$ – müsbət müəyyən ədədi matrisdir. Kanonik formada Q diaqonal şəkildə qəbul etmək olar $Q = \text{diag}(q_{ij})$. Xüsusi halda $Q = I$, burada I – vahid matrisdir.

$$\text{Obyektin tənliyi} \quad \frac{dx}{dt} = f(x, u).$$

$f(x, u)$ – obyektin vektor funksiyasıdır.

Bu funksiyanın obyektin trayektoriyası $x(t)$ üzrə zamana görə törəməsi:

$$\frac{dV}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} \frac{dx_i}{dt} = x_1 \dot{x}_1 + x_2 \dot{x}_2 + \dots + x_n \dot{x}_n = \nabla V \cdot f(\mathbf{x}, u). \quad (1)$$

Burada $\nabla V(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - Lyapunov funksiyasının qradientidir.

Məntiqi idarənin sintezi məsələsinin həlli. Misal olaraq sabit cərəyan mühərrikinin sürətini idarə edən məntiqi tənzimləyicinin qurulması misalına baxaq. Belə dinamik obyektlərin riyazi modeli belə olur:

$$dx^2 / dt^2 = u.$$

Burada x – yerdəyişmə (mühərrik üçün valın dönmə bucağı); $\dot{x}$ - sürət (bucaq sürəti); u – idarə təsiri.

Faza dəyişənlərində uyğun model:

$$\dot{x}_1 = x_2, \quad \dot{x}_2 = u, \quad x = x_1.$$

Kanonik formada Lyapunov funksiyası:

$$V = \frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2).$$

Bu funksiyanın (1) ifadəsinə əsasən zamana görə törəməsi:

$$dV/dt = x_1 \dot{x}_1 + x_2 \dot{x}_2. \quad (2)$$

Obyektin tənliyindəki $\dot{x}_2 = u$ ifadəsini (2)-də yerinə yazsaq törəmə ilə u idarəsinin əlaqəsini tapırıq. Onda

$$dV/dt = x_1 \dot{x}_1 + x_2 u = x_1 x_2 + x_2 u = x_2 (x_1 + u).$$

$dV/dt < 0$ şərtini idarəni seçməklə təmin etmək üçün 4 sayda işarə kombinasiyası və o qədər də məntiqi qaydalar mümkündür:

$$\text{Əgər } x_1 > 0 \text{ və } x_2 > 0, \text{ onda } u < -K x_1, \quad |K x_1| > |x_1 x_2| \quad (3)$$

Əgər $x_1 < 0$ və $x_2 < 0$, onda $u > -K x_1$, Əgər işarələr müxtəlifdirsə, onda $u = 0$.

Alınmış nəzəri (3) əks əlaqəli məntiqi idarə alqoritmində nəzərə bəzi qeydlər etmək lazımdır. Birincisi, u -nun seçilməsinin birqiymətli olmaması. İkincisi, traektoriyanın pərçimlənməsinin qarşısını almaq üçün $u=0$ idarəsinin x_1 absis oxunun kiçik ətrafında qoşmaq olmaz. Bu səbəbdən $u=0$ əvəzinə $u = \pm \varepsilon$, $\varepsilon > 0$ – kiçik kəmiyyətdir, və ya $u=0$ qiymətinə qadağa qoyulan kiçik $-b \leq x_2 \leq +b$ oblastını ayırmalıyıq. Bununla bərabər x_2 oxunun ətrafında $u=0$ olan $-a \leq x_1 \leq a$ oblast ayırmaq lazımdır. Belə modifikasiya edilmiş alqoritm $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ tarazlıq nöqtəsinin kiçik ətrafında stabilləşdirici $u = 0$ idarəsinin təsir etdiyi və tərəfləri a , b olan düzbucaqlı ayırmağa imkan verir.

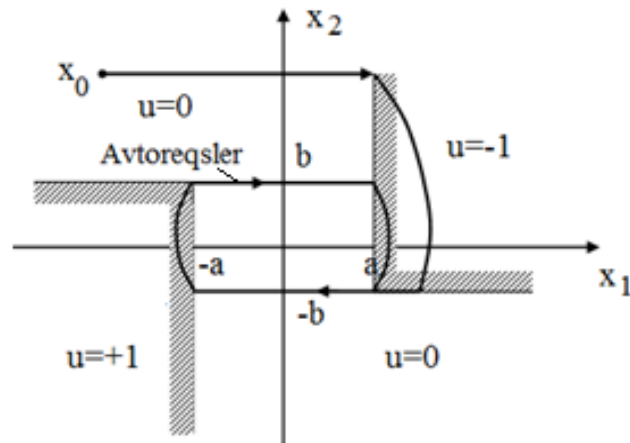
Qeyd olunanları nəzərə alaraq (3) məntiqi alqoritmının rele variantını aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$\text{Əgər } x_1 \geq a \text{ və } x_2 > -b, \text{ onda } u < -1, \quad (4)$$

$$\text{Əgər } x_1 \leq -a \text{ və } x_2 \leq b, \text{ onda } u > 1, \text{ digər hallarda } u = 0.$$

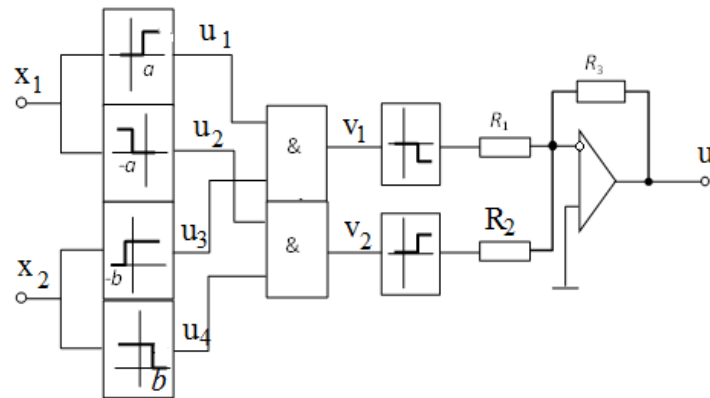
Şəkil 1-də sistemin faza portreti göstərilmişdir.

Parametrlər a və b kiçik kəmiyyətlər olduğundan avtorəqslərin amplitudu çox da böyük olmayaraq buraxıla bilən tənzimləmə xətası ilə uzlaşır. Əks halda a parametrini kiçiltmək olar.



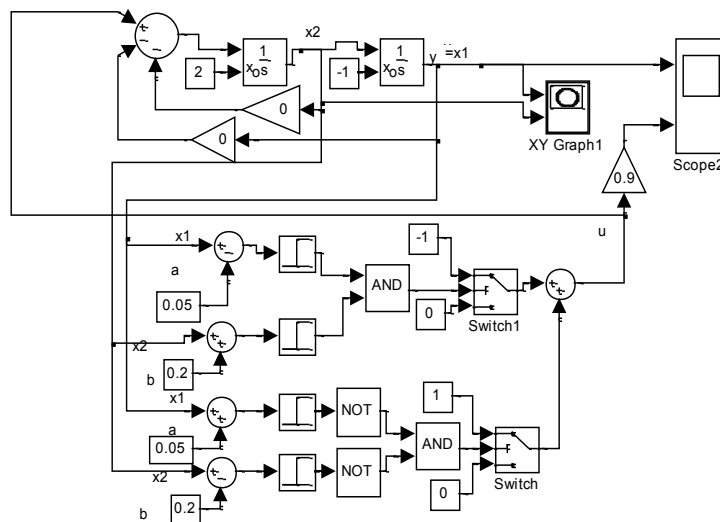
Şəkil 1. Sistemin faza portreti

Şəkil 2-də (4) algoritmi əsasında qurulmuş tənzimləyicinin realizasiya sxemi göstərilmişdir.



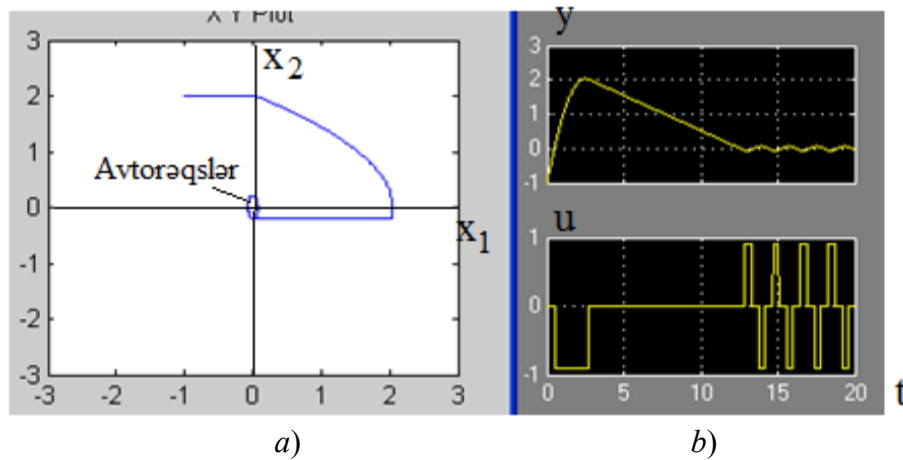
Şəkil 2. Tənzimləyicinin realizasiya sxemi

Şəkil 3-də tənzimləyicinin Simulink sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 3. Tənzimləyicinin Simulink sxemi

Şəkil 4, a - b -də $a = 0.05$, $b = 0.2$ qiymətlərində sistemin faza portreti (a), tənzimlənən $y = x_1$ kəmiyyəti və idarə signalı u göstərilmişdir.



Şəkil 4. Sistemin faza portreti (a), tənzimlənən $y = x_1$ kəmiyyəti və idarə signalı u (b)

Təklif olunan (4) məntiqi alqoritmin çatışmayan cəhəti $x=0$ tarazlıq nöqtəsinin kiçik ətrafında avtorəqslərin mövcud olmasıdır. Bu xüsusiyyət idarə signalının məhdud, yəni çəməsi üç $u=\pm 1$ və $u=0$ qiymətlərini ala bilməsidir.

Nəticə. Beləliklə, obyektlərin idarə edilməsi üçün məntiqi tənzimləyicinin sintezi və tədqiqi məsələsinə baxılmışdır. Belə hallarda tənzimləyicilərin sintezi üçün əsas yanaşmalardan biri məntiqi idarəetmədir. Bu yanaşma hərəkətin fundamental göstəricilərinin məntiqi-linqvistik təhlilinə əsaslanır və buna görə də çox məlumatlar tələb olunmur. Bu məqsədlə məntiqi-linqvistik idarəetmənin sintezinə əsas yanaşmalardan biri olan “Lyapunov funksiyası üsulu” təklif edilir. Xətti vuruqlara ayrılan kvadratik formadan istifadə sürüşmə və avtorəqs rejimlərindən azad olmağa imkan verir.

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 2-ci hissə. Ali texniki məktəblər üçün dərslik. Bakı, Nasir nəşriyyatı, 2006, 532 s.
2. Рустамов Г.А., Фархадов В.Г., Рустамов Р.Г. Исследование Коробастных систем при ограниченном управлении //Мехатроника, автоматизация, управление. Москва, № 11, 2018. с. 699-706.

*Мəqalə qəbul olunub: 12.10.23
Təvsiyə edib: prof. Qafarov A.M.*