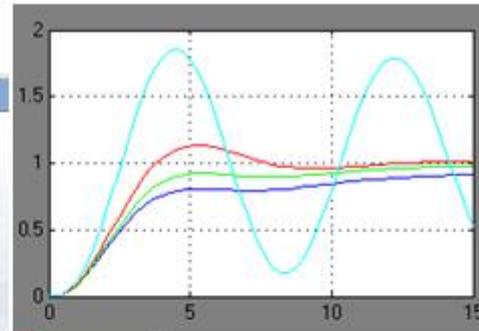
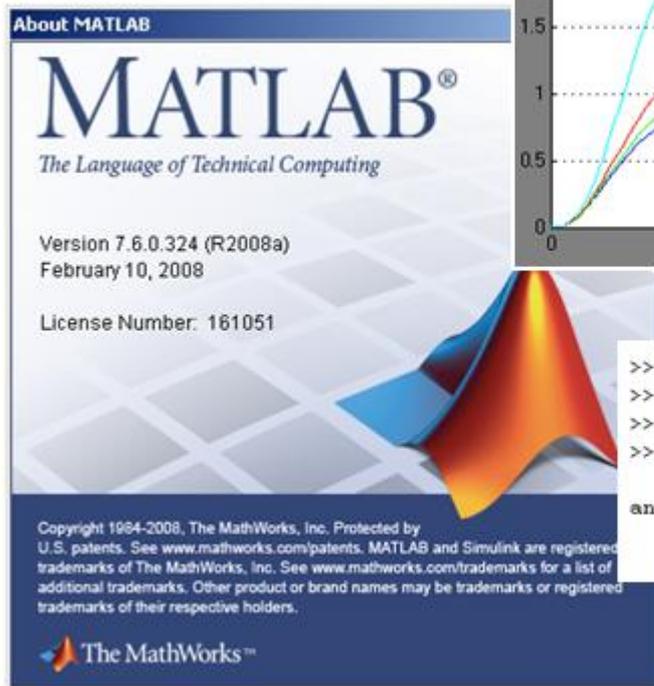
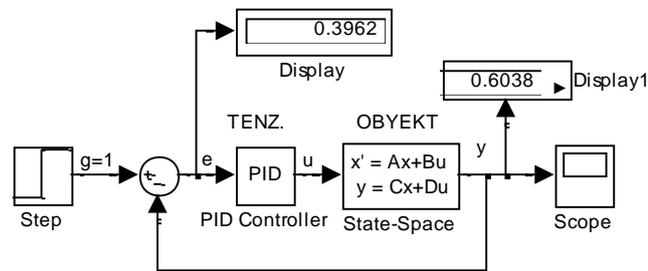


Rüstəmov Q.Ə., Fərhadov V.Q., Rüstəmov R.Q.

AVTOMATİK İDARƏETMƏ NƏZƏRİYYƏSİ

MATLAB/Simulink paketində yerinə yetirilən

LABORATORİYA İŞLƏRİ



```
>> % MATLAB programı
>> s=tf('s');
>> WA=2/(0.00001*s^4+0.0012!
>> pole(WA)
-100.0000
ans = -20.0000
-10.0000
5.0000
```

Bakı – 2011

Azərbaycan Texniki Universiteti

«Avtomatika və idarəetmə» kafedrası

Rüstəmov Q.Ə., Fərhadov V.Q., Rüstəmov R.Q.

AVTOMATİK İDARƏETMƏ NƏZƏRİYYƏSİ
fənnindən
MATLAB/Simulink paketində yerinə yetirilən

LABORATORİYA İŞLƏRİ

(Xətti sistemlər)

Azərbaycan Respublikası Təhsil
Nazirinin 13.06.2011-ci il tarixli
1075 sayılı əmri ilə təsdiq edilmişdir

Bakı – 2011

MÜNDƏRİCAT

	səh.
Giriş.....	4
Laboratoriya işi №1. Tipik siqnalların modelləşdirilməsi.....	5
Laboratoriya işi №2. İdarəetmə obyektlərinin modellərinin tədqiqi və realizasiyası.....	10
Laboratoriya işi №3. Obyektin vəziyyət modelinin elementar bloklarda realizasiyası.....	28
Laboratoriya işi №4. Superpozisiya prinsipinin tədqiqi.....	32
Laboratoriya işi №5. Tənzimləmə sistemlərinin struktur sxemlərinə əsasən ötürmə funksiyalarının təyini.....	36
Laboratoriya işi №6. İdarəetmə obyektlərinin zaman xarakteristikalarının qurulması.....	41
Laboratoriya işi №7. İdarəetmə obyektlərinin tezlik xarakteristikalarının qurulması.....	49
Laboratoriya işi №8. Xətti sistemlərin dayanıqlığının köklər və Hurvis kriterisi əsasında tədqiqi.....	56
Laboratoriya işi №9. Dayanıqlığın Naykvist tezlik kriterisi əsasında tədqiqi.....	64
Laboratoriya işi №10. Tənzimləmə sistemlərinin dayanıqlıq ehtiyatlarının təyini.....	76
Laboratoriya işi №11. Xətti tənzimləmə sistemlərinin keyfiyyətinin tədqiqi.....	81
Laboratoriya işi №12. PID tənzimləyicinin tədqiqi və modelləşdirilməsi.....	85
Laboratoriya işi №13. Tənzimləmə sistemlərinin statik xətasının təyini.....	91
Laboratoriya işi №14. Tənzimləmə sistemlərinin xətasının azaldılması üsullarının tədqiqi...	97
Laboratoriya işi №15. Avtomatik tənzimləmə sistemlərinin Simulinkdə qurulması və tədqiqi.....	104
Laboratoriya işi №16. Tənzimləmə sisteminin qütblərin yerləşdirilməsi əsasında sintezi və tədqiqi.....	110
Laboratoriya işi №17. Optimal tənzimləyicinin sintezi və tədqiqi.....	120
Laboratoriya işi №18. Tənzimləmə sistemlərinin optimal parametrik sintezi.....	127

GİRİŞ

Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsinin metod və üsullarının praktiki məsələlərin həlli üçün inkişaf etdirilməsi çox vacibdir.

Hazırkı mərhələdə bu metod və üsulların **Matlab/Simulink** tətbiqi proqramlar paketində realizasiyası geniş vüsət almışdır. Müvafiq predmet oblastında nəşr olunan elmi-metodik işlərin əksəriyyəti bu sahəyə aiddir. Lakin, Azərbaycan dilində müasir tələblərə cavab verən laboratoriya vəsaiti olmadığından tələbələr xeyli çətinlik çəkirlər. İş bu çətinlikləri aradan qaldırmaq məqsədi ilə yazılmışdır.

Matlabı elmi kalkulyator adlandırmaq olar. Burada proqramla vizual vasitələrin vəhdəti tədqiqatçılar üçün əvəzolunmaz imkan açır. Matlabın tərkibində olan **vizual-bloklı imitasiya modelləşdirmə paketi Simulink** xüsusi yer tutur. Simulinkdə avtomatik tənzimləmə sisteminin tipik element və blokları – giriş siqnalları, funksional və vizuallaşdırma vasitələri kitabxanada olan hazır bloklar şəklində təqdim olunur. Proqram müşahidəsi üzə çıxmayaraq arxa planda qalır. Sistemin parametrlərini dəyişmək üçün parametrlər pəncərəsindən istifadə olunur.

Simulinkdə müxtəlif modellər şəklində verilmiş idarəetmə obyektlərini modelləşdirmək mümkündür. Bunlardan ötürmə funksiyalarını və vəziyyət modellərini göstərmək olar. Bloklı imitasiya modelləşdirməsinə olduqca az vaxt sərf olunduğundan bir dərs saati ərzində nəticələri almaq və daha çox məlumat toplamaq mümkündür.

Tədqiqatların virtual xarakter daşmasına baxmayaraq praktiki tədbiqlərdə çox vacib olan biliklər qazanmaq mümkündür.

Məlum metodik işlərdə Simulinkin imkanlarından tam istifadə olunmadığından və bu sahədə Respublika Ali təhsil müəssisələrində müəyyən gerilik müşahidə olunduğundan təqdim olunan vəsait çox aktualdır.

Laboratoriya işində avtomatik tənzimləmənin əsas anlayış, metod və prinsipləri, idarəetmə obyektlərinin və sistemlərinin riyazi yazılış formaları, dayanıqlığın və keyfiyyət göstəricilərinin analitik və Matlab/Simulink paketində tədqiqat üsulları şərh olunmuşdur. Hər bir iş geniş nəzəri məlumat və nümunə ilə təchiz olunmuşdur.

Vəsait texniki təhsil müəssisələrində oxuyan tələbələr, müəllimlər, aspirant və elmi işçilər üçün nəzərdə tutulmuşdur. Materialdan "Avtomatik idarəetmə və modelləşdirmə" fənnindən **dərs vəsaiti** kimi istifadə etmək olar.

Laboratoriya işlərini yerinə yetirə bilmək üçün Matlab/Simulinkdən aprior olaraq müəyyən anlayışlara və vərdişlərə malik olmaq lazımdır.

TİPİK SİQNALLARIN MODELLEŞDİRİLMƏSİ

İşin məqsədi: Avtomatik tənzimləmə sistemlərində (ATS) mövcud olan əsas siqnalların Simulink paketində modelləşdirilməsi. Realizasiya sxemlərinin tərtib olunması və siqnalın **Scope** virtual cihazında müşahidə edilməsi.

1. Nəzəri məlumat

Siqnal – informasiyanın maddi daşıyıcısıdır. ATS-in tipindən asılı olaraq siqnallar hidravlik, pnevmatik, elektrik, elektromaqnit (radiokanal) və s. şəklində ötürülə bilirlər.

Siqnallar *analoq* (fasiləsiz) və *diskret* (impuls və rəqəm) olmasına görə təsnifat oluna bilər. Digər tərəfdən siqnal fiziki olaraq *determinik* və *təsadüfi* siqnallar şəklində ola bilər:

- gələcək t anında qiyməti məlum olan siqnal determinik siqnal adlanır. Məsələn, $x = \sin t$;

- gələcək qiymətləri məlum olmayıb təsadüfi xarakter daşıyan siqnal təsadüfi və ya *stoxastik* siqnal adlanır. Belə siqnalı vizualizasiya qurğusunun köməyi ilə müşahidə etmək mümkündür. Lakin hesablamalarda bu siqnalın qiyməti məlum olmadığından onun təsadüfi olmayan *ədədi* və *ehtimal* xarakteristikalarından istifadə olunur.

Stasionar və qeyri stasionar siqnallar:

- parametrləri sabit olan siqnallar stasionar siqnallar adlanır. Məsələn, $x = A \sin(\omega t + \varphi)$;
 $A, \omega, \varphi = \text{const}$;

- parametrləri zamandan asılı olan siqnallar qeyri stasionar siqnallar adlanır. Məsələn, $x = 2t \sin(\omega t)$. Bu halda amplitud zamandan asılıdır: $A=2t$.

Siqnalın təsir etdiyi mühitə görə:

- xaricdən ATS-ə təsir edən siqnallar. Məsələn, $g(t)$ - tapşırıq və $f(t)$ - həyacanlandırıcı siqnallar;

- ATS-in daxili siqnalları. Məsələn, tənzimləyicinin $u(t)$ idarə siqnalı, obyektədən gələn $y(t)$ əks əlaqə siqnalı və b.

Siqnal zamana görə dəyişən proses olduğundan o, aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$x(t) = \varphi(\alpha_1, \alpha_2, \dots, t).$$

Burada $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ - siqnalın parametrləri (amplitud, tezlik və s.), t – zaman.

Simulink paketində elementar funksiyalarla ifadə olunan determinik və təsadüfi siqnal generatorları (vericiləri) mövcuddur. Bunlardan aşağıdakıları göstərmək olar:

- | | |
|--|---------------------|
| - sabit $x = K$ | - Constant ; |
| - zaman $x = t$ | - Clock ; |
| - vahid təkən $x = 1(t)$ | - Step ; |
| - xətti artan siqnal $x = Kt$ | - Ramp ; |
| -harmonik sin siqnalı $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ | - SineWave ; |

Sine Wave blokundan istifadə etməklə $\cos(\omega t + \varphi)$ funksiyasını almaq olar:

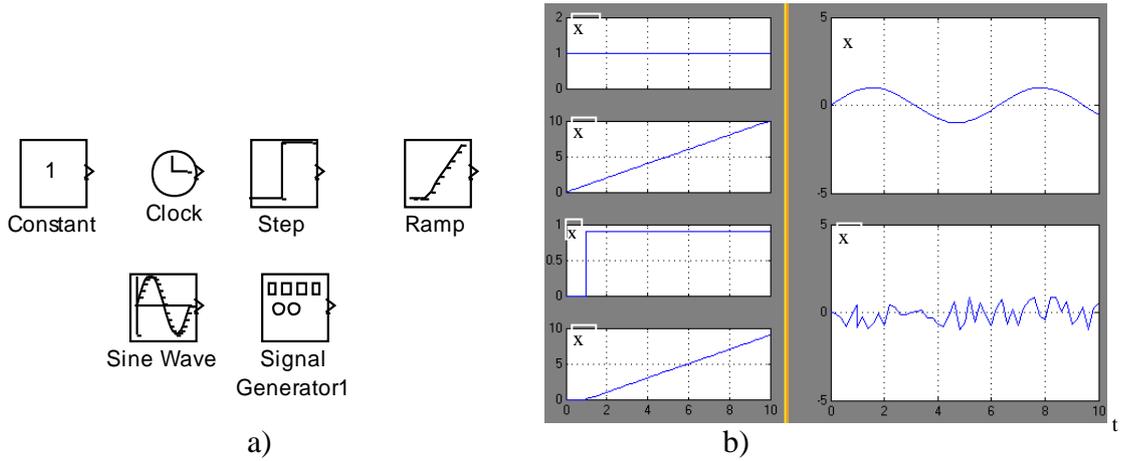
$$\cos(\omega t + \varphi) = \sin(\omega t + \frac{\pi}{2} + \varphi)$$

Bu bloklardan başqa universal siqnal generatoru – **Signal Generator** da mövcuddur. Bu blok $A \sin(\omega t)$, düzbucaqlı, mişarvari impuls və təsadüfi siqnallar generasiya edir.

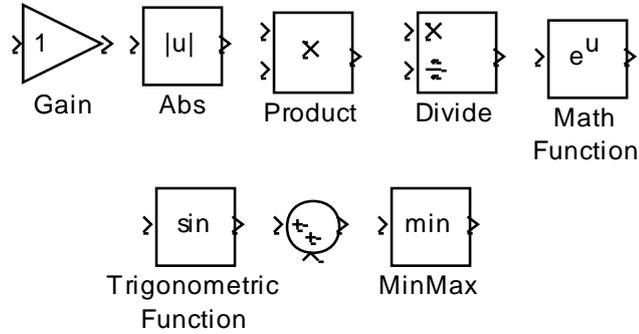
Şəkil 1.1-də yuxarıda adı şəkilən generatorlar (a) və müvafiq siqnallar (b) göstərilmişdir. Signal Generator blokundan nümunə kimi yalnız təsadüfi **random** siqnalı təqdim olunmuşdur.

Mürəkkəb siqnalları formalaşdırmaq üçün **Math Operations** riyazi əməliyyatlar blokundan istifadə olunur.

Şəkil 1.2-də bu bloklardan əsasları göstərilmişdir.



Şəkil 1.1

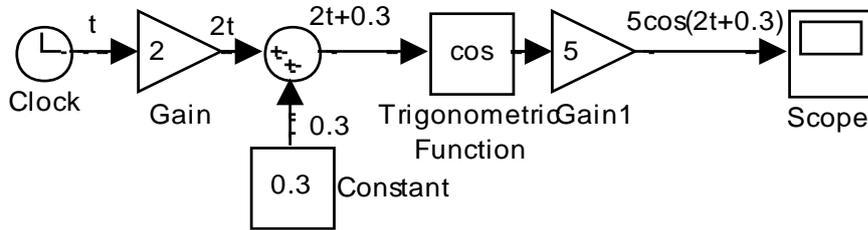


Şəkil 1.2

Bu bloklardan signal generatoru kimi istifadə etmək üçün onların girişinə **Clock** blokundan t (zaman) signalı vermək lazımdır.

Trigonometric Function (\sin) blokuna – \sin , \cos , tg və b. triqonometrik və tərs triqonometrik asin , acos , atan və b. funksiyaları daxildir. Məsələn, $x=5\cos(2t+0.3)$.

Şəkil 1.3-də göstərilən signalın formalaşdırılma sxemi göstərilmişdir.



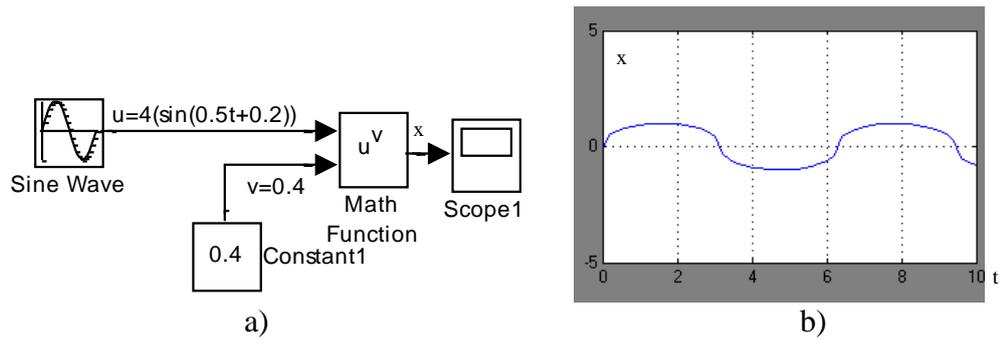
Şəkil 1.3

Math Function (e^u) blokuna – $\log(\ln)$, \log_{10} , $\text{sqrt}(\sqrt{u})$, $\text{square}(u)$, 10^u , $\text{pow}(u^v)$ və başqa funksiyalar daxildir. Burada u giriş signalıdır. u^v - variantında u – birinci giriş, v – ikinci giriş signalıdır. u və ya v sabit olduqda bu sabiti **Constant** blokundan daxil etmək olar.

Şəkil 1.4 a-da

$$x = (4\sin(0,5t + 0,2))^{0,4}$$

signalının formalaşdırılma sxemi (a) və signalın özü (b) göstərilmişdir.



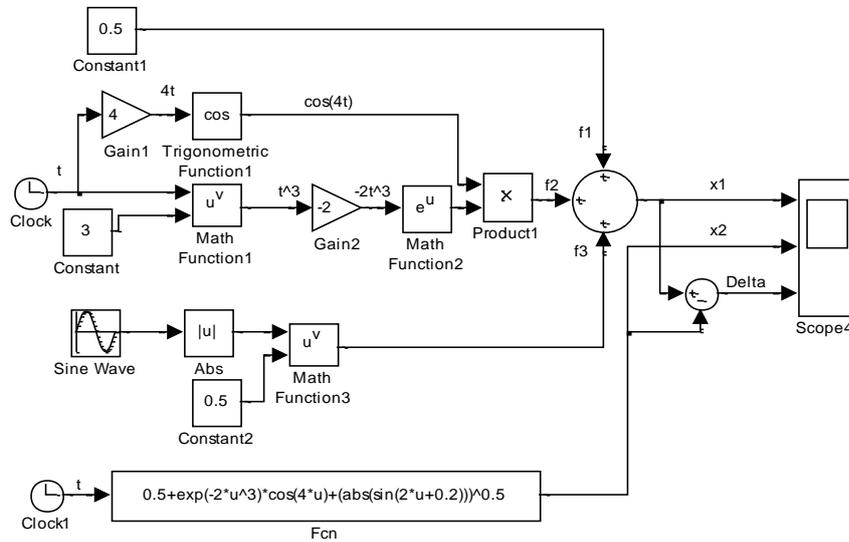
Şəkil 1.4

Elementar funksiyalarla ifadə oluna bilən istənilən analog siqnalını **Fcn** blokunun köməyi ilə siqnalın riyazi ifadəsini parametrlər pəncərəsindən daxil etməklə formalaşdırmaq olar. Lakin bu konstruksiya texniki baxımdan əhəmiyyət kəsb etmir. Bu səbəbdən laboratoriya işində **Fcn** blokundan siqnalın elementar blokların köməyi ilə modelləşdirilməsinin düzgünlüyünü yoxlamaq üçün istifadə olunur.

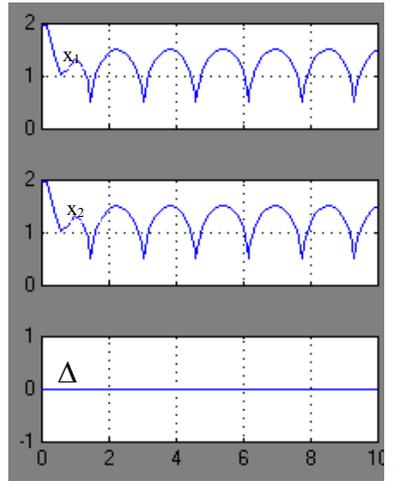
2. Nümunə

Fərz edək ki, $x(t) = 0.5 + e^{-2t^3} \cos(4t) + \sqrt{|\sin(2t + 0.2)|}$ siqnalını modelləşdirmək lazımdır.

Şəkil 1.2-də müvafiq Simulink sxemi (a) və $x(t)$ siqnalının qrafiki (b) göstərilmişdir.



a)



b)
Şəkil 1.2

Siqnal həm elementar bloklardan, həm də *User-Defined Functions* bunkerində yerləşən **Fcn** blokundan istifadə etməklə modelləşdirilmişdir. Hər iki halda alınan $x_1(t)$ və $x_2(t)$ siqnalları eyni olmalıdır. Belə olan təqdirdə *Scope* cihazında alınan fərq siqnalı $\Delta = x_1 - x_2 = 0$ olmalıdır (şəkil 1.2 b). Bu şərt işin yerinə yetirilməsinin düzgünlüyünü təsdiq edir.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilməsi qaydası

1. Variant üzrə verilmiş siqnala uyğun blokları Simulink paketinin yeni açılmış pəncərəsinə yığmalı.
2. Parametrlər pəncərəsindən elementar siqnalların parametrlərinin qiymətlərini daxil edib sxemi yığmaq.
3. Siqnalı **Fcn** blokunun köməyi ilə formalaşdırmaq.
4. Hər iki variantda alınmış $x_1(t)$, $x_2(t)$ siqnallarını müşahidə etmək. Nəticələr düzgündürsə bunların fərqi sifira bərabər olmalıdır: $\Delta = 0$ (bax şəkil 1.2 b).
5. Qrafiklərin qurulma dəqiqliyini artırmaq üçün həll metodunu və simulyasiya vaxtını lazımi qaydada seçməli. Sxemi sazladıqda elementar siqnalların düzgünlüyünü yoxlamaq üçün müvafiq blokların çıxışına *Scope* cihazı qoşub qrafiki müşahidə etmək olar.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Modelləşdirilən siqnal.
3. Simulinkdə modelləşdirmə sxemi (şəkil 1.2 a-ya uyğun).
4. Elementar bloklarda və **Fcn** blokunda yığılmış sxemlərdən alınmış $x_1(t)$, $x_2(t)$ və fərq Δ siqnallarının qrafikləri (şəkil 1.2 b).

5. Yoxlama sualları

1. Siqnal nədir?
2. Siqnalların təsnifatı.
3. Simulink paketində hansı siqnal mənbələri mövcuddur?
4. Mürəkkəb siqnal nə deməkdir?
5. Harmonik siqnalın parametrləri hansılardır?
6. Vahid təkan siqnalının forması.

6. Variantlar

1.	$x = 1 + 2 \sin(2t + 0.5)$
2.	$x = 2 + 0.5 \sin(4t) + 3t^{-0.8}$
3.	$x = 3.5 + 0.710^{-t} - \sqrt{e^{-2t} + t^{-1}}$
4.	$x = te^{-t^2} \cos(1.5t - 0.3)$
5.	$x = \min(5t, 100 - 2t^2)$
6.	$x = \max(\sin(t), \cos(t + 0.2))$
7.	$x = \sin^2(t) + \cos^2(t)$
8.	$x = 1 + 0.3tg(0.2t)$
9.	$x = 10 + \sin(0.6t - 0.30) + \sqrt{t}$
10.	$x = 2 + 10^{-2t} - a \sin(2t)$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvollar riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

İDARƏETMƏ OBYEKTŁƏRİNİN MODELŁƏRİNİN TƏDQIQI VƏ REALİZASİYASI

İşin məqsədi: İdarəetmə obyektlərinin müxtəlif formada verilmiş modellərinin tədqiqi və MATLAB/Simulinkdə realizasiyası.

1. Nəzəri məlumat

Müxtəlif fiziki proseslərin gedişini təmin edən maşın, aparat və qurğular idarəetmə obyekti adlanır.

İdarəetmə obyektləri insanın və ya texniki qurğuların məqsədyönlü təsir göstərdiyi obyektlərdir. İnsanın təsir edə bilməyib, yalnız müşahidə olunan obyektlər də mövcuddur. Geniş mənada – hər nə mövcuddursa hamısına obyekt kimi baxmaq olar.

Dinamik (ətalətli) obyekt – girişinə signal (məsələn, vahid təkən) verdikdə çıxışında keçid prosesi baş verən obyekt.

Statik (ətalətsiz) obyekt – girişinə signal verdikdə çıxışı ani dəyişərək sabit qalan obyekt.

Avtomatik idarəetmədə əsasən dinamik obyektlər öyrənilir.

Obyektin **riyazi modeli** onun qanunauyğunluqlarının riyazi vasitələrinin köməyi ilə ifadəsidir. Belə vasitələr tənliklər, cədvəllər, qrafiklər və s. ola bilər.

İdarəetmə obyektləri müxtəlif əlamətlərə görə təsnifat olunurlar.

1. Yerinə yetirilən prosesin mahiyyətinə görə:

a) texniki obyektlər

- maşınlar;
- dəzgahlar;
- elektrik mühərrikləri;
- robotlar;
- gəmilər, uçuş aparatları və s.

Bu tip obyektlərin çıxış koordinatları məkana görə dəyişir.

b) texnoloji obyektlər

- reaktorlar;
- rektifikasiya kolonları;
- ümumiyyətlə, içərisində fiziki, kimyəvi, bioloji, nanotexnoloji və s. proseslərin baş

verdiyi aparatlar.

c) energetika obyektləri

- transformatorlar;
- elektrikötürücü xəttlər;
- atom reaktorları;
- lazer qurğuları və s.

d) sosioloji obyektlər

- insan kollektivinin fəaliyyət göstərdiyi idarələr, müəssisələr, təşkilatlar və s.

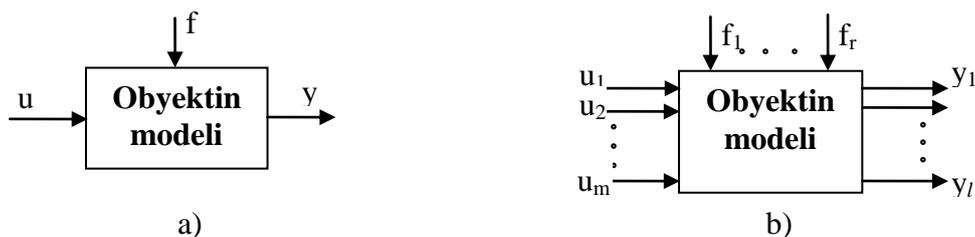
Proseslər olduqca müxtəlif olduğundan bu əlamətə görə sadalanmış təsnifat tam deyil. Bir obyekt özündə müxtəlif texnologiyaları birləşdirə bilər.

2. Giriş və çıxışların sayına görə:

a) birölçülü (SISO-bir giriş və bir çıxış);

b) çoxölçülü obyektlər (MIMO-birdən çox giriş və çıxışları olan).

Şəkil 1.1 a, b-də bir və çoxölçülü obyektlərin sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.1. Bir və çoxölçülü obyektin sxemi

Şəkil $u(t)$ - giriş (idarə) signalı, $f(t)$ – həyacanlandırıcı təsir, $y(t)$ – çıxışdır.

3. Riyazi yazılış (model) formasına görə:

- adi diferensial tənliklə yazılan (toplanmış parametrləri) obyektlər;
- xüsusi törəməli diferensial tənliklə yazılan (paylanmış parametrləri) obyektlər.

Diferensial tənlik – məchulun törəmələrinin (dinamika tənliklərində zamana görə) daxil olduğu tənlik.

Adi diferensial tənlik – məchulun (naməlum) birdəyişənli funksiya (bizim halda $y(t)$) olduğu tənlik. Həll nəticəsində tapılan funksiya $y(t)$ yalnız zaman t -dən asılıdır. Məsələn,

$$y''(t) + ay'(t) + by(t) = ku.$$

Tənliyin həlli nəticəsində $y(t)$ funksiyası tapılır. Diferensial tənliyi konkret həllini tapa bilmək üçün $u(t)$ signalı və başlanğıc) $y(0)$, $y'(0)$ şərtləri məlum olmalıdır.

Xüsusi törəməli diferensial tənlik – məchulun çoxdəyişənli $y(x, z, \dots, t)$ funksiya olduğu tənlik. Bu halda tənliyə y -in dəyişənlərə nəzərən xüsusi törəmələri daxil olacaqdır:

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} + \alpha \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = u(x, t).$$

Həll nəticəsində $y(x, t)$ funksiyası tapılır.

Xətti və qeyri-xətti obyektlər

- xətti diferensial tənlikdə yazılan obyektlər **xətti obyektlər** adlanır.
- qeyri xətti diferensial tənliklərə yazılan obyektlər qeyri-xətti obyektlər adlanır. Obyektin xətti olmasının fiziki əlaməti onun **superpozisiya prinsipinə** tabe olmasıdır (bax lab. İş 2).

Qeyri-xəttili obyektlərdə superpozisiya prinsipi ödənilmir.

Bir tərtibli xətti obyekt:

$$\frac{dy}{dt} + ay = ku.$$

İki tərtibli qeyri-xətti obyektlər:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \mu(y^2 - 1) \frac{dy}{dt} = ku,$$

$$I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + mlg \sin(\varphi) = ku.$$

Axırıncı tənlikdə məchul $\varphi(t)$ rəqqasın tarazlıq xəttindən meyil bucağıdır, *radian*.

Diferensial tənliyin xətti və ya qeyri-xətti olmasından asılı olmayaraq onun **tərtibi** məchulun yüksək tərtibli törəməsi ilə təyin olunur. İkinci misalda diferensial tənliyin və ya obyektin tərtibi $n=2$ -dir.

Qeyri-stasionar obyektlər:

- sabit əmsallı diferensial tənliklə yazılan obyektlər **stasionar obyektlər** adlanır. Əmsallar yalnız y və onun törəmələrinin əmsallarına aiddir.

b) dəyişən əmsallı diferensial tənliklə yazılan obyektlər **qeyri-stasionar obyektlər** adlanır.

Məsələn, birinci tərtib adi qeyri-stasionar xətti diferensial tənlik:

$$\frac{dy}{dt} + 2ty = ku.$$

Burada y -in əmsalı $a=2t$ zamandan asılıdır.

Modellərin növləri

1. **“Giriş-çıxış”** formasında verilmiş modellər.

Bu halda obyektin tənliyi aşağıdakı şəkildə verilir:

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} y' + a_n y = b_0 u^{(m)} + b_1 u^{(m-1)} + \dots + b_m u. \quad (1.1)$$

Göründüyü kimi bu halda çıxış y və onun törəmələri $y^{(n)}, \dots, y'$ tənliyin sol tərəfindən, giriş u və onun törəmələri $u^{(m)}, \dots, u'$ isə sağ tərəfdə yazılır.

Matlabda (1.1) tənliyinin simvolik **dsolve** (.) və ədədi **ode45**, **ode23s** və s. həll üsulları mövcuddur.

2. **Ötürmə funksiyası** şəklində verilmiş modellər.

Mühəndis praktikasında (1.1) tənliyinin ötürmə funksiyası şəklinə çevrilmiş formasından istifadə olunur:

$$W(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}, \quad n \geq m \quad (1.2)$$

Burada $s = \alpha + j\omega$ - kompleks kəmiyyət olub Laplas çevirməsinin dəyişənidir. (1.2) cəbri ifadə olduğundan **diferensial tənliklər nəzəriyyəsinə** bilmək lazım deyil. Matlabda ötürmə funksiyasını formalaşdırmaq üçün **tf**(.) funksiyasından istifadə olunur. *tf* – *transfer function* – ötürmə funksiyası deməkdir.

3. **Vəziyyət modelləri.**

Müasir idarəetmə nəzəriyyəsinin üsullarını tətbiq etmək üçün əksər hallarda vəziyyət modellərindən istifadə olunur. Bu forma hər biri **məchulun** birinci tərtib törəməsinə nəzərən yazılmış tənliklər sistemindən ibarətdir. Belə tənliklər sistemi **normal tənliklər sistemi** (Koşi forması) adlanır.

Obyektin modeli “giriş-çıxış” formasında verilərsə hər tərəfi böldükdən sonra və yeni dəyişənlər $x = y, x_2 = y', \dots, x_n = y^{(n-1)}$ daxil etdikdən sonra normal tənliklər sistemini aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$\begin{aligned} x_1' &= x_2, \\ x_2' &= x_3, \\ &\dots \dots \dots \\ x_n' &= -\frac{1}{a_0} (a_n x_1 + a_{n-1} x_2 + \dots + a_1 x_n) + \frac{b}{a_0} u. \end{aligned} \quad (1.3)$$

Sadəlik üçün (1.1)-də olan u -nun törəmələri nəzərdən alınmamışdır.

Ümumi halda (1.3) sistemi:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, \quad x(0) = x_0 \quad y = Cx + Du, \quad (1.4)$$

Burada $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - n -ölçülü vəziyyət vektoru; $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T$ - m -ölçülü idarə (giriş siqnalı) vektoru; $y = (y_1, y_2, \dots, y_l)^T$ -ölçülü **müşahidə olunan çıxış** vektorudur.

A – $n \times n$ ölçülü kvadratik matris; B – $n \times m$ ölçülü matris; C – $l \times n$ ölçülü **müşahidə matrisi**; D – $l \times m$ ölçülü matrisdir.

Model (1.3) üçün:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\frac{1}{a_0}(a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_1) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ \frac{b_0}{a_0} \end{bmatrix}, \quad C = (1 \dots 0), \quad D = 0$$

Misal. Obyektin “giriş-çixış” formasında (1.1) diferensial tənliyi:

$$2y'' + 6y' + 5y = 3u.$$

Uyğun (1.2) ötürmə funksiyası:

$$W(s) = \frac{3}{2s^2 + 6s + 5}$$

Hər tərəfi $a_0 = 2$ -yə böldükdən sonra vəziyyət (1.3) modeli:

$$\begin{aligned} x_1' &= x_2, \\ x_2' &= -2.5x_1 - 3x_2 + 1.5u, \\ y &= x_1. \end{aligned}$$

Bu halda $n=2$, $m=1$, $l=1$ olduğundan uyğun matrislər:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2.5 & -3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.5 \end{bmatrix}, \quad C = (1 \ 0), \quad D = 0.$$

Matlabda vəziyyət modeli (1.4)-ü formalaşdırmaq üçün **ss(.)** funksiyasından istifadə olunur. **ss** – *state space* (vəziyyət fəzası). Bu halda (A , B , C , D) matrislərini daxil etmək kifayətdir.

1. MATLAB-da realizasiya

(2 saat)

1. Ötürmə funksiyalarının formalaşdırılması

Matlabda (1.2) ötürmə funksiyasını formalaşdırmaq üçün yuxarıda qeyd edildiyi kimi **tf(.)** funksiyasından istifadə olunur. Ötürmə funksiyasının şəkildən asılı olaraq müxtəlif realizasiya konstruksiyalarından istifadə olunur.

2. Nümunə 1

1. Aşkar forma

MATLAB proqramı:

```
>> % MATLAB programı
>> num=[1 5];den=[1 2 3 4 5];W=tf(num,den)
```

```
Transfer function:
          s + 5
-----
s^4 + 2 s^3 + 3 s^2 + 4 s + 5
```

num – sürət, **den** – məxrəc deməkdir.

2. Hasil şəklində

$$W(s) = \frac{6(s+5)}{(s^2 + 3s + 1)^2 (s+6)(s^3 + 6s^2 + 5s + 3)}$$

MATLAB programı:

```
>> % MATLAB programı
>> num=6*[1 5];den=conv(conv(conv([1 3 1],[1 3 1]),[1 6]),[1 6 5 3]);
>> W=tf(num,den)
```

```
Transfer function:
          6 s + 30
-----
s^8 + 18 s^7 + 124 s^6 + 417 s^5 + 740 s^4 + 729 s^3 + 437 s^2 + 141 s + 18
```

conv – hasil deməkdir. Matlabda polinomların vurulması iki-iki aparılır.

3. Ötürmə funksiyasının bilavasitə daxil edilməsi. Əvvəlki misal.

MATLAB programı:

```
>> % MATLAB programı
>> s=tf('s');
>> W=6*(s+5)/(s^2+3*s+1)^2/(s+6)/(s^3+6*s^2+5*s+3)
```

```
Transfer function:
          6 s + 30
-----
s^8 + 18 s^7 + 124 s^6 + 417 s^5 + 740 s^4 + 729 s^3 + 437 s^2 + 141 s + 18
```

Gecikmə $W.ioDelay = \tau$ şəklində daxil edilir.

4. Gecikmə olan hal

$$W(s) = \frac{0.3378}{0.36s^2 + 1.09s + 1} e^{-0.32s}$$

MATLAB programı:

```
>> % MATLAB programı
>> num=[0.3378];den=[0.36 1.09 1];
>> W=tf(num,den,'ioDelay',0.32)
```

```
Transfer function:
          0.3378
exp(-0.32*s) * -----
          0.36 s^2 + 1.09 s + 1
```

Delay – gecikmə deməkdir.

5. Ötürmə funksiyasının sıfırlar z və qütüblər p şəklində verilməsi.

Bu halda ötürmə funksiyası aşağıdakı şəkildə verilir:

$$W(s) = \frac{M(s)}{D(s)} = K \frac{(s - z_1)(s - z_2) \dots (s - z_m)}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_n)}$$

z_i və p_i kompleks kəmiyyətlər ola bilər, K – gücləndirmə əmsəlidir.

Realizasiya funksiyası **zpk** (**z**, **p**, **K**). Burada z – **zero** (sıfır), p – **pole** (qütüb), K – **gain** (gücləndirmə) deməkdir.

Ötürmə funksiyası:

$$W(s) = 6 \frac{(s - 1.92)(s - 0.035 \pm 0.93j)}{(s - 0.96 \pm 1.23j)(s + 0.043 \pm 0.64j)}$$

MATLAB proqramı:

```
>> % MATLAB proqrami
>> z=[1.92;0.035+0.93j;0.035-0.93j];
>> p=[0.96+1.23j;0.96-1.23j;
-0.043+0.64j;-0.043-0.64j];
>> K=6;
>> W=zpk(z,p,K)

Zero/pole/gain:
      6 (s-1.92) (s^2 - 0.07s + 0.8661)
-----
(s^2 + 0.086s + 0.4114) (s^2 - 1.92s + 2.434)
```

6. Aşkar şəkildən elementar həqiqi vuruqlara keçid.

Yüksək tərtibli ötürmə funksiyası ilə verilmiş obyektin hansı elementar bəndlərdən ibarət olduğunu bilmək çox vacibdir. Aşkar şəkildə ötürmə funksiyası:

$$W(s) = \frac{6.8s^2 + 68s + 142.8}{s^4 + 5.6s^3 + 14.1s^2 + 15.39s + 5.897}$$

```
>> % MATLAB proqrami
>> num=[6.8 68 142.8];
>> den=[1 5.6 14.1 15.39 5.897];
>> W=tf(num,den);W1=zpk(W)

Zero/pole/gain:
      6.8 (s+7) (s+3)
-----
(s^2 + 1.996s + 0.9981) (s^2 + 3.604s + 5.908)

>> % MATLAB proqrami
>> num=[6.8 68 142.8];
>> den=[1 5.6 14.1 15.39 5.897 0];
>> W=tf(num,den);W1=zpk(W)

Zero/pole/gain:
      6.8 (s+7) (s+3)
-----
s (s^2 + 1.996s + 0.9981) (s^2 + 3.604s + 5.908)
```

7. Çoxölçülü hal

Obyektin ötürmə matrisi:

$$W(s) = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0.11}{1.78s^2 + 4.48s + 1} e^{-0.72s} & \frac{0.92}{2.07s + 1} \\ \frac{0.34}{0.36s^2 + 1.1s + 1} e^{-0.3s} & \frac{-0.32}{2.93s + 1} e^{-1.29s} \end{bmatrix}.$$

Burada W_{ij} - i girişinin j çıxışına nəzərən ötürmə funksiyasıdır.
MATLAB proqramı:

```
>> % MATLAB proqrami
>> W11=tf(0.11,[1.78 4.48 1],'ioDelay',0.72);
>> W12=tf(0.92,[2.07 1]);
>> W21=tf(0.34,[0.36 1.1 1],'ioDelay',0.3);
>> W22=tf(-0.32,[2.93 1],'ioDelay',1.29);
>> W=[W11,W12,W21,W22]
```

Transfer function from input 1 to output:

$$\frac{0.11}{\exp(-0.72*s) * (1.78 s^2 + 4.48 s + 1)}$$

Transfer function from input 2 to output:

$$\frac{0.92}{2.07 s + 1}$$

Transfer function from input 3 to output:

$$\frac{0.34}{\exp(-0.3*s) * (0.36 s^2 + 1.1 s + 1)}$$

Transfer function from input 4 to output:

$$\frac{-0.32}{\exp(-1.29*s) * (2.93 s + 1)}$$

2. Vəziyyət modellərinin formalaşdırılması

Matlabda (1.4) şəklində olan xətti vəziyyət modellərini formalaşdırmaq üçün (A, B, C, D) döndürüyünü daxil etmək kifayətdir.

1. Çoxölçülü hal

İki girişli $m=2$, iki çıxışlı $l=2$ və $n=4$ tərtibli obyekt:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 2.25 & -5 & -1.25 & -0.5 \\ 2.25 & -4.25 & -1.25 & -0.25 \\ 0.25 & -0.5 & -1.25 & -1 \\ 1.25 & -1.75 & -0.25 & -0.75 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 4 & 6 \\ 2 & 4 \\ 2 & 2 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} u, \quad y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 2 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} u.$$

MATLAB proqramı:

```

>> % MATLAB programı
>> A=[2.25 -5 -1.25 -0.5;2.25 -4.25 -1.25 -0.25;
0.25 -0.5 -1.25 -1;1.25 -1.75 -0.25 -0.75];
>> B=[4 6;2 4;2 2;0 2];
>> C=[0 0 0 1;0 2 0 2];
>> D=[2 0;0 2];G=ss(A,B,C,D)

```

```

a =
      x1      x2      x3      x4
x1  2.25      -5  -1.25  -0.5
x2  2.25  -4.25  -1.25  -0.25
x3  0.25  -0.5  -1.25    -1
x4  1.25  -1.75  -0.25  -0.75

```

```

b =
      u1  u2
x1  4  6
x2  2  4
x3  2  2
x4  0  2

```

```

c =
      x1  x2  x3  x4
y1  0  0  0  1
y2  0  2  0  2

```

```

d =
      u1  u2
y1  2  0
y2  0  2

```

2. Minimal realizasiya

Əgər həll mövcuddursa verilmiş vəziyyət modelinə uyğun gələn x dəyişənlərinin sayı (sistemin tərtibi) n -i azaltmaq mümkündür. Bu zaman x -lərin sayının azalmasına baxmayaraq alınmış kiçik ölçülü yeni model əvvəlki ilə çıxış y -ə nəzərən ekvivalentdir. Bu model **minreal(.)** funksiyasının köməyi ilə alınır. Əvvəlki misalda minimal realizasiya mövcud olmadığından minreal funksiyasının tətbiqi də $n=4$ verir.

Aşağıdakı obyektə baxaq:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -5 & 8 & 0 & 0 \\ -4 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 6 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 4 \\ -2 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} u, \quad y = [2 \ -2 \ -2 \ 2]x .$$

MATLAB programı:

```

>> % MATLAB programı
>> % Minimal realizasiya
>> A=[-5 8 0 0;-4 7 0 0;0 0 0 4;0 0 -2 6];
>> B=[4;-2;2;1];C=[2 -2 -2 2];D=0;
>> G=ss(A,B,C,D);Gm=minreal(G)
2 states removed.

a =
           x1           x2
x1          -1 -1.44e-015
x2  1.467e-014           2

b =
           u1
x1  4.243
x2  2.236

c =
           x1           x2
y1  2.828 -0.8944

d =
           u1
y1  0

```

Göründüyü kimi 2 vəziyyət dəyişəni azaldılıb n=2 olmuşdur.

3. Ötürmə funksiyasından vəziyyət modelinə keçid

Bu keçid birqiymətli olmadığından, yəni bir ötürmə funksiyasına bir neçə vəziyyət modeli uyğun gəldiyindən, minimal realizasiya modelini almaq əlverişlidir. Bu məqsədlə, əvvəlcə `ss(.)` funksiyası köməyi ilə vəziyyət modeli formalaşdırılır. Sonra isə `minreal(.)` funksiyasının köməyi ilə minimal realizasiya modeli alınır. Əlbəttə, əgər minimal realizasiya mövcuddursa.

1. Obyektin ötürmə funksiyası:

$$W(s) = \frac{s^3 + 7s^2 + 24s + 24}{s^4 + 10s^3 + 35s^2 + 50s + 24}$$

MATLAB programı:

```

>> % MATLAB programi
>> % Oturma funksiyasından vəziyyət
>> % modelinə keçid
>> num=[1 7 24 24];den=[1 10 35 50 24];W=tf(num,den);
>> G1=ss(W)

```

```

a =
      x1      x2      x3      x4
x1    -10   -4.375  -3.125   -1.5
x2      8      0      0      0
x3      0      2      0      0
x4      0      0      1      0

```

```

b =
      u1
x1     2
x2     0
x3     0
x4     0

```

```

c =
      x1      x2      x3      x4
y1    0.5  0.4375  0.75  0.75

```

```

d =
      u1
y1     0

```

Bu halda vəziyyət dəyişənlərinin sayını azaltmaq mümkün olmur.

2. Çoxölçülü hal, $m=2$, $l=2$:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{s+1} & 0 & \frac{s-1}{(s+1)(s+2)} \\ \frac{-1}{s-1} & \frac{1}{s+2} & \frac{1}{s+2} \end{bmatrix}.$$

MATLAB programı:

```

>> % MATLAB programi
>> % Oturme funksiyasindan veziiyyet
>> % modeline kecid (coxolculu hal l=2 m=3)
>> s=tf('s');W11=tf(1,[1 1]);W12=0;W13=tf((s-1)/(s+1)/(s+2));
>> W21=tf(-1,[1 -1]);W22=tf(1,[1 2]);W23=tf(1,[1 2]);
>> W=[W11,W12,W13;W21,W22,W23];G=ss(W)

```

```

a =
      x1  x2  x3  x4  x5  x6
x1 -1   0   0   0   0   0
x2  0   1   0   0   0   0
x3  0   0  -2   0   0   0
x4  0   0   0  -3  -2   0
x5  0   0   0   1   0   0
x6  0   0   0   0   0  -2

```

```

b =
      u1  u2  u3
x1  1   0   0
x2  1   0   0
x3  0   1   0
x4  0   0   2
x5  0   0   0
x6  0   0   1

```

```

c =
      x1  x2  x3  x4  x5  x6
y1  1   0   0  0.5 -0.5  0
y2  0  -1   1   0   0   1

```

```

d =
      u1  u2  u3
y1  0   0   0
y2  0   0   0

```

Continuous-time model.

```

>> G1=minreal(G)
2 states removed.

```

```

a =
      x1      x2      x3      x4
x1  0.8855  0.2713 -0.3905 -0.3229
x2  0.1779 -1.982  -0.4544  0.5019
x3 -0.4292 -0.04447 -0.904  -1.211
x4 3.366e-016 4.853e-016 -8.11e-016 -2

```

```

b =
      u1      u2      u3
x1 -0.7756 1.424e-016 0.1953
x2 -0.3953 -0.8816 -0.7813
x3  0.9533 -0.3655  0.5343
x4 -6.232e-016 -0.2986  1.653

```

```

c =
      x1      x2      x3      x4
y1  0.293 -0.4555  1.099 -6.127e-016
y2  0.971 -0.9492 -0.6526  0.2525

```

```

d =
      u1  u2  u3
y1  0   0   0
y2  0   0   0

```

Bu halda minreal(.) funksiyasının köməyi ilə vəziyyət dəyişənlərinin sayını $n=6$ -dan $n=4$ -ə endirmək mümkün olmuşdur. $[A,B,C,D]=tf2ss(b,a)$ funksiyasının köməyi ilə birbaşa minimal realizasiyanı almaq mümkündür.

4. Vəziyyət modelindən ötürmə funksiyasına keçid

Bu keçid birqiyəmətlidir.

Obyektin vəziyyət modeli:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 5 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -2 \end{bmatrix} u, \quad y = (1 \ 0 \ 0 \ 0) x.$$

MATLAB proqramı:

```
>> % MATLAB proqrami
>> % Vəziyyət modelindən ötürmə func. keçid
>> A=[0 1 0 0;0 0 -1 0;0 0 0 1;0 0 5 0];
>> B=[0;1;0;-2];C=[1 0 0 0];D=0;G=ss(A,B,C,D);
>> W=tf(G)
```

```
Transfer function:
s^2 - 2.22e-016 s - 3
-----
s^4 - 5 s^2
```

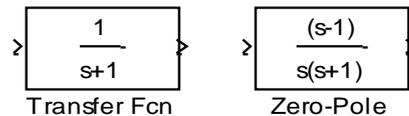
$[b,a]=ss2tf(A,B,C,D)$ funksiyasından da istifadə etmək olar.

2. SIMULINK-də realizasiya

(2 saat)

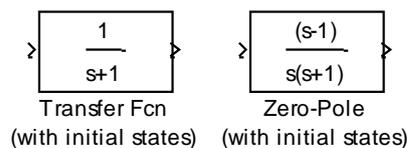
Xətti sistemlərin tədqiqatı adətən sıfır başlanğıc şərtlərində aparıldığından **Continuous** bunkerində yerləşən funksiyalarından istifadə etmək olar.

Şəkil 1.2-də müvafiq bloklar göstərilmişdir.



Şəkil 1.2

Başlanğıc şərtləri nəzərə alan bloklar da mövcuddur. Bunlar **Simulink Extras/Additional Linear** bunkerində yerləşir (şəkil 1.3).



Şəkil 1.3

Başlanğıc şərtlər parametrlər pəncərəsinin *Initial Conditions* (başlanğıc şərtlər) sətrinə əks ardıcılıqla [$\dots y'_0 \ y_0$] daxil edilir.

2. Nümunə 2

1. Ötürmə funksiyalarının formalaşdırılması

1.1. *Transfer Fcn* (ötürmə funksiyası) blokundan obyektin ötürmə funksiyası açkar şəkildə verildikdə istifadə olunur:

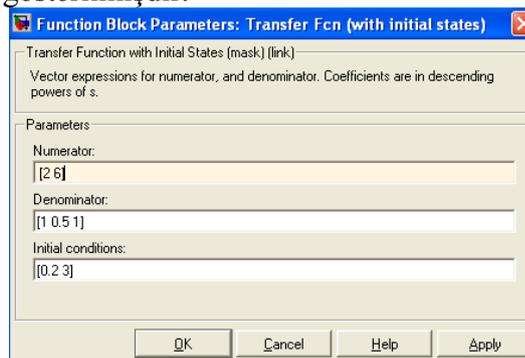
$$W(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}, \quad n \geq m \quad (1.5)$$

b_i əmsalları *Numerator* (sürət) [$b_0 \ b_1 \dots$], a_i əmsalları isə *Denominator* (məxrəc) [$a_0 \ a_1 \dots$] sətrindən daxil edilir.

Şəkil 1.4-də

$$W(s) = \frac{2s + 6}{s^2 + 0.5s + 1}, \quad y_0 = 3, y'_0 = 0.2$$

üçün parametrlər pəncərəsi göstərilmişdir.



Şəkil 1.4

1.2. *Zero-Pole* (Sıfır-Qütb) blokundan obyektin ötürmə funksiyası həqiqi z_i sıfırlar və həqiqi p qütblər şəklində verildikdə istifadə olunur. Bu halda $M(s)$ və $D(s)$ polinomları Bezu teoreminə əsasən xətti vuruqlara ayrıldıqdan sonra ötürmə funksiyası aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$W(s) = K \frac{(s - z_1)(s - z_2)\dots(s - z_m)}{(s - p_1)(s - p_2)\dots(s - p_n)} \quad (1.6)$$

$K = b_m / a_n$ - obyektin gücləndirmə əmsalı.

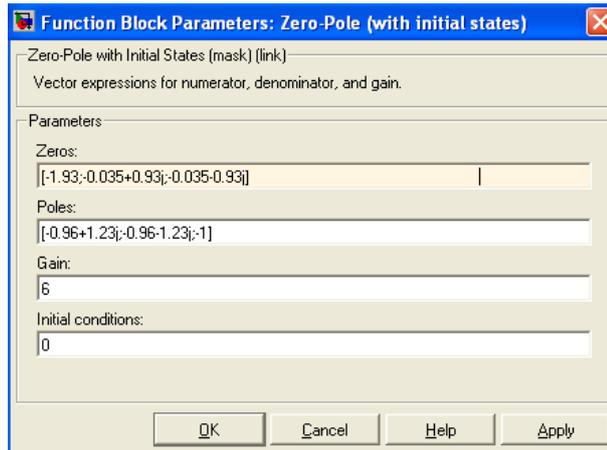
z_i və p_i kompleks kəmiyyətlər də ola bilər. Məsələn, $z = -0.5 \pm 0.82j$.

Parametrlər pəncərəsinin *Zero* sətrinə z_i , *Pole* sətrinə p_i -lər yazılır. Elementlər ; simvolu ilə ayrılırlar: [$-1; 2 + 0.6j; 2 - 0.6j$]. Gücləndirmə əmsalı K *Gain* sətrinə daxil edilir. z_i və ya p_i içərisində kompleks kəmiyyətlər olduqda şəkil 1.3-də göstərilən *Zero-Pole (With initial states)* blokundan istifadə etmək lazımdır. Bu halda başlanğıc şərtlər *Initial Conditions* sətrindən daxil edilir. Başlanğıc şərtlərin hamısı sıfırdırsa bir sıfır daxil etməklə kifayətlənmək olar.

Şəkil 1.5-də

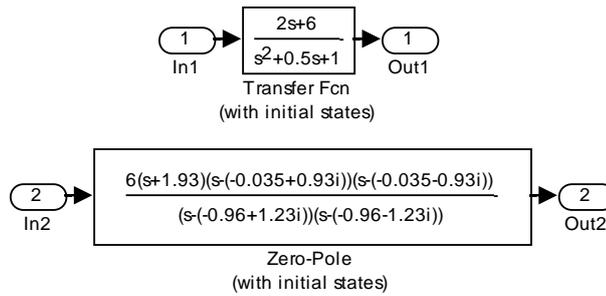
$$W(s) = 6 \cdot \frac{(s + 1.93)(s + 0.035 \pm 0.93j)}{(s + 0.96 \pm 1.23j)(s + 1)} \quad (1.7)$$

və sıfır başlanğıc şərtləri üçün parametrlər pəncərəsi göstərilmişdir.



Şəkil 1.5

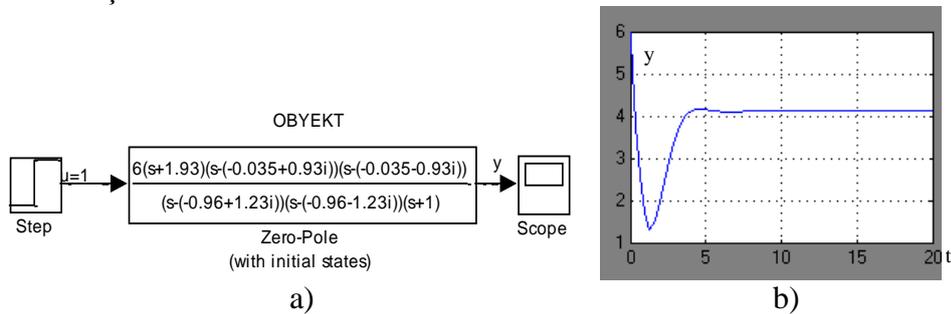
Şəkil 1.6-da parametrləri şəkil 1.4 və 1.5-də verilmiş ötürmə funksiyalarının realizasiya olunduğu bloklar göstərilmişdir.



Şəkil 1.6

Bu blokları hər-hansı bir sxemə qoşduqda **In** (Input-Giriş) və **Out** (Output-Çıxış) blokları ləğv edilir.

Şəkil 1.7 a-da (1.7) ötürmə funksiyası ilə verilən obyekt $y(0) = 6$, $y'(0) = 1$ sıfır olmayan başlanğıc şərtlərində və $u=1(t)$ vahid təkən halında reaksiyanı müşahidə etmək üçün virtual osilloqrafla təchiz olunmuşdur. Şəkil 1.7 b-də isə obyektin vahid təkən siqnalına olan $y(t)$ reaksiyası göstərilmişdir.



Şəkil 1.7

Göründüyü kimi başlanğıc şərtlər ödənilir.

2. Vəziyyət modellərinin formalaşdırılması

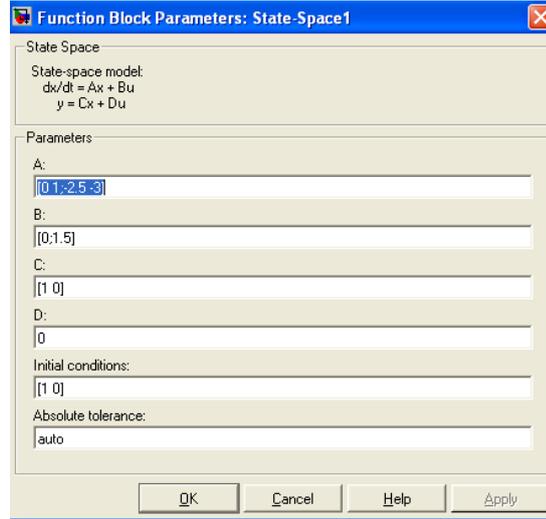
Simulinkdə (1.4) normal tənliklər sistemi ilə vəziyyət modeli şəklində verilmiş obyektləri formalaşdırmaq üçün *Continuous* bunkerində yerləşən *state-space* (vəziyyət fəza) blokundan

istifadə olunur. Başlanğıc $x_1(0), x_2(0), \dots$ şərtləri sıfır olmaya da bilər. Bu şərtlər *Initial Conditions* sətirindən daxil edilir. Modelin (A, B, C, D) matris parametrləri isə müvafiq pəncərələrdən sətir-sətir daxil edilir. Hər sətirdən sonra ; simvolu yazılır.

Şəkil 1.8-də

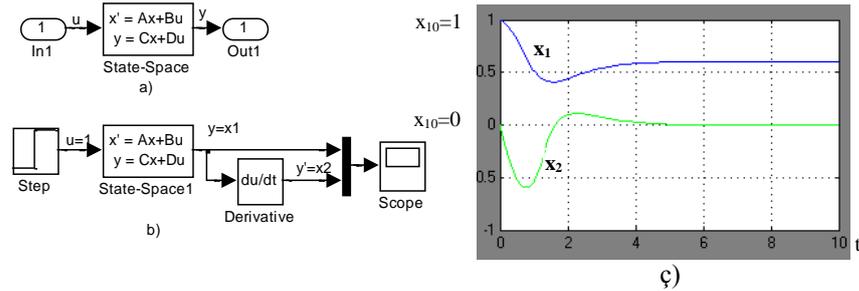
$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2.5 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1.5 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0, x(0) = (1 \ 0)^T$$

modeli üçün parametrlər pəncərəsi göstərilmişdir.



Şəkil 1.8

Şəkil 1.9 a, b, ç-də vəziyyət modelinin realizasiya bloku, onun sxemə qoşulması və obyektin $u=1(t)$ vahid təkən siqnalına olan $y(t)$ reaksiyası və onun törəməsi $y'(t)$ göstərilmişdir.

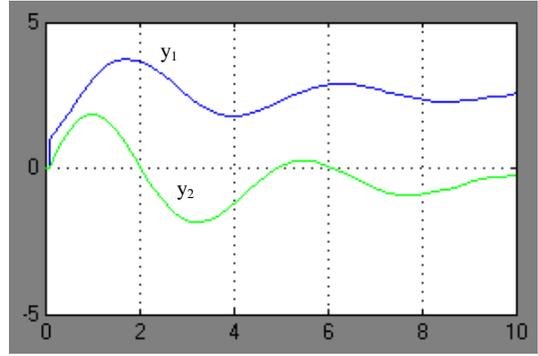
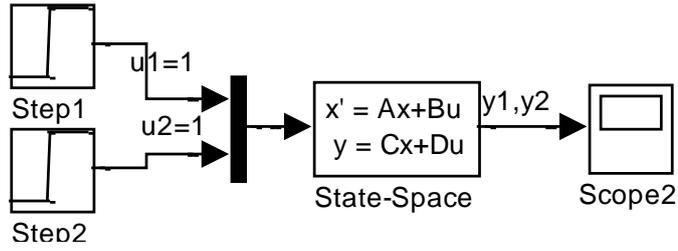


Şəkil 1.9

Göründüyü kimi $y=x_1$ və $y' = x_2$ dəyişənləri üçün başlanğıc şərtləri ödənilmişdir.

2. Çoxölçülü hal. Bu halda obyektin u_1, u_2, \dots girişlərinin sayı $m > 1$, y_1, y_2, \dots çıxışlarının sayı $l > 1$. Daxil edilən matrislərin ölçüləri m və l -in qiymətinə uyğun olmalıdır! $A(n \times n), B(n \times m), C(l \times n), D(l \times m)$. Girişlər **Fcn** bloklarında formalaşdırılaraq **Mux** bloğunun köməyiylə obyektin girişinə verilir. **Scop** cihazında eyni zamanda bütün l sayda y_1, y_2, \dots çıxışlarının qrafikləri alınır.

Şəkil 1.10-da $n=2, m=2, l=2$ vektor və $u_1=2, u_2 = 0.3\sin(2t + 0.5)$ siqnalı üçün *Simulink*-də modelləşdirmə sxemi (a) və keçid $y_1(t), y_2(t)$ (b) göstərilmişdir.



Şəkil 1.10

Vəziyyət x_1, x_2, \dots dəyişənlərini almaq üçün $C=I, D=0$ daxil etmək lazımdır. $I - n \times n$ ölçülü vahid matrisdir.

3. Tapşırıq və işim yerinə yetirilmə qaydası

1. Variantlar 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün nəzərdə tutulmuşdur.
2. Variantlar üzrə obyektin W ötürmə funksiyasını və (A, B, C, D) vəziyyət modelini seçməli.
3. Nümunə 1-də göstərilmiş bəndlərə uyğun olaraq bu modelləri MATLABDA realizasiya etmək.(2 saat)
4. Nümunə 2-də göstərilmiş bəndlərə uyğun olaraq bu modelləri *Simulink* paketində realizasiya etmək.(2saat)
5. Nəticələrin düzgünlüyünü modellərin kompyuter variantına əsasən yoxlamalı.

3. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplardan üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir:

1. İşin adı və məqsədi.
2. Seçilmiş modellər.
3. Matlab proqramı.
4. Simulink sxemi.

5. Yoxlama sualları

1. İdarəetmə obyektlərinin təsnifatı.
2. Diferensial tənliklər.
3. Obyektin riyazi modellərinin növləri.
4. Ötürmə funksiyası və vəziyyət modeli. Başlanğıc şərtlər.
5. Matlabda istifadə olunan funksiyalar.
6. Simulinkdə realizasiyanın xüsusiyyətləri.
7. Parametrlər pəncərəsi.

6. Variantlar

	Obyektin ötürmə funksiyası, $W(s)$	Vəziyyət modeli, (A, B, C, D)
1.	$\frac{2s+10}{s^4+3s^3+2s^2+6s+10} e^{-1.32s}$	$A = \begin{bmatrix} -5 & 8 & 0 \\ -3 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 2 \\ -4 \\ 0.5 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0 \ 0), D = 0.$ $n = 3, m = 1, l = 1, \tau = 0.5, x_0 = (0 \ 1 \ 0)$
2.	$8 \frac{s+2}{(s^2+2s+1)^2(s+2)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ -4 & -1.5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.6 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$ $n = 2, m = 1, l = 2, x_0 = 0$
3.	$\frac{0.36}{0.15s^2+2s+0.36} e^{-0.7s}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -6 & -2.3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.2 \end{bmatrix}, C = (0.6 \ 2), D = 0.$ $n = 2, m = 1, l = 1, x_0 = (1 \ 0 \ 0)$
4.	$5 \frac{(s-2)(s+0.6 \pm 2.3j)}{(s+1.1)(s-0.83 \pm 1.22j)}$	$A = \begin{bmatrix} -5 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 0 & 0 \\ -3 & 2 & -4 & -1 \\ -3 & 2 & 0 & -4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 30 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, D = 0.$ $n = 4, m = 1, l = 2, x_0 = (1 \ 0 \ 0 \ 1)^T$
5.	$\frac{50(s-1)}{(s+1)^2} e^{-2s}$	$A = \begin{bmatrix} -1.5 & -13.5 & 13 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, C = (0 \ 0 \ 0 \ 1), D = [1],$ $n = 4, m = 1, l = 1, x_0 = 0$
6.	$\frac{8(s+2)}{s^2(s+14)(s^2+6s+10)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \\ -3 & -2 & 0 \\ -1 & 3 & 4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 4 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (0 \ 1 \ 3), D = [2]$ $n = 3, m = 1, l = 1, x_0 = (0 \ 1 \ 2).$
7.	$\frac{s^2+2s+2}{s^4+s^3+14s^2+8s+2}$	$A = \begin{bmatrix} 1 & -3 & 3 & 3 \\ -5 & -1 & -5 & 5 \\ -2 & 0 & -4 & 0 \\ -2 & 0 & -2 & 4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$ $n = 4, m = 2, l = 3.$

8.	$\frac{3s+6}{(s+1)(s+2)(s+3)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \\ -3 & -2 & 0 \\ -2 & 4 & 3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 31 \\ 40 \\ 21 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 101 \\ 010 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 20 \\ 02 \end{bmatrix}$ $n = 3, m = 2, l = 2, \tau = 0.2, x_0 = 0.$
9.	$\frac{1}{6s^7 + 3s^3 + 2s^2 + s + 1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 01 \\ 11 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 10 \\ 13 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 10 \\ 01 \end{bmatrix}.$ $n = 2, m = 2, l = 2, x_0 = (0 \ 1)$
10.	$\frac{10}{s^3 + 2s^2 + s + 10} e^{-2s}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -12 & -10 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 001 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 100 \\ 010 \\ 111 \end{bmatrix}$ $n = 3, m = 3, l = 3, x_0 = 0.$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

LABORATORİYA İŞİ №3
(2 saat)

OBJEKTİN VƏZİYYƏT MODELİNİN ELEMENTAR BLOKLARDA REALİZASİYASI

İşin məqsədi: Matris formada (A, B, C, D) dördlüyü ilə verilmiş xətti vəziyyət modellərinin Simulinkdə realizasiyası və tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

Obyektin vəziyyət modeli matris şəklində aşağıdakı kimi verilir (bax, lab. işi №2):

$$\begin{aligned} dx/dt &= Ax + Bu, \quad x(0) = x_0 \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (1)$$

$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - n -ölçülü vəziyyət vektoru; $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T$ - m -ölçülü idarə vektoru;
 $y = (y_1, y_2, \dots, y_l)^T$ - l -ölçülü müşahidə olunan çıxış vektoru,
 $A - n \times n, B - n \times m, C - l \times n, D - l \times m$ ölçülü matrislərdir. x_0 - başlanğıc şərt.

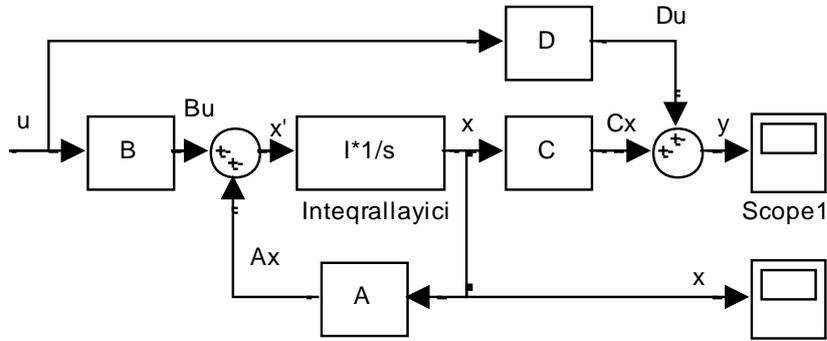
Məsələn,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2.5 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0.5 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, x_0 = (1 \ 0)^T. \quad (2)$$

Bu halda $n=2, m=2, l=2$. Yəni iki sayda x_1, x_2 vəziyyət dəyişəni, iki sayda idarə signalı u_1, u_2 , iki çıxış y_1, y_2 mövcuddur.

Əvvəldə isitifadə etdiyimiz *state-space* blokunun əsas çatışmazlığı x_1, x_2, \dots vəziyyət dəyişənlərinin vizualizasiya edilməməsidir. Bu blokun çıxışı y çıxış signalıdır. Lakin bir-çox məsələlərdə $x(t)$ dəyişənlərinin məlum olması tələb olunur.

Şəkil 1.1-də (1) obyektinə uyğun olan struktur sxem göstərilmişdir.

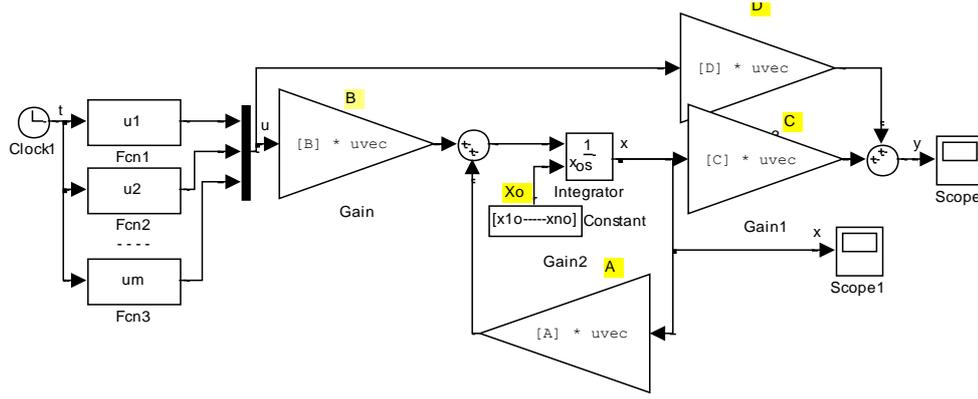


Şəkil 1.1

Şəkiləndən görüldüyü kimi bütün hesablama əməliyyatları Ax, Bu, Cx, Du - matrisin vektora vurulmasından, cəmləmədən və vektor $I \cdot 1/s$ inteqrallasından ibarətdir.

Matlabda hesablama elementi matris olduğundan bu sxemi *Simulink*in elementar –**Clock** (u -idarəsi zamandan asılı signal olarsa), **Gain, Sum, Integrator, Mux** (multipleksor) bloklarında asanlıqla realizasiya etmək olar. $y(t)$ –çıxışını və eyni zamanda $x(t)$ vəziyyət dəyişənlərini də müşahidə etmək üçün **Scope** cihazından istifadə etmək lazımdır.

Şəkil 1.2-də sxemin *Simulink*də realizasiyası sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.2

İdarə siqnalları u_1, \dots, u_m **Fcn** blokunda formalaşdırılır. **Gain** blokları $K * uvec$ rejiminə keçirilir. Başlangıç şərtlər **Integrator** bloğunun *external* rejimində **Constant** blokunun parametrlər pəncərəsinə daxil olunur.

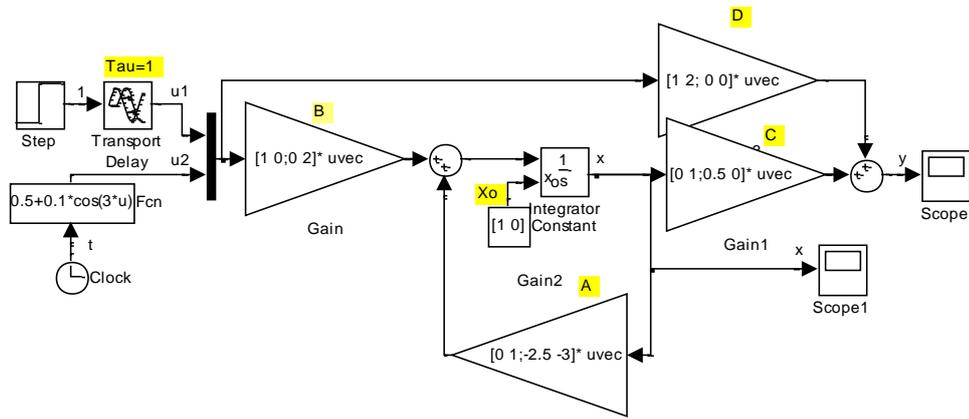
2. Nümunə

Tənlik (2)-nin realizasiyasına baxaq. Bu tənlik açıq şəkildə aşağıdakı normal tənliklər sistemi şəklində yazılır:

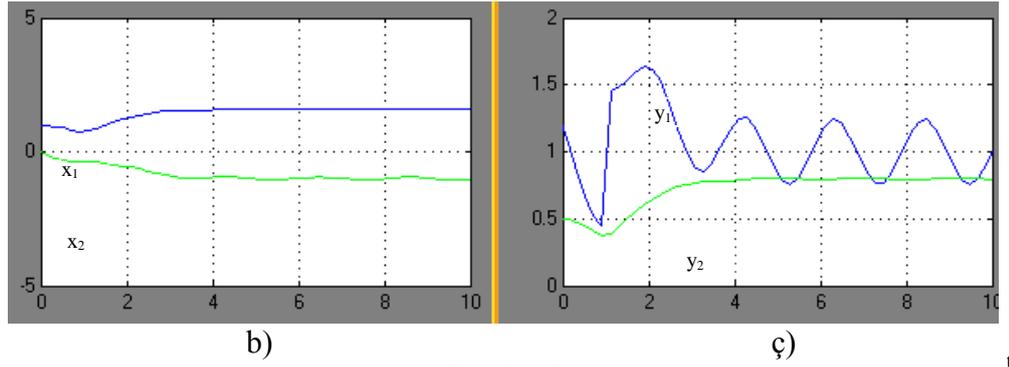
$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2.5 & -3 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

$$u_1 = 1(t-1), \quad u_2 = 0.5 + 0.1 \cos(3t), \quad x_{10} = 1, \quad x_{20} = 0,$$

u_1 kanalında $\tau = 1s$ gecikmə mövcuddur.



a)



Şəkil 1.3

Şəkil 1.3-də (3) vəziyyət modelinin Simulinkdə realizasiya sxemi (a), vəziyyət dəyişənləri (b) və çıxışları göstərilmişdir (c).

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Variantlar üzrə idarə u_1 , u_2 siqnalarını, modelin (A, B, C, D) parametrlərini və başlanğıc x_0 şərtləri seçməli.
2. Nümunədəki şəkil 1.3-ə əsasən modelləşdirmə sxemini yığmalı.
3. Parametrlər pəncərəsindən lazımı parametrləri daxil etməli.
4. $x_1(t)$, $x_2(t)$, – vəziyyət dəyişənlərinin qrafiklərini almaq.
5. $y_1(t)$, $y_2(t)$ – çıxışlarının qrafiklərini almaq.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir:

1. İşin adı və məqsədi.
2. Modelləşdirilən $u_1(t)$, $u_2(t)$ siqnalları, modelin (A, B, C, D) parametrləri və başlanğıc şərtlər.
3. Nümunəyə uyğun modelləşdirmə sxemi (şəkil 1.3, a), vəziyyət dəyişənlərinin və çıxışların qrafikləri (şəkil 1.3, b, c).

5. Yoxlama sualları

1. Obyektin vəziyyət modelinin ötürmə funksiyasından fərqi.
2. (A, B, C, D) matrislərinin ölçüsü.
3. **Gain** blokunun rejimi.
4. **Integrator** blokunun rejimi.
5. **Fcn** blokunun rolu.

6. Variantlar

Nö	İdarə siqnalları	Modelin parametrləri
1.	$u_1 = 1, u_2 = 0.3\sin(2t)$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = (0 \ 1)$ $n = 2, m = 2, l = 1, x_0 = [1 \ 0]$
2.	$u_1 = 1, u_2 = 2\cos(t)$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & -3 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$ $n = 2, m = 2, l = 2, x_0 = 0$

3.	$u_1 = 0.2 \sin(2t)$ $u_2 = 0.3 \cos(0.1t)$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -10 & -5 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $n = 3, m = 2, l = 1, x_0 = (1 \ 1)$
4.	$u_1 = 2e^{-t} \sin(2t)$ $u_2 = 1(t - 0.5)$	$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -12 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = (1 \ 0)$ $n = 2, m = 2, l = 1, x_0 = (0 \ -1)$
5.	$u_1 = 0.5, u_2 = 1.2 \sin(0.4t)$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0.5 & 4 \end{bmatrix}, C = (1 \ 1), D = [1 \ 2]$ $n = 2, m = 2, l = 1, x_0 = 0$
6.	$u_1 = 2t^{-0.5}, u_2 = 1(t - 0.5)$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -8 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 1.2 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ $n = 2, m = 2, l = 1, x_0 = (-1 \ 0)$
7.	$u_1 = \cos(t + 0.5)$ $u_2 = 10 \sin(t - 0.5)$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -12 & -6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 2), D = 2$ $n = 2, m = 1, l = 1, x_0 = 0$
8.	$u_1 = 1(t - 2)$ $u_2 = 0.2 \sin(3t)$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ $n = 2, m = 2, l = 2, x_0 = (0 \ -2)$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

SUPERPOZİSİYA PRİNSİPİNİN TƏDQIQI

İşin məqsədi: Xətti obyektlərdə superpozisiya prinsipinin ödənilməsinin modelləşdirmə yolu ilə yoxlanılması və tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

Superpozisiya prinsipi. Superpozisiya prinsipi yalnız xətti obyektlər (sistemlər) üçün doğrudur. **Xətti diferensial tənliklərlə yazılan obyektlər xətti obyektlər adlanır.** Bu mücərrəd riyazi tərifdən başqa obyektin xətti olmasının fiziki əlaməti də mövcuddur ki, bu da superpozisiya prinsipidir: **obyektə təsir edən giriş siqnallarının yaratdığı fərdi reaksiyalarının cəmi bu siqnalların birlikdə (cəm şəklində) təsir etdikdə yaranan yekun reaksiyaya bərabərdir.**

Homogenlik (miqyaslaşma) xassəsi. Bu xassə də obyektin xətti olmasına dəlalət edir: **xətti obyektin giriş siqnalını sabit ədədə vurduqda çıxış siqnalı da bir o qədər dəyişir.**

Superpozisiya prinsipinin xətti diferensial tənliklərlə yazılan obyektlər üçün ödənilməsini göstərək. Fərz edək ki, iki girişdən və bir çıxışdan ibarət olan xətti obyektin tənliyi:

$$\frac{dy}{dt} = u_1(t) + u_2(t).$$

Başlanğıc şərt $y(0) = 0$, $y(t)$ – çıxış, u_1, u_2 - giriş siqnallarıdır. Həlli, yəni obyektin reaksiyasını tapmaq üçün bu tənliyin hər tərəfini inteqrallayaq:

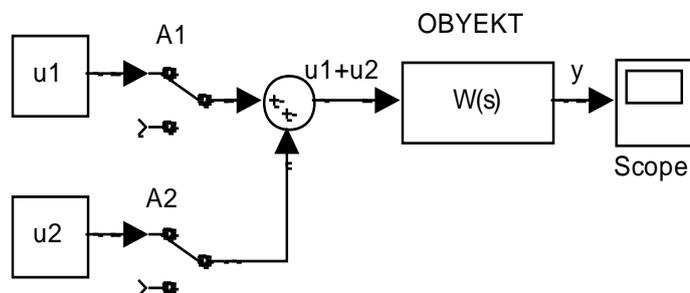
$$y(t) = \int_0^t [u_1(t) + u_2(t)] dt = \int_0^t u_1(t) dt + \int_0^t u_2(t) dt = y_1(t) + y_2(t).$$

$y_1(t), y_2(t)$ giriş u_1, u_2 siqnallarının yaratdığı reaksiyalardır. Bu nəticə inteqrallamanın xətti əməliyyat olması nəticəsində alınmışdır. Yəni cəmin inteqralı inteqralların cəminə bərabərdir. Bu xassə istənilən tərtib obyekt üçün doğrudur.

Homogenlik xassəsini özünüz isbat edin.

2. Nümunə

Şəkil 1.1-də superpozisiya prinsipini yoxlamaq üçün istifadə olunan sxem göstərilmişdir.

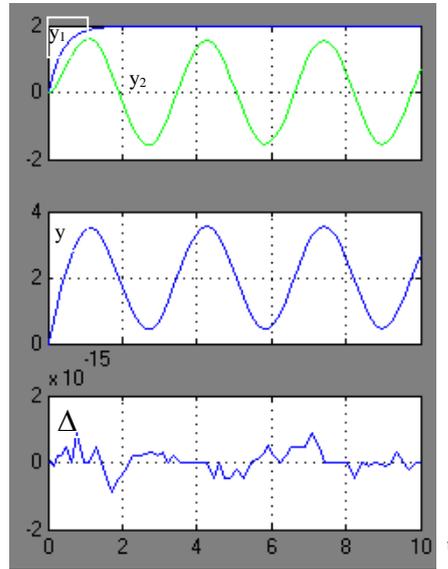
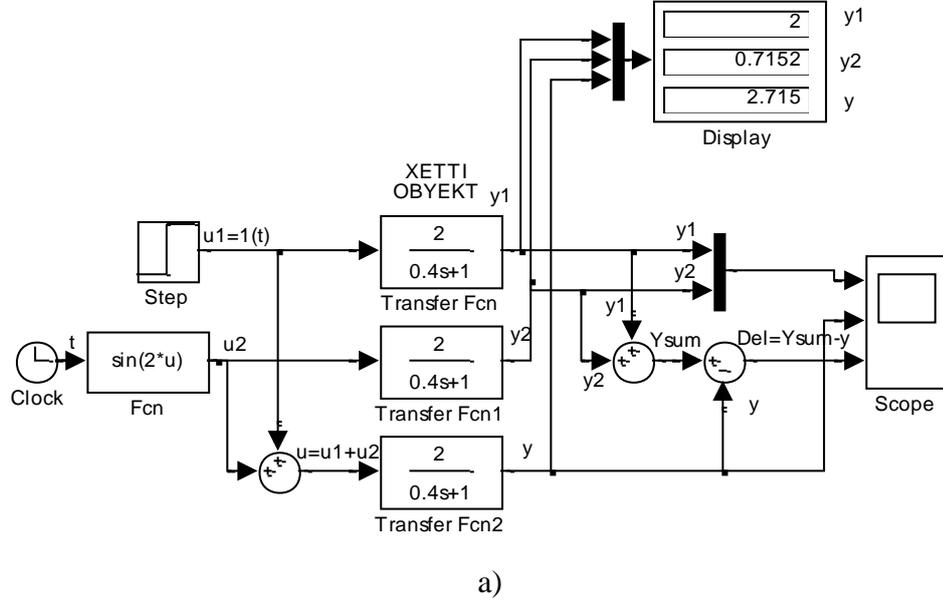


Şəkil 1.1

Şəkilə u_1, u_2 siqnal mənbələri, A1, A2 – açarlar, Scope – obyektin $y_1(t), y_2(t)$ və ya $y(t)$ yekun reaksiyalarını müşahidə etmək üçün cihaz.

Şəkil 1.2 a-da superpozisiya prinsipinin ödənilməsini yoxlamaq üçün Simulinkdə yığılmış sxem göstərilmişdir. Burada $W(s) = 2/(0.4s + 1)$, $u_1 = 1$, $u_2 = \sin(2t)$.

Şəkil 1.2 b-də lokal $y_1(t), y_2(t)$, yekun $y(t)$ reaksiyaları və superpozisiya prinsipinin ödənilməsinə nəzarət etmək üçün lokal reaksiyalarının cəmi y_{sum} ilə yekun y reaksiyasının fərqi göstərilmişdir.



b)
Şəkil 1.2

Düzgün qurulmuş sxemdə $\Delta = y_{sum} - y \approx 0$ olmalıdır. Nümunədə $\Delta = (y_{sum} - y)10^{-15} \approx 0$

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Variant 2-5 nəfərdən ibarət qruplara həvalə edilir.
2. Variantlar üzrə u_1, u_2 giriş siqnallarını, obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyasını seçməli.
3. Nümunəyə uyğun lazımi blokları yeni açılmış Simulink pəncərəsinə yığmalı.
4. u_1 və u_2 siqnallarını **Fcn** blokunda realizasiya etməli (bax lab. işi №1).

5. Ötürmə funksiyasının parametrlərini daxil etməli.
6. Scope cihazında $\Delta = y_{sum} - y \approx 0$ və displaydə $y_1(T) + y_2(T) = y(T)$ (nümunədə, $2+0.7152=2.7125$) şərtlərinin ödənilməsini yoxlamalı. İş düzgün yerinə yetirilmişdirsə göstərilən şərtlər ödənilməlidir.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir:

1. İşin adı və məqsədi.
2. Giriş siqnalları u_1, u_2 və obyektin ötürmə funksiyası $W(s)$.
3. Simulinkdə modelləşdirmə sxemi (şəkil 1.2 a-ya uyğun).
4. Scope cihazında alınmış y_1, y_2, y və Δ siqnallarının qrafikləri (şəkil 1.2 b-yə uyğun).
5. İş düzgün yerinə yetirilməsini $\Delta \approx 0$ şərtinin ödənilməsi ilə yoxlamalı.

5. Yoxlama sualları

1. Xətti obyektin tərifı.
2. Superpozisiya prinsipi və homogenlik xassəsi.
3. Superpozisiya prinsipi hansı obyektlərdə ödənilir?
4. Superpozisiya prinsipinin ödənilməsi giriş siqnallarının tipindən asılıdır mı?
5. Displayin funksiyası.
6. Fcn bloğunun funksiyası.

6. Variantlar

№	Giriş siqnalları, u_1, u_2	Xətti obyektin ötürmə funksiyası $W(s)$
1.	$u_1 = 1, u_2 = \sin(2t)$	$\frac{2}{0.5s + 1}$
2.	$u_1 = 2t, u_2 = \cos(2t)$	$\frac{2}{s^2 + 0.8s + 1}$
3.	$u_1 = 1, u_2 = 2\sin(t + 0.5)$	$\frac{s + 20}{s^3 + 10s^2 + 5s + 20}$
4.	$u_1 = \sin(3t), u_2 = 1$	$\frac{12}{s^2 + 3s + 30}$
5.	$u_1 = \sin(t), u_2 = \cos(t)$	$\frac{s^2 + 4}{s^2 + 0.5s + 4}$
6.	$u_1 = \sqrt{2}, u_2 = \sin^2(4t)$	$\frac{s + 10}{s + 15}$
7.	$u_1 = 1, u_2 = 5$	$\frac{1}{s^2 + 0.8s + 2}$

8.	$u_1 = 1(t-1), u_2 = 2t$	$\frac{10}{s^3 + 6s^2 + 10s + 10}$
9.	$u_1 = 3t^2, u_2 = \tan(2t)$	$\frac{12}{s^3 + 20s^2 + 2s + 15}$
10.	$u_1 = 0.5\sin(t+0.2), u_2 = 1$	$\frac{s^2 + 0.5s + 1}{s^4 + 2s^3 + 3s^2 + 4s + 1}$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMLƏRİNİN STRUKTUR SXEMLƏRİNƏ ƏSASƏN ÖTÜRMƏ FUNKSIYALARININ TƏYİNİ

İşin məqsədi: Mürəkkəb tənzimləmə sistemlərinin struktur sxemlərinin sadələşdirilməsi və ekvivalent ötürmə funksiyalarının Matlabda təyini.

1. Nəzəri məlumat

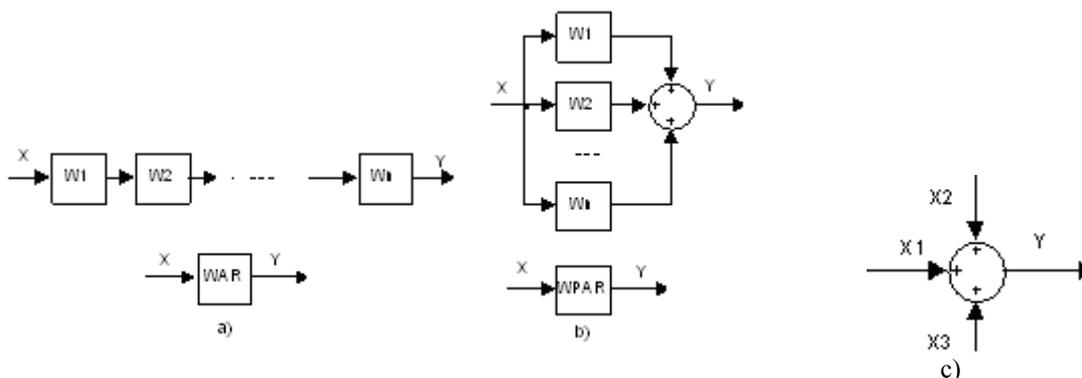
Mühəndis praktikasında sistemin strukturunu, xarici təsirlərin tətbiq nöqtələrini, siqnalların yayılma istiqamətini əks etdirən sxemlərdən geniş istifadə olunur. ATS-in struktur sxemi əsasən onun ötürmə funksiyasını təyin etmək üçün istifadə olunur.

Sxem mürəkkəb olduqda onun ayrı-ayrı qovşaqlarını çevirmə qaydalarından istifadə edərək standart şəkllə gətirib məlum düsturlardan istifadə edirlər.

Çox rast gəlinən qovşaqlardan aşağıdakıları göstərmək olar:

1. Bəndlərin ardıcıl birləşməsi.
2. Bəndlərin paralel birləşməsi.
3. Siqnalların cəmlənməsi və s.

Şəkil 1.1-də ardıcıl (a), paralel (b) və cəmləmə (c) qovşaqları göstərilmişdir.



Şəkil 1.1

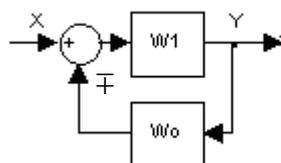
Bəndlərin ardıcıl birləşməsindən ibarət olan qovşağın ekvivalent ötürmə funksiyası

$$\frac{Y}{X} = W_{AR} = W_1 W_2 \dots W_n \quad - \text{hasil.}$$

Paralel birləşmədə $\frac{Y}{X} = W_{PAR} = W_1 + W_2 + \dots + W_n$ - cəm.

Cəmləmədə $Y = X_1 + X_2 + X_3 + \dots$

Çevrilmələrdən sonra ekvivalent sxem adətən aşağıdakı konfigurasiyaya gətirilir (şək. 1.2).



Şəkil 1.2

Şəkildə göstərilən birölçülü ATS-in əsas ötürmə funksiyaları aşağıdakılardır:

1. Açıq sistemin ötürmə funksiyası -
2. Tapşırıq girişinin çıxış y-ə nəzərən, **g-y** kanalı:

$$W_g^y = \frac{W_1}{1 \pm W_1 W_0}$$

3. Tapşırıq girişinin xəta ε -a nəzərən, **g- ε** kanalı:

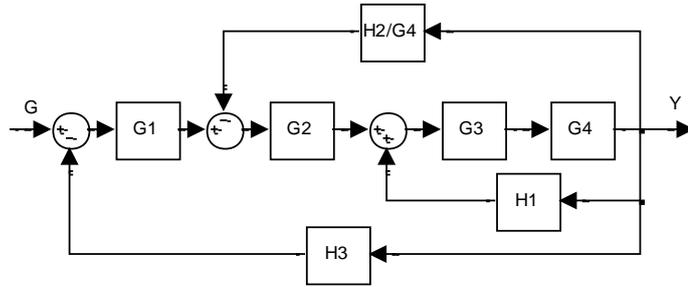
$$W_g^\varepsilon = \frac{1}{1 \pm W_1 W_0}$$

Mürəkkəb struktur sxemlərin ekvivalent ötürmə funksiyalarını təyin etmək üçün Meyson düsturundan geniş istifadə olunur. Biz bu məqsədlə Matlabda nəzərdə tutulmuş funksiyalardan istifadə edəcəyik:

1. Bəndlərin ardıcıl birləşməsi – **series** (W_1, W_2, \dots);
2. Bəndlərin paralel birləşməsi – **parallel** (W_1, W_2, \dots);
3. Əks əlaqəli struktur (şək.1.2) – **feedback** ($W_1, W_2, \dots, \pm 1$). Burada +1 və ya -1 əks əlaqənin işarəsidir.

2. Nümunə

Fərz edək ki, daha mürəkkəb sxem çevirmə qaydalarından istifadə olunaraq şəkil 1.3-də göstərilən konfigurasiyaya gətirilmişdir.



Şəkil 1.3

Göründüyü kimi bu sxem şəkil 1.2 a-da göstərilən standart qovşaqlardan ibarətdir. Sxemdə iki + və bir - əks əlaqə konturları aydın görünür.

Simvolik həll. Ekvivalent $\frac{Y}{G} = W_{ATS} = W_3$ ötürmə funksiyasını **simvolik formada** tapmaq üçün **M-fayldan** istifadə olunur: **File/New/M-file** klik etməklə çağrılır. Aşağıda Matlabda realizasiya proqramı göstərilmişdir.

```

Editor - C:\MATLAB701\work\feedbac...
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 function H=feedback(G1,G2,key)
2 - if nargin==2;key=-1;end;
3 - H=G1/(sym(1)-key*G1*G2);H=simple(H);
eedback Ln 2 Col 25 OVR

```

```

>> % Simvolik (analitik) forma
>> W1=feedback(G3*G4,H1,+1);
>> W2=feedback(G2*W1,H2/G4,-1);
>> W3=feedback(G1*W2,H3,-1)

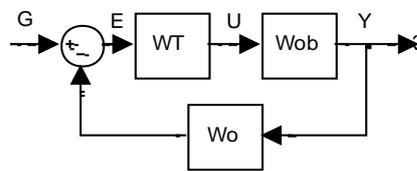
W3 =

-G2*G3*G4*G1/(-1+G3*G4*H1-G2*G3*H2-G1*G4*G3*G2*H3)

```

Ötürmə funksiyaları konkret şəkildə verildikdə M-fayldan istifadə etmədən onları **tf(.)** funksiyasının köməyi ilə formalaşdırdıqdan sonra yuxarıda göstərilən proqramdan istifadə etmək olar.

Aşkar həll. Şəkil 1.4-də göstərilən ATS-in ötürmə funksiyasını təyin etmək.



Şəkil 1.4

Obyektin ötürmə funksiyası :

$$W_{ob} = \frac{s^3 + 7s^2 + 24s + 24}{s^4 + 10s^3 + 35s^2 + 50s + 24} .$$

Tənzimləyici :

$$W_T = \frac{10s + 5}{s} - PI - \text{tənzimləyici}.$$

Əks əlaqə :

$$W_0 = \frac{1}{0.01s + 1} .$$

Müvafiq Matlab proqramı aşağıda göstərilmişdir.

```

>> % ATS-in 'giris-cixis' oturma funksiyasi
>> Wob=tf([1 7 24 24],[1 10 35 50 24]);
>> Wt=tf([10 5],[1 0]);
>> Wo=tf(1,[0.01 1]);
>> W1=series(Wob,Wt);
>> WATS=feedback(W1,Wo,-1)

Transfer function:
      0.1 s^5 + 10.75 s^4 + 77.75 s^3 + 278.6 s^2 + 361.2 s + 120
-----
0.01 s^6 + 1.1 s^5 + 20.35 s^4 + 110.5 s^3 + 325.2 s^2 + 384 s + 120

```

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Variantlar üzrə sxemi və ötürmə funksiyalarını seçməli.
2. Nümunəyə əsasən ekvivalent ötürmə funksiyasını təyin etməli.
3. Variantdan asılı olaraq ekvivalent ötürmə funksiyası simvolik (M-fayldan istifadə etməklə, misal 1) və ya konkret şəkildə (misal 2) təyin oluna bilər.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

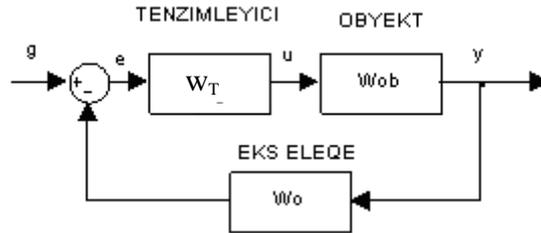
1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə struktur sxem və ötürmə funksiyaları.
3. Matlab proqramı.

5. Yoxlama sualları

1. Struktur sxemlər nə məqsədlə sadələşdirilir?
2. Standart qovşaqlar hansılardır?
3. Struktur çevirmələrin Matlab funksiyaları.
4. Simvolik və aşkar həllər.

6. Variantlar

Aşkar həll



Şəkil 1.5

1.	$W_{ob} = \frac{2}{s^2 + 0.7s + 2}, W_T = \frac{6s + 1}{s}, W_0 = 1$
2.	$W_{ob} = \frac{s + 1}{7s + 1}, W_T = \frac{3s^2 + 2s + 4}{s^2}, W_0 = \frac{4}{0.1s + 1}$
3.	$W_{ob} = \frac{6s + 1}{s^3 + 6s^2 + 10s + 1}, W_T = \frac{2(6s + 1)}{4s + 1}, W_0 = \frac{2}{0.01s + 1}$
4.	$W_{ob} = \frac{10}{s(0.1s + 1)}, W_T = 2s + 1, W_0 = 1$
5.	$W_{ob} = \frac{28(0.6s + 1)}{3s + 1}, W_T = \frac{3(0.5s + 1)}{40s + 1}, W_0 = 2$
6.	$W_{ob} = \frac{2}{s(2s + 1)}, W_T = \frac{20}{1.3s + 1}, W_0 = \frac{5.4s + 1}{2.2s + 1}$
7.	$W_{ob} = \frac{5}{s(2.7s + 1)}, W_T = 30, W_0 = \frac{3.1(0.1s + 1)}{0.8s + 1}$
8.	$W_{ob} = \frac{10}{s^2 + 0.6s + 1}, W_T = \frac{6s + 2}{s}, W_0 = 1$
9.	$W_{ob} = \frac{15}{s(1.2s + 1)}, W_T = 5(0.8s + 1), W_0 = \frac{1}{s + 1}$
10.	$W_{ob} = \frac{2(1.6s + 1)}{s(3s + 1)}, W_T = \frac{6s + 10}{s}, W_0 = \frac{0.5s + 1}{1.4s + 1}$

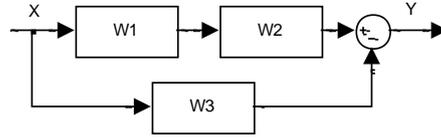
Simvolik həll

11.Şəkil 1.5

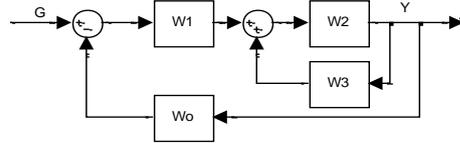
12.



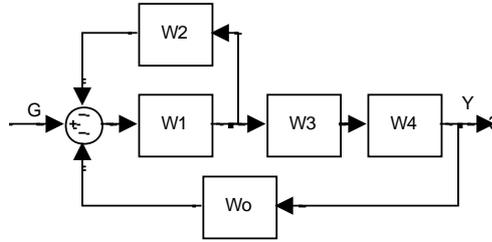
13.



14.



15.



Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvollar riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

LABORATORİYA İŞİ №6
(4 saat)

İDARƏETMƏ OBYEKTŁƏRİNİN ZAMAN XARAKTERİSTİKALARININ QURULMASI

İşin məqsədi: İdarəetmə obyektlərinin keçid və çəki xarakteristikalarının qurulması və tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

Avtomatik idarəetmədə zaman xarakteristikaları kimi əsasən **keçid $h(t)$** və **çəki $v(t)$** xarakteristikalarından istifadə edilir.

Keçid xarakteristikası

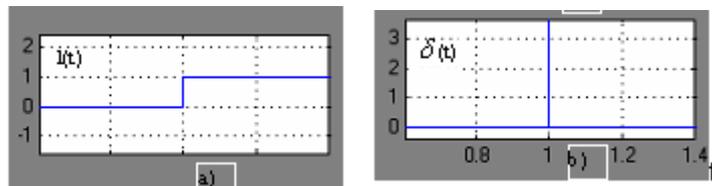
Giriş signalı $u=1(t)$ vahid təkən (pilləvari funksiya – Hevisayd funksiyası) **olduqda obyektin və ya ATS-in reaksiyası keçid xarakteristikası adlanır.** Keçid xarakteristikasını $h(t)$ ilə işarə edəcəyik. Matlabda vahid təkən *heaviside* (t) funksiyası ilə təyin olunmuşdur.

Çəki xarakteristikası

Giriş signalı $u=\delta(t)$ vahid impuls (Dirak funksiyası) **olduqda obyektin və ya ATS-in reaksiyası çəki xarakteristikası adlanır.** Çəki xarakteristikasını $v(t)$ ilə işarə edəcəyik. Matlabda vahid impuls *dirac* (t) funksiyası ilə təyin olunmuşdur.

Eni $a=0$, hündürlüyü $h=\infty$ sahəsi isə $S=1$ olan ideal $\delta(t)$ - Dirak funksiyası ümumiləşdirilmiş funksiyalar sinfinə aiddir. Belə ideal signal yalnız təqribi realizasiya oluna bilər. Məsələn, $a=0.001$, $h=1000$ olan düzbucaqlı impuls şəklində.

Şəkil 1.1-də $t=1$ s. anında təsir göstərən $h(t)$ (a) və $\delta(t)$ (b) signalı göstərilmişdir.



Şəkil 1.1

1. MATLAB-da realizasiya

(2 saat)

Keçid və çəki xarakteristikalarını Matlabda qurmaq üçün **step** (.) və **impulse** (.) funksiyalarından istifadə olunur. Obyektin modeli **ötürmə funksiyası** və ya **vəziyyət modeli** şəklində verilə bilər (bax, lab. işi №2).

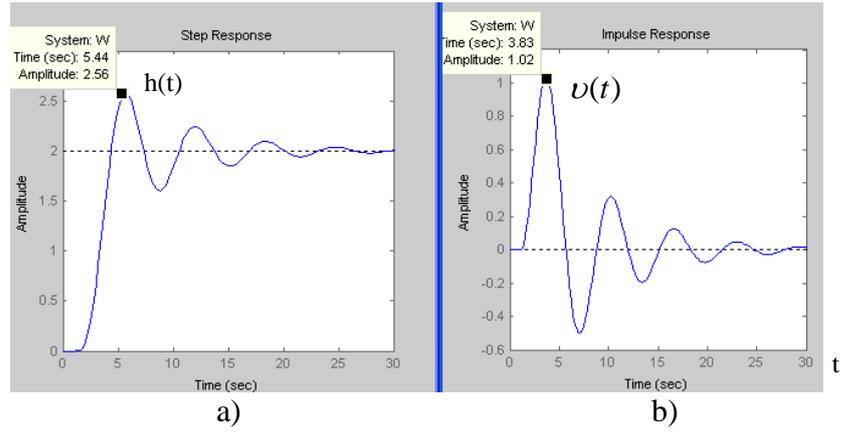
2. Nümunə 1

1.1. Obyektin modeli ötürmə funksiyası şəklində verilmişdir.

$$W(s) = \frac{10s + 20}{10s^4 + 23s^3 + 26s^2 + 23s + 10} e^{-1.2s}$$

Şəkil 1.2-də bu obyekt üçün zaman xarakteristikalarının Matlabda qurulma proqramı və uyğun xarakteristikalar göstərilmişdir.

```
>> % Matlab proqramı
>> % Oturma funksiyası
>> W=tf([10 20],[10 23 26 23 10],'ioDelay',1.2);
>> % Zaman xarakteristikaları
>> step(W,30) % Keçid xarekt.,30 vaxt intervalı
>> figure,impulse(W,30) % Çeki xarakteristikası
```



Şəkil 1.2

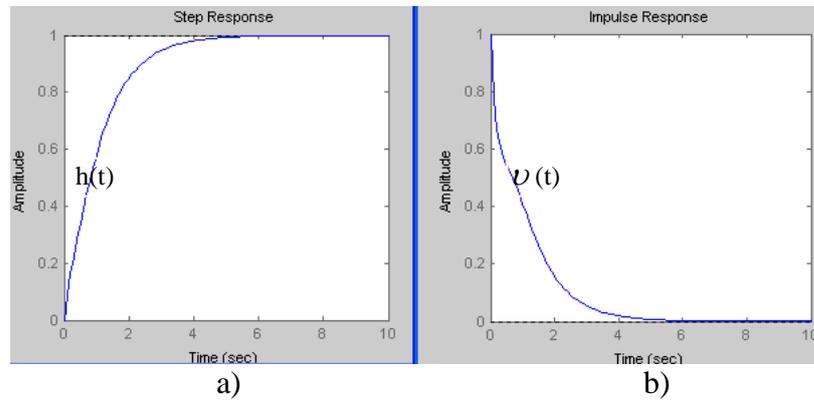
Obyektin tənliyi vəziyyət modeli şəklində verilmişdir:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -10 & -4.37 & -3.13 & -1.5 \\ 8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u,$$

$$C = [0.5 \quad 0.44 \quad 0.75 \quad 0.75]x, \quad D = 0$$

Şəkil 1.3-də müvafiq Matlab proqramı və zaman xarakteristikaları göstərilmişdir.

```
>> % MATLAB proqrami
>> % Beziyyet modelleri
>> % Zaman xarakt. qurulmasi
>> A=[-10 -4.37 -3.13 -1.5;8 0 0 0;
0 2 0 0;0 0 1 0];
>> B=[2;0;0;0];
>> C=[0.5 0.44 0.75 0.75];D=0;
>> G=ss(A,B,C,D); % Modelin formalasd.
>> step(G,10) %Kecid xarakteristikasi
>> figure,impulse(G,10) % Ceki xarakteristikasi
```



Şəkil 1.3

2. SİMULİNK-də realizasiya

(2 saat)

Bu paketdə də obyektin modeli **ötürmə funksiyası** və ya **vəziyyət modeli** şəklində verilə bilər (bax, lab. işi №2). Simulinkdə vahid təkən siqnalını formalaşdırmaq üçün *Step* blokundan istifadə olunur. Vahid impuls Simulinkdə mövcud olmadığından onu təqribi formalaşdırmaq məqsədi ilə xüsusi sxemdən istifadə olunur.

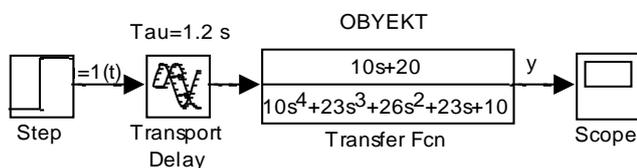
2. Nümunə 2

2.1. Keçid xarakteristikasının qurulması

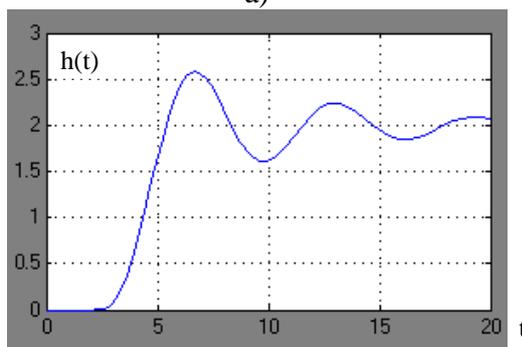
1. Obyektin modeli əvvəldə göstərilən ötürmə funksiyası ilə verilmişdir:

$$W(s) = \frac{10s + 20}{10s^4 + 23s^3 + 26s^2 + 23s + 10} e^{-1.2s}$$

Şəkil 1.4-də müvafiq Simulink sxemi (a) və $h(t)$ keçid xarakteristikası (b) göstərilmişdir.



a)



b)

Şəkil 1.4

Gecikmə *Delay* blokunun parametrlər pəncərəsindən $\tau = 1.2$ s. daxil edilmişdir.

2. Obyektin tənliyi vəziyyət modeli şəklində verilmişdir:

$$\dot{x}_1 = x_2,$$

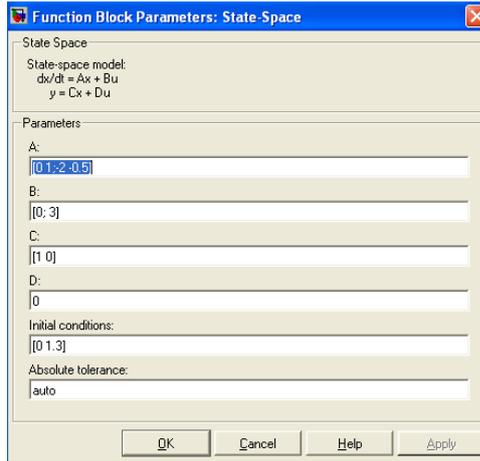
$$\dot{x}_2 = -2x_1 - 0.5x_2 + 3u(t - 1.2),$$

$$y = x_1.$$

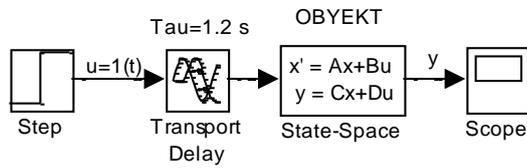
Bu halda $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.5 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix}$, $C = (1 \ 0)$, $D = 0$.

Başlanğıc şərtlər $x_{10} = 0$, $x_{20} = 1.3$. Gecikmə $\tau = 1.2$ s.

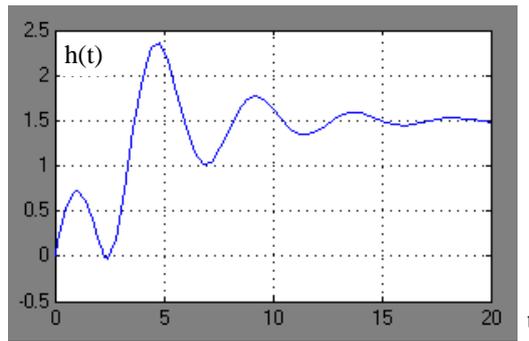
Şəkil 1.5-də parametrlər pəncərəsi (a), Simulink sxemi (b) və keçid xarakteristikası (c) göstərilmişdir.



a)



b)



ç)

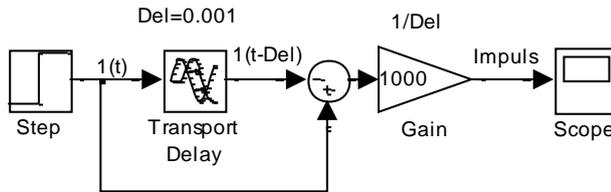
Şəkil 1.5

2.2.Çəki xarakteristikasının qurulması

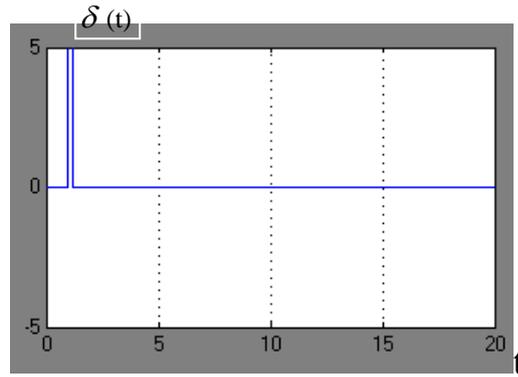
Bu məqsədlə əvvəlcə giriş siqnalı olan vahid impuls $\delta(t)$ -ni formalaşdırmaq lazımdır. Vahid impuls aşağıdakı ifadə əsasında formalaşdırılır:

$$\delta(t) \approx h[1(t) - 1(t-a)], \quad h = \frac{1}{\Delta}, \quad a = \Delta, \quad \Delta = 10^{-(2 \pm 5)}$$

Şəkil 1.6-da müvafiq realizasiya sxemi (a) və alınmış impuls (b) göstərilmişdir.



a)

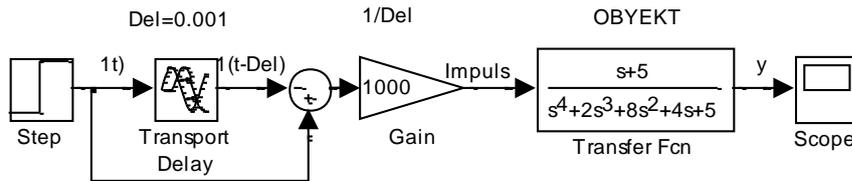


b)
Şəkil 1.6

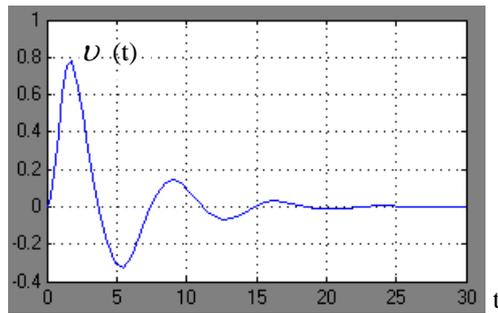
1. Obyektin modeli ötürmə funksiyası şəklində verilmişdir:

$$W(s) = \frac{s+5}{s^4 + 2s^3 + 8s^2 + 4s + 5} .$$

Şəkil 1.7-də müvafiq Simulink sxemi (a) və alınmış çəki xarakteristikası $v(t)$ (b) göstərilmişdir.



a)



b)
Şəkil 1.7

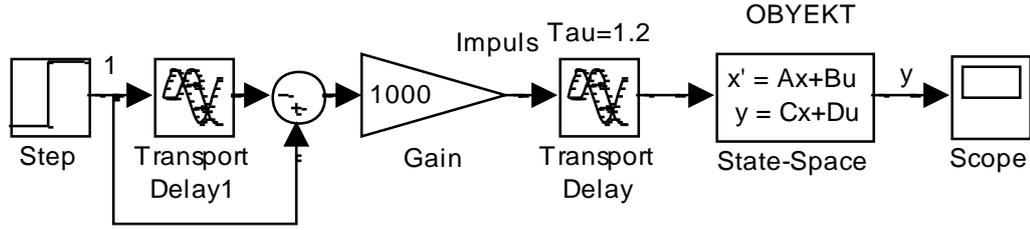
2. Obyektin tənlisi əvvəldə göstərilmiş vəziyyət modeli şəklində verilmişdir:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= -2x_1 - 0.5x_2 + 3u(t-1.2), \\ y &= x_1. \end{aligned}$$

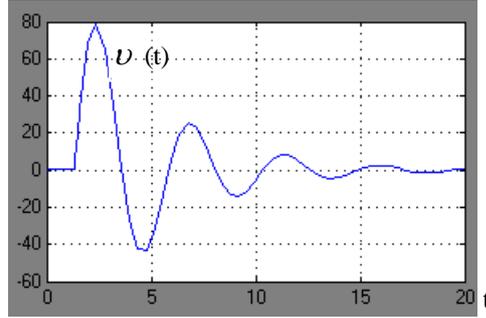
Burada $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.5 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix}$, $C = (1 \ 0)$, $D = 0$.

Başlanğıc şərt $x_{10} = 0$, $x_{20} = 1.3$. Gecikmə $\tau = 1.2s$

Şəkil 1.8-də Simulink sxemi (a) və çəki xarakteristikası $v(t)$ (b) göstərilmişdir.



a)



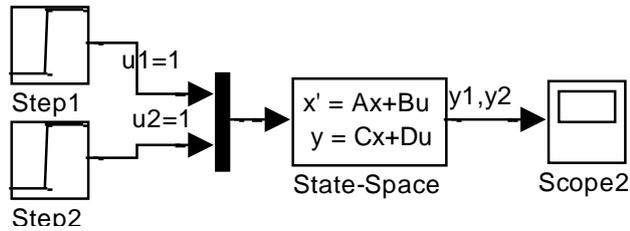
b)

Şəkil 1.8

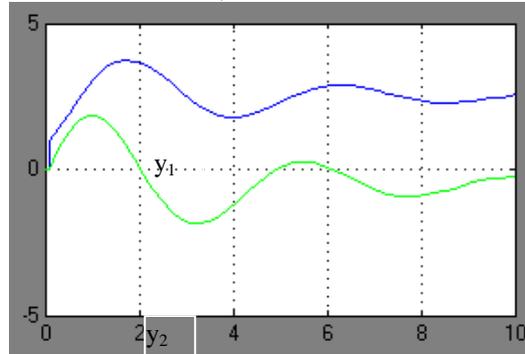
Çoxölçülü hal. Bu halda obyektin giriş u_1, u_2, \dots sayı m və çıxış y_1, y_2, \dots sayı l birdən böyük olur. Daxil edilən matrislərin ölçüsü müvafiq olaraq $A(n \times n), B(n \times m), C(l \times n)$ və $D(l \times m)$ olmalıdır. Məsələn, $n=2, m=2, l=2$ olarsa, $A(2 \times 2), B(2 \times 2), C(2 \times 2), D(2 \times 2)$.

Obyektə **Mux** bloğunun vasitəsilə u_1, u_2, \dots giriş siqnailləri verilir. **Scop** cihazında eyni zamanda l sayda y_1, y_2, \dots çıxışların qrafikləri alınır.

Şəkil 1.9-da $n=2, m=2, l=2$ halında modelləşdirmə sxemi (a), və keçid xarakteristikaları y_1, y_2 (b) göstərilmişdir.



a)



b)

Şəkil 1.9

Qeyd: Vəziyyət x_1, x_2, \dots, x_n dəyişənlərini almaq üçün $C=I, D=0$ daxil etmək kifayətdir. $I-n \times n$ -ölçülü vahid matrisdir.

3. Tapşırıq və işin aparılma qaydası

1. Hər bir variant 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün nəzərdə tutulub.
2. Variantlar üzrə obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyası və (A, B, C, D) vəziyyət modelini seçməli.
3. Bu modellər üçün Matlabda *step* və *impulse* funksiyası ilə nümunə 1-ə əsasən proqram tərtib edib keçid və çəki xarakteristikalarını almaq (2 saat).
4. Həmən modellər üçün Simulinkdə nümunə 2-yə əsasən müvafiq sxemlər qurub keçid və çəki xarakteristikalarını almaq (2 saat).

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə verilmiş modellər.
3. Matlab proqramı və zaman xarakteristikaları.
4. Simulink sxemi və zaman xarakteristikaları.

5. Yoxlama sualları

1. Zaman xarakteristikaları.
2. Vahid təkan və vahid impuls.
3. Keçid xarakteristikalarını qurmaq üçün Matlab funksiyaları.
4. Vahid təkanın və impulsun Simulinkdə realizasiya sxemi.

6. Variantlar

№	Ötürmə funksiyası, $W(s)$	Vəziyyət modelləri (A, B, C, D)
1.	$\frac{s+1}{s^3+3s^2+2s+1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2.5 & -0.6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = [1 \ 0]$ $x_0 = (0 \ 1), \tau = 2s, n = 2, m = 2, l = 1$
2.	$\frac{s+10}{s^3+10s^2+2s+10} e^{-0.6s}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.8 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ $x_0 = 0, \tau = 0.5, n = 2, m = 1, l = 2$
3.	$\frac{s^2+3s+2}{6s^4+3s^3+2s^2+s+1}$	$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 \\ -10 & 0 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, C = (0 \ 1 \ 1), D = [2]$ $x_0 = (1 \ 1 \ 0), n = 3, m = 1, l = 1$
4.	$\frac{3s+5}{(s+1)(s+2)(s+3)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -3 & -0.4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}$ $\tau = 0.4, n = 2, m = 2, l = 2$
5.	$\frac{s+2}{s^2+0.4s+2} e^{-1.5s}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -20 & -12 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 6 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $x_0 = (-1 \ 0), n = 2, m = 1, l = 1$
6.	$\frac{2}{(s+1)^2(s+2)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.7 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ $x_0 = (-1 \ 1), n = 2, m = 1, l = 2$

7.	$\frac{1}{s^2 + 0.2s + 1} e^{-2s}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ $x_0 = (0 \ -2), n = 2, m = 2, l = 2$
8.	$\frac{s + 2}{10s^3 + 15s^2 + 6s + 2}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -0.6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = (2 \ 0), D = 0$ $x_0 = 0, n = 2, m = 1, l = 1$
9.	$\frac{1}{2s^3 + 10s^2 + s + 1} e^{-2s}$	$A = \begin{bmatrix} -5 & 2 & 0 \\ 0 & -4 & 0 \\ -3 & -2 & -10 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}, C = (1 \ 1 \ 0), D = 0$ $x_0 = (5 \ 0 \ 0), n = 3, m = 1, l = 1$
10.	$\frac{1}{(s + 1)(s^2 + 3s + 1)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -12 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{bmatrix}$ $x_0 = (1 \ 1), \tau = 0.2, n = 2, m = 2, l = 2$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

İDARƏETMƏ OBYEKTŁƏRİNİN TEZLİK XARAKTERİSTİKALARININ QURULMASI

İşin məqsədi: İdarəetmə obyektlərinin adi və Loqarifmik tezlik xarakteristikalarının qurulması və tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

İdarəetmə obyektlərinin əksəriyyətinə yüksək tezlikli siqnallar təsir edir. Belə şəraitdə onların özünü necə aparmasını bilmək vacibdir. Bundan başqa süzgəclər və generatorlar tezlik xarakteristikaları əsasında qurulur.

Xətti obyektlərdə tezlik xarakteristikalarının alınması aşağıdakı qanunauyğunluğa əsaslanır: **xətti obyektin girişinə ω tezlikli harmonik siqnal verdikdə qərarlaşmış rejimdə, yəni keçid prosesi başa çatdıqdan sonra, çıxış siqnalının tezliyi dəyişməyib yalnız amplitudu və fazası dəyişir.** Həm də bu amplitud və faza giriş siqnalının tezliyindən asılı olur. Fərz edək ki,

Giriş siqnalı: $u = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$.

Çıxış siqnalı: $y = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$.

Aşağıdakı tezlik xarakteristikalarından istifadə olunur:

Amplitud-tezlik xarakteristikası – çıxış siqnalının amplitudunun giriş siqnalının amplituduna nisbəti:

$$A(\omega) = \frac{A_2(\omega)}{A_1}. \quad (1)$$

Faza-tezlik xarakteristikası – çıxış və giriş siqnallarının fazası arasındakı fərq:

$$\varphi(\omega) = \varphi_2(\omega) - \varphi_1. \quad (2)$$

Xətti sistemlərdə *homogenlik* (miqyaslaşma) xassəsi ödənildiyindən n giriş siqnalının A_1 amplitudu neçə dəfə dəyişdirilərsə çıxışın A_2 amplitudu da bir o qədər dəyişəcəkdir. Bu səbəbdən (1) nisbəti sabit qalacaqdır. Giriş φ_1 fazasını sürüşdürsək çıxış φ_2 fazası da bir o qədər sürüşəcəkdir və nəticədə (2) fərqi sabit qalacaqdır. Göstərilən səbəblərə əsasən hesablamaları (eksperimenti) asanlaşdırmaq üçün giriş siqnalının parametrlərini $A_1=1$, $\varphi_1=0$ qəbul etmək əlverişlidir.

Tezlik xarakteristikaları əsasən iki üsulu ilə alınır.

1. *Təcrübi* (eksperimental) üsul.

2. *Analitik* üsul.

Birinci üsuldən obyektin riyazi modeli məlum olmadıqda istifadə edilir və təcrübə bilavasitə obyektə aparılır. Obyektin *ötürmə funksiyası* məlum olarsa ikinci üsuldən istifadə olunur.

Analitik üsul. Obyektin ötürmə funksiyası:

$$W(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}, \quad n \geq m \quad (3)$$

Ötürmə funksiyası $W(s)$ -dən tezlik xarakteristikalarının alınması (3) ifadəsində $s = j\omega$ əvəzləməsini etdikdən sonra onun **həqiqi** və **xəyalı** hissələrə ayrılmasına əsaslanır:

$$W(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}. \quad (4)$$

1. Adi tezlik xarakteristikaları

Bu halda tezlik xarakteristikaları xətti miqyasda qurulur və aşağıdakılardır:

- **həqiqi tezlik xarakteristikası (HTX)** - $R(\omega)$;
- **xəyalı tezlik xarakteristikası (XTX)** - $I(\omega)$;
- **amplitud-tezlik xarakteristikası (ATX)** - $A(\omega) = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)}$;
- **faza-tezlik xarakteristikası (FTX)** - $\varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{I(\omega)}{R(\omega)}\right)$, $\varphi(\omega) \leq \pi/2$.

Obyektin giriş kanalında gecikmə mövcud olarsa ötürmə funksiyası aşağıdakı şəkildə yazılır.

$$W_{\tau}(s) = W(s)e^{-s\tau}.$$

Bu halda $e^{-j\omega\tau} = \cos(\omega\tau) - j\sin(\omega\tau)$ Eyler düsturundan istifadə edib *gecikmə operatorunu* ləğv etmək olar. Gecikmə operatoru $e^{-s\tau}$ -ni *Pade sırasına* ayırdıqda təqribi nəticə alınır.

Kompleks müstəvidə (2) ifadəsinə əsasən $W(j\omega)$ uzunluğu $A(\omega)$, bucağı isə $\varphi(\omega)$ olan vektorun ω tezliyi $-\infty$ -dan $+\infty$ -a qədər dəyişdikdə ucunun cızdığı əyrini (hodoqrafı) xarakterizə edir. Praktiki tətbiqlərdə qodoqrafın tezliyin müsbət $0 \leq \omega < +\infty$ intervalına düşən hissəsindən istifadə olunur. Vektorun cızdığı əyri **amplitud-faza tezlik xarakteristikası (AFTX)** adlanır.

2. Loqarifmik tezlik xarakteristikaları

Mühəndis praktikasında Bode tərəfindən təklif olunmuş **Loqarifmik tezlik xarakteristikalarından** istifadə edilir.

Loqarifmik miqyasa keçidin əsas üstünlüyü aşağıdakılardır:

1. Daha geniş tezlik diapazonunu əhatə etməyə imkan verir.
2. Qurulmuş Loqarifmik tezlik xarakteristikalarının ayrılığı azalır ki, bu da onları bir neçə düz xətt parçası ilə əvəz etməyə imkan verir. Belə xəttləşdirmə əməliyyatı hesablamaları asanlaşdırır.

Loqarifmik amplitud tezlik xarakteristikaları (LATX):

$$L(\omega) = 20 \lg[A(\omega)], \text{ dB} . \quad (5)$$

L -in ölçü vahidi *desibel*-dir, (dB).

İfadə (5)-ə əsasən LATX-nı hesablamaq üçün əvvəlcə adi ATX, yəni $A(\omega)$ -ni hesablamaq lazımdır. Loqarifmik miqyasda absis oxunda $\lg(\omega)$ əsasında bölgüləmə aparılır. Lakin bölgü nöqtələrinə ω tezliyinin özünün qiymətləri yazılır.

Absis oxunun ölçü vahidi *oktava* (tezliyin 2 dəfə dəyişmə intervalı) və ya *dekada* (tezliyin 10 dəfə dəyişmə intervalı) qəbul olunub.

Loqarifmik faza tezlik xarakteristikası (LFTX).

Bu xarakteristika adi $\varphi(\omega)$ (FTX) ilə eyni olub, yalnız absis oxunun Loqarifmik miqyasda olması ilə fərqlənir. Loqarifmik tezlik xarakteristikaları *Bode diaqramları* adlanır. Bu diaqramları Matlabda qurmaq üçün *bode* (.) funksiyasından istifadə olunur. Loqarifmik amplitud-faza tezlik xarakteristikasını (LAFTX) qurmaq üçün isə *nyquist* (.) funksiyasından istifadə olunur.

2. Nümunə

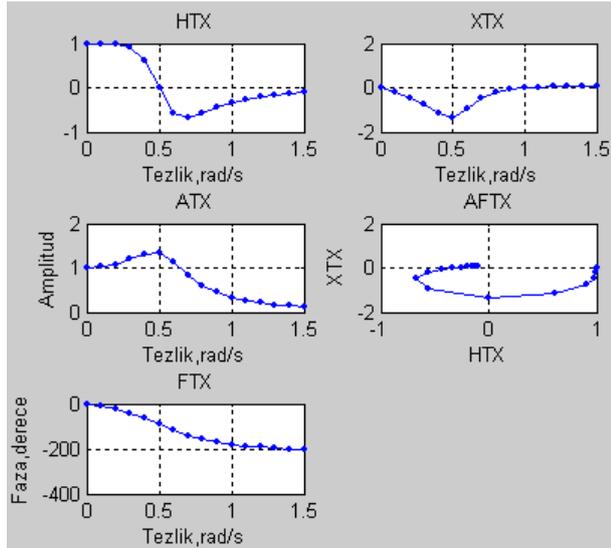
1. Adi tezlik xarakteristikalarının qurulması

Şəkil 1.1 -də obyektin verilmiş $W(s) = 0.5/(s^3 + 2s^2 + s + 0.5)$ ötürmə funksiyası əsasında adi tezlik xarakteristikalarının qurulmasının Matlab proqramı və müvafiq xarakteristikalar göstərilmişdir.

```
>> % Addi tezlik xarakter. qurulmasi
>> w=0:0.1:1.5;% Omega-tezlik intervali ve addimi
>> s=j.*w;% s=j*omeq evezlemesi
>> num=0.5;% Oturma funks. sureti
>> den=s.^3+2*s.^2+s+0.5;%mexreci
>> W=num./den;% Tezlik oturma funksiyasi
>> HTX=real(W.');" Heqiqi tezlik xarakteristi
>> XTX=imag(W.');" Xeyali tezlik xarakteristikasi
>> ATX=(real(W.').^2+imag(W.').^2).^0.5;% Amplitud tezlik
>> K=sign(HTX+0.001)-1;
>> FTX=180/pi*atan(imag(W.')./real(W.'))+K/2*180;% FAZA t
Warning: Divide by zero.
>> N=[w',HTX,XTX,ATX,FTX]%' Cap
```

N =	ω	HTX	XTX	ATX	FTX
	0	1.0000	0	1.0000	0
	0.1000	0.9992	-0.2061	1.0202	-11.6538
	0.2000	0.9847	-0.4501	1.0827	-24.5672
	0.3000	0.9043	-0.7715	1.1887	-40.4683
	0.4000	0.6194	-1.1563	1.3117	-61.8214
	0.5000	0	-1.3333	1.3333	-90.0000
	0.6000	-0.5616	-0.9803	1.1298	-119.8091
	0.7000	-0.6707	-0.4988	0.8358	-143.3600
	0.8000	-0.5641	-0.2083	0.6013	-159.7343
	0.9000	-0.4363	-0.0666	0.4413	-171.3192
	1.0000	-0.3333	0	0.3333	-180.0000
	1.1000	-0.2567	0.0309	0.2586	-186.8604
	1.2000	-0.2002	0.0444	0.2051	-192.5084
	1.3000	-0.1583	0.0493	0.1658	-197.2996
	1.4000	-0.1266	0.0498	0.1361	-201.4540
	1.5000	-0.1025	0.0480	0.1132	-205.1148

```
>> %Xarakteristikalarin qurulmasi
>> subplot(3,2,1),plot(w,HTX,'.-'),grid,title('HTX')
>> xlabel('Tezlik,rad/s')
>> subplot(3,2,2),plot(w,XTX,'.-'),grid,title('XTX')
>> xlabel('Tezlik,rad/s')
>> subplot(3,2,3),plot(w,ATX,'.-'),grid,title('ATX')
>> xlabel('Tezlik,rad/s'),ylabel('Amplitud')
>> subplot(3,2,5),plot(w,FTX,'.-'),grid,title('FTX')
>> xlabel('Tezlik,rad/s'),ylabel('Faza,derece')
>> subplot(3,2,4),plot(HTX,XTX,'.-'),grid,title('AFTX')
>> xlabel('HTX'),ylabel('XTX')
```



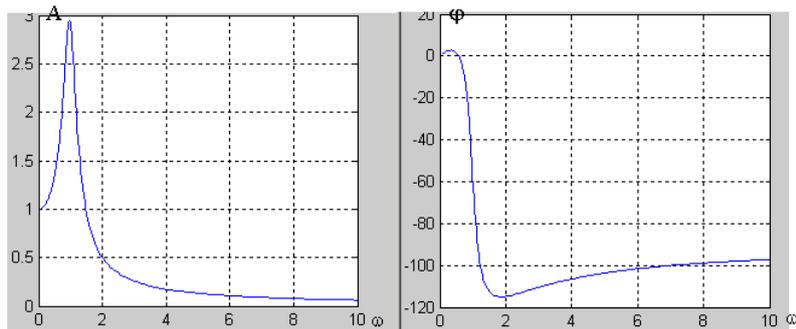
Şəkil 1.1

Tezliyin əl ilə müxtəlif qiymətlərini daxil etmək üçün programın 2-ci sətirini dəyişmək lazımdır. Məsələn, $w = [0 \ 2 \ 4.5 \ \dots]$.

Bundan başqa, adi (yəni xətti miqyasda) tezlik xarakteristikalarını qurmaq üçün **freqs** (·) (ATX) və **angle**(·) (FTX) MATLAB funksiyalarından istifadə etmək olar

Aşağıda $W=(0.6s+1)/(s^2+0.4s+1)$ obyektinə üçün ATX və FTX göstərilmişdir.

```
>> % ADI TEZLIK XARAKTERIS. QURULMASI
b=[0.6 1];a=[1 0.4 1];
[h,w]=freqs(b ,a);
plot(w,abs(h)),grid on,figure % ATX
% FTX nin qurulmasi
F=angle(h); %FTX
F=unwrap(F); % sicrayislarin legv olunmasi
plot(w,F*180/pi) % dereceler ile ifadesi
grid on
```

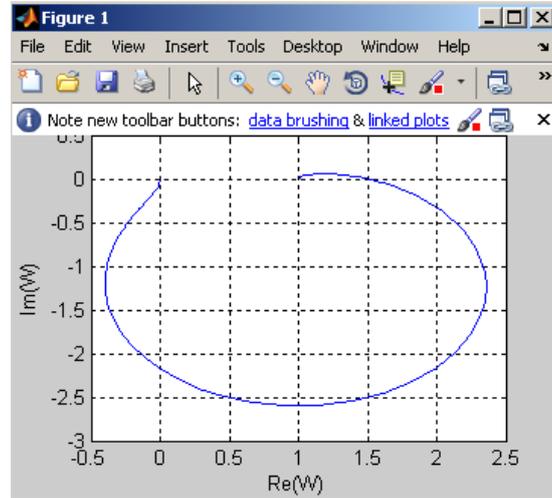


Amplitud-faz tezlik xarakteristikasını qurmaq üçün **plot (freqs (b,a))** funksiyasından istifadə etmək olar. Aşağıda müvafiq tezlik xarakteristikaları göstərilmişdir.

```

>> % AFTX- nin QURULMASI
>> b=[0.6 1];a=[1 0.4 1];
>> h=freqs(b ,a);
>> W=[0 logspace(-2,2,500) inf]; %tezlik vektoru
>> plot(freqs(b,a,W)),grid on,% ATX
>> xlabel('Re(W)')
>> ylabel('Im(W)')

```



2. Loqarifmik tezlik xarakteristikalarının qurulması

1. Obyektin modeli ötürmə funksiyası şəklində verilmişdir:

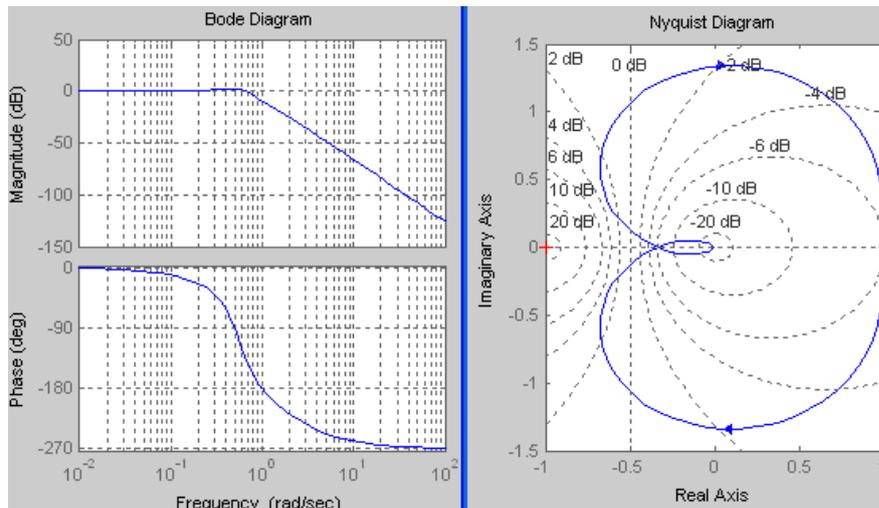
$$W(s) = \frac{0.5}{s^3 + 2s^2 + s + 0.5}$$

Şəkil 1.2-də müvafiq Matlab proqramı, *bode* və *nyquist* diaqramları göstərilmişdir.

```

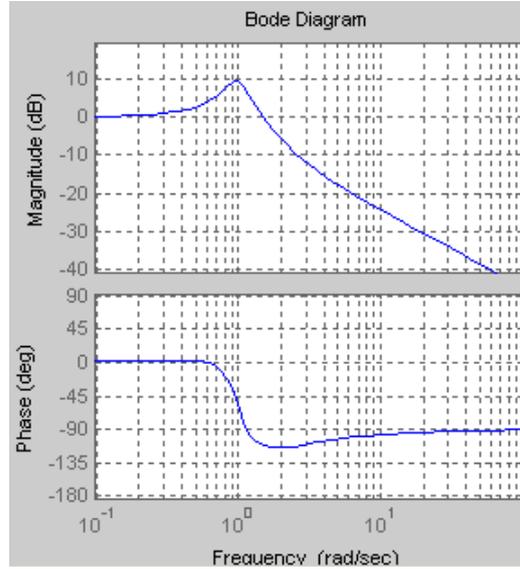
>> % MATLAB proramı
>> % Loq. tezlik xarakteris. qurulması
>> % Oturma funks. verilmişdir
>> s=tf('s');
>> W=0.5/(s^3+2*s^2+s+0.5);
>> bode(W);grid,figure;nyquist(W),grid

```



Şəkil 1.2

Əvvəldə $W=(0.6s+1)/(s^2+0.4s+1)$ obyektı üçün qurulmuş addi tezlik xarakteristikalarını *bode* və *nyquist* funksiyalarının köməyi ilə qurulmuş loqoritmik tezlik xarakteristikaları ilə müqayisə edək. Bu xarakteristikalar aşağıda göstərilmişdir.



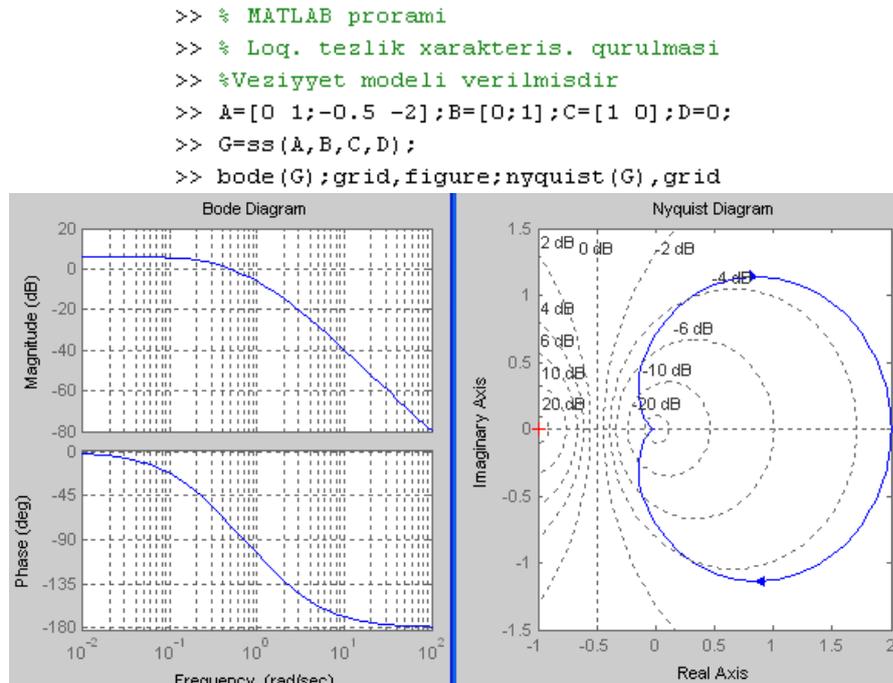
Göründüyü kimi loq. xarakteristikaların dikliyi addi xarakteristikalara nisbətən olduqca azdır. Bu onları yüksək dəqiqliklə xəttləşdirməyə imkan verir.

2. Obyektin tənliyi vəziyyət modeli şəklində verilmişdir:

$$dx/dt = Ax + Bu, \quad y = Cx + Du.$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.5 & -2 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = (1 \ 0), \quad D = 0.$$

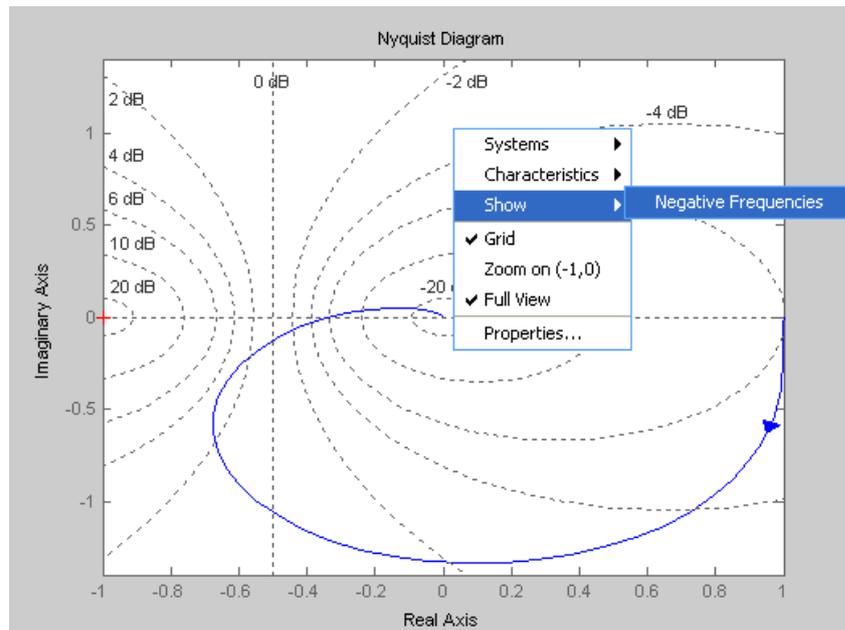
Şəkil 1.3-də müvafiq Matlab proqramı, *bode* və *nyquist* diaqramları göstərilmişdir.



Şəkil 1.3

Lazım gələrsə Nykvist diaqramının mənfi ω tezliklərinə aid olan qolunu ləğv etmək olar. Bu əməliyyat sağ “click” etməklə meydana çıxan menyuda **Show/Negative Frequencies**

sətrinə sol “klik” etməklə yerinə yetirilir. Şəkil 1.4-də uyğun Nykvist diaqramı və menyü göstərilmişdir.



Şəkil 1.4

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilməsi qaydası

1. Hər bir variant 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün nəzərdə tutulub.
2. Variantlar üzrə obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyasını (A, B, C, D) vəziyyət modelini seçməli.
3. Nümunə 1-ə əsasən (şəkil 1.1) $W(s)$ üçün adi tezlik xarakteristikalarını qurmaq.
4. Nümunə 2-yə əsasən (şəkil 1.2) $W(s)$ və (A, B, C, D) vəziyyət modeli üçün (şəkil 1.3) Loqarifmik tezlik xarakteristikalarını qurmali.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qrup üçün tərtib olunur.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə verilmiş modellər.
3. Adi tezlik xarakteristikalarının qurulması üçün Matlab proqramı və xarakteristikalar.
4. Loqarifmik tezlik xarakteristikalarını qurmaq üçün Matlab proqramı və xarakteristikalar.

5. Yoxlama suallar

1. Tezlik xarakteristikalarının təyinatı.
2. Xətti sistemlərdən harmonik siqnalın keçmə xüsusiyyəti.
3. Adi tezlik xarakteristikaları.
4. Loqarifmik tezlik xarakteristikaları.
5. Loqarifmik tezlik xarakteristikalarının üstünlüyü.
6. Matlabda istifadə olunan funksiyalar.

6. Variantlar

Nö	Obyektin ötürmə funksiyası, $W(s)$	Vəziyyət modeli, (A, B, C, D)
1.	$\frac{1}{s^3 + 2s^2 + 0.8s + 1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$

2.	$\frac{1}{(0.6s+1)(2s+1)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ -4 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (2 \ 0), D = 1$
3.	$\frac{0.7s+1}{s^2+1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 1 \\ -3 & -2 & 0 \\ -1 & -3 & -4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 4 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 2 \ 3), D = 0.5$
4.	$\frac{100}{s^2+15s+100}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 6 \end{bmatrix}, C = (1 \ 4), D = 2$
5.	$\frac{s+8}{s^2+6s+8}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (0 \ 1), D = 1$
6.	$\frac{30(s+8)}{s(s+2)(s+4)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -10 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$
7.	$\frac{10}{0.2s+1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, C = (1 \ 1), D = 0.2$
8.	$\frac{2572}{(s+45.3)(s+340.7)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 3 \\ 0 \end{pmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$
9.	$\frac{s+100}{(s+1)(s^2+20s+100)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -10 & -6 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$
10.	$\frac{5}{0.4s+1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.5 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \end{pmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0.1$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

XƏTTİ SİSTEMLƏRİN DAYANIQLIĞININ KÖKLƏR VƏ HURVIS KRİTERİSİ ƏSASINDA TƏDQIQI

İşin məqsədi: İdarəetmə obyektlərinin dayanıqlığının *köklər üsulu* və *Hurvis kriterisi* əsasında təyin olunma üsullarının öyrənilməsi və kompüter modelləşdirilməsi.

1. Nəzəri məlumat

İdarəetmə sisteminin normal fəaliyyət göstərməsi üçün o, ilk növbədə **dayanıqlı** olmalıdır. Obyektin özü dayanıqsız da ola bilər. Məsələn, atom reaktorları, su çəni, çevrilmiş rəqqas, uçuş aparatları və s.

Dayanıqlı obyektin (sistemin) **məxsusi** (daxili) **xüsusiyyəti** olub xarici qüvvələrdən asılı deyil. Bu səbəbdən dayanıqlığı tədqiq etdikdə xarici qüvvələrin təsirini sıfır qəbul edib obyektin **sərbəst hərəkətinə** baxılır.

Riyazi mənada bu, obyektin diferensial tənliyində $u=f=0$ qəbul edib onu sıfır bərabər olmayan başlanğıc şərtlərində həll etmək deməkdir. Əgər n tərtibi tənlikdə bütün $y(t), y'(t), \dots, y^{(n-1)}(t)$ həlləri üçün

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} y'(t) = 0, \dots, \lim_{t \rightarrow \infty} y^{(n-1)}(t) = 0 \quad (1)$$

şərti ödənilirsə belə obyekt dayanıqlı hesab olunur. Yəni zaman artdıqca bütün həllər **tarazlıq vəziyyəti** olan 0 nöqtəsinə yığılır. (1) bərabərliyi **assimptotik** dayanıqlıq şərti adlanır.

Xətti obyektin sərbəst hərəkəti vəziyyət modeli şəklində aşağıdakı şəkildə verilir:

$$\frac{dx}{dt} = Ax, \quad x(0) = x_0 \neq 0.$$

Burada $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - vəziyyət vektorudur. Tarazlıq nöqtəsində sürət $dx/dt=0$ olduğundan $Ax=0$ ödənilməlidir. Matris $A \neq 0$ olduğundan $x=0$ olmalıdır. Deməli, xətti obyektlərin yeganə tarazlıq vəziyyəti (nöqtəsi) olub o, da vəziyyət fəzasının koordinat başlanğıcında yerləşir.

Tarazlıq vəziyyəti iki tip olur:

- **dayanıqlı tarazlıq vəziyyəti.**
- **dayanıqsız tarazlıq vəziyyəti.**

Sistemin dayanıqlı olması üçün A matrisi dayanıqlı matris olmalıdır. Yəni həll $x(t) = e^{At} x_0$ aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = 0.$$

Dayanıqlı matris üçün $\det(sI - A) = 0$ xarakteristik tənliyinin s_i kökləri (A matrisinin məxsusi ədədləri) $Re(s_i) < 0$ şərtini ödəməlidir.

Bundan başqa, xətti sistem o vaxt dayanıqlı olur ki, onun çəki $v(t)$ funksiyasının sonsuz intervalda inteqralı ∞ -dan kiçik olsun:

$$\int_0^{\infty} |v(t)| dt < \infty. \quad (2)$$

Sahənin məhdud olması üçün $v(t) \rightarrow 0$ sıfır yaxınlaşmalıdır. Məsələn, inteqrallayıcı $W=k/s$ bəndinin çəki funksiyası $v(t) = k$ olduğundan (2) inteqralı ∞ -a bərabərdir. Bu inteqrallayıcı bəndin dayanıqsız obyekt olduğunu göstərir.

Praktiki baxımdan, giriş signalı az dəyişdikdə çıxış signalı da az dəyişərsə belə obyekt dayanıqlı hesab olunur.

Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsində obyektin dayanıqlığı onun riyazi modeli (tənliyi) əsasında təyin olunur. Dinamik obyektlər adətən diferensial tənliklərlə yazılır.

Dayanıqlığın təyin olunmasının əsas üsulları:

1. Obyektin (sistemin) tənliyinin bilavasitə həlli və (1)(və ya (2)) **assimptotik dayanıqlıq şərtinin** yoxlanılması.

2. Xarakteristik tənliyin köklərinə əsasən- **köklər üsulu**.

3. Cəbri dayanıqlıq kriteriləri -**Hurvis, Raus və s.**

4. Tezlik kriteriləri -**Mixaylov, Naykvist və s.**

Laboratoriya işində 2 və 3 üsullar tədqiq olunur.

1. Köklər üsulu. Xətti obyektin və ya ATS-in dayanıqlı olması üçün onun

$$D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (3)$$

xarakteristik tənliyinin (ötürmə funksiyasının məxrəci) köklərinin (sistemin qütbləri) həqiqi hissələri (Real) sıfırdan kiçik olmalıdır, yəni $\text{Re}(s_i) < 0$ olmalıdır. Başqa sözlə dayanıqlı obyektin xarakteristik tənliyinin bütün kökləri köklər müstəvisinin sol tərəfində yerləşməlidir. Yəni köklər **sol köklər olmalıdır**.

Dayanıqlığın zəruri şərti isə (3) tənliyinin bütün a_i əmsallarının sıfırdan böyük olmasıdır

Aydın ki, köklər üsulundan istifadə etmək üçün verilmiş (3) xarakteristik tənliyini həll edib köklər üçün $\text{Re}(s_i) < 0$ şərtinin ödənilməsini yoxlamaq lazımdır.

MATLAB-da polinomun köklərini təyin etmək üçün **roots** (.) funksiyasından istifadə olunur.

2. Nümunə 1

Xarakteristik tənlik: $D(s) = s^4 + 8s^3 + 17s^2 + 160s + 300 = 0$. Bütün əmsallar sıfırdan böyük olduğundan dayanıqlığın zəruri şərti ödənilir. Kafi şərti yoxlayaq. Bu məqsədlə aşağıda MATLAB proqramı verilmişdir.

```
>> % MATLAB proqramı
>> % Dayanıqlığın köklər üsulu ilə təyini
>> Kokler=roots([1 8 17 160 300]) %Koklerin təyini
```

```
Kokler =
-7.8158
 0.9079 + 4.2857i
 0.9079 - 4.2857i
-2.0000
```

Qoşma kompleks köklərin həqiqi hissələri 0.9079 olub $\text{Re}(s_{2,3}) < 0$ şərtini ödəmədiyindən verilmiş xarakteristik tənliklə yazılan obyekt dayanıqsızdır.

Köklər müstəvisində yerləşmə sxemini görmək üçün **pzmap** (W) funksiyasından istifadə etmək olar.

```

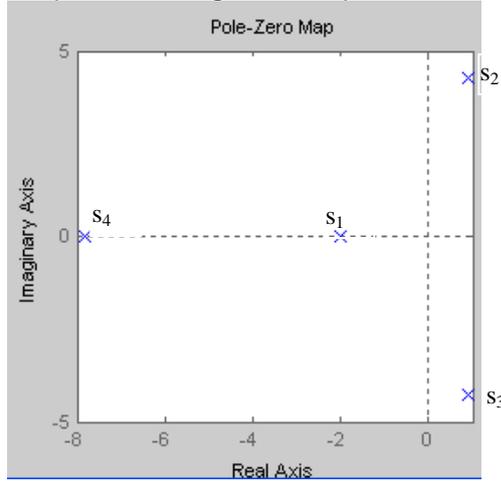
>> % MATLAB programı
>> % Köklərin paylanma sxemi
>> W=tf(1,[1 8 17 160 300]);pole(W),pzmap(W)

ans =

-7.8158
 0.9079 + 4.2857i
 0.9079 - 4.2857i
-2.0000

```

Köklərin paylanma sxemi şəkil 1.1-də göstərilmişdir.

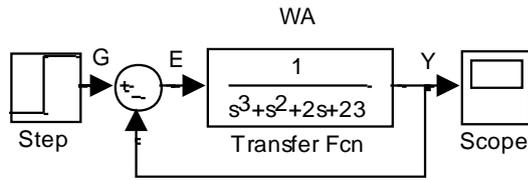


Şəkil 1.1

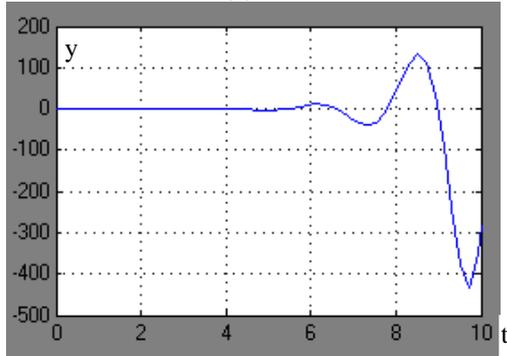
Göründüyü kimi, köklərin ikisi s_2, s_3 sağ yarımmüstəvidə yerləşdiyindən obyekt dayanıqsızdır.

Açıq ATS-in W_A ötürmə funksiyası verilsə uyğun qapalı ATS-in ötürmə funksiyasını $W = \text{feedback}(W_A, -1)$ funksiyasının köməyi ilə təyin etmək olar. Sonra $\text{pole}(W)$ funksiyasının köməyi ilə sistemin qütblərini, yəni $D(s) = 0$ xarakteristik tənliyinin kökləri hesablanır.

Şəkil 1.2-də ATS-in sxemi (a), keçid xarakteristikası (b) və Matlab proqramı göstərilmişdir.



(a)



b)

Şəkil 1.2

```

>> % MATLAB proqrami
>> % Day. kokler usulu ile teyini
>> num=1;den=[1 1 2 23];
>> WA=tf(num,den);
>> W=feedback(WA,-1);
>> pole(W)

```

ans =

```

-2.9103
0.9551 + 2.5782i
0.9551 - 2.5782i

```

$\text{Re}(s_{2,3}) = 0.9551 > 0$ olduğundan baxılan ATS dayanıqsızdır. ATS-in dayanıqsız olması y keçid xarakteristikasından da aydın görünür.

Obyektin sərbəst hərəkəti vəziyyət modeli

$$dx/dt = Ax$$

şəklində verilərsə uyğun xarakteristik tənliyi aşağıdakı ifadənin köməyi ilə almaq olar:

$$\det(sI - A) = s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_n = 0.$$

$I - n \times n$ ölçülü vahid matris A xarakteristik matris adlanır. MATLAB proqramı $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.5 & -2 \end{bmatrix}$ matrisi üçün aşağıda göstərilmişdir.

```

>> % MATLAB proqrami
>> % Dayanıqlığın kokler usulu ile teyini
>> % Vəziyyət modelindən xarakt. tənliyin
>> % alınması
>> syms s;
>> I=[1 0;0 1] %Vahid matrisin yaradılması

I =

    1    0
    0    1

>> A=[0 1;-0.5 -2] %Xarakt. matrisin yaradılması

A =

    0    1.0000
-0.5000 -2.0000

>> D=det(s*I-A) %Xarakt. tənlik

D =

s^2+2*s+1/2

>> D=expand(D) %İfadənin sadələşdirilməsi

D =

s^2+2*s+1/2

>> Kokler=roots([1 2 1/2])

```

Kokler =

-1.7071
-0.2929

Göründüyü kimi hər iki kök üçün $Re(s_1)=-1.707<0$, $Re(s_2) =-0.293<0$ şərti ödənildiyindən obyekt dayanıqlıdır. Bu halda ilkin D polinomu aşkar şəkildə alındığından sadələşmə **expand(.)** baş verməmişdir.

$D(s_i)=0$ xarakteristik tənliyinin s_i kökləri A matrisinin məxsusi ədədləri olduğundan bunları bilavasitə tapmaq mümkündür. Bu əməliyyat **eig (.)** funksiyasının köməyi ilə cox sadə yerinə yetirilir

```
>> % MATLAB proramı  
>> % Matrisinin məxsusi qiymet-  
>> % -lerinin tətini  
>> A=[0 1;-0.5 -2];  
>> s=eig(A)
```

```
s =  
  
-0.2929  
-1.7071
```

Nəticə əvvəlki üsul ilə eynidir.

2. Hurvis dayanıqlıq kriterisi. Bu kriteri (meyar) 1895-ci ildə alman riyaziyyatçısı A.Hurvis tərəfindən təklif edilmişdir. Bu kriteridən istifadə etmək üçün obyektin xarakteristik çoxhədlisi verilməlidir:

$$D(s) = a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_n \quad (4)$$

Bu polinomun a_i əmsallarından xüsusi matris tərtib olunur:

$$H = \begin{bmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 \dots 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 \dots 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 \dots 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \dots a_n \end{bmatrix} .$$

(5)

Matrisin tərtib edilmə qaydası. Matrisin baş diaqonalı üzrə soldan sağa doğru a_1 -dən a_n -ə qədər ardıcılıq ilə bütün əmsallar yazılır. Hər bir diaqonal elementindən yuxarı qalxdıqca əmsalların indeksi artır, aşağı düşdükcə isə azalır. n -dən böyük və sıfırdan kiçik indeksli əmsalların yerinə sıfırlar yazılır.

Xətti sistemin dayanıqlığın zəruri və kafi şərti H matrisinin müsbət müəyyən matris olmasıdır, $H>0$. Bu halda (4) xarakteristik tənliyinin kökləri üçün əvvəldə baxdığımız $Re(s_i) < 0$ dayanıqlıq şərti ödənilir.

H matrisindən istifadə etdikdə (4) tənliyinin köklərini tapmaq tələb olunmur və H matrisinin müsbət müəyyənliyini təyin etmək kifayətdir. Bu əməliyyat polinomun köklərinin tapılmasından sadə olduğundan Hurvis kriterisi praktiki tətbiqlərdə geniş istifadə olunur.

Matris müsbət müəyyən matrisdirsə:

- bütün baş (diaqonal) minorları sıfırdan böyükdür;
- uyğun $Q(s) = \det(sI-H)=0$ xarakteristik tənliyinin əmsalları sıfırdan fərqli və növbələşən işarəyə malik olmalıdır;
- bütün məxsusi λ_i ədədlərinin həqiqi hissələri sıfırdan böyük olmalıdır: $\text{Re}(\lambda_i) > 0$.

Qeyd edək ki, λ_i -lər eyni zamanda $Q(s)=0$ tənliyinin kökləridir;

Ədədi matrisin məxsusi λ_i ədədlərini təyin etmək üçün MATLABda **eig** (.) unksiyasından istifadə edilir.

2. Nümunə 2

1. Məxsusi λ_i ədədlərinin hesablanmasına əsaslanan üsul.

Obyektin xarakteristik çoxhədlisi:

$$D(s) = s^4 + 8s^3 + 17s^2 + 160s + 300 .$$

Burada $a_0 = 1, a_1 = 8, a_2 = 17, a_3 = 160, a_4 = 300$.

H matrisini tərtib edirik:

$$H = \begin{bmatrix} 8 & 160 & 0 & 0 \\ 1 & 17 & 300 & 0 \\ 0 & 8 & 160 & 0 \\ 0 & 1 & 17 & 300 \end{bmatrix} .$$

Matlab proqramı

```
>> % MATLAB proqramı
>> % Dayanıqlığın təyini
>> % HURVIS kriterisi
>> H=[8 160 0 0;1 17 300 0; 0 8 160 0;
      0 1 17 300] % Hurvis matrisinin yaradılm
```

H =

```
      8    160      0      0
      1     17    300      0
      0      8    160      0
      0      1     17    300
```

```
>> lyamda =eig(H) % Məxsusi qiymet. təyini
```

lyamda =

```
300.0000
175.2574
-7.5864
17.3290
```

Göründüyü kimi üçüncü məxsusi ədəd $\lambda_3 = -7.5864$ sıfırdan kiçik olduğundan onun üçün $\text{Re}(\lambda_3) > 0$ şərti ödənilmir. Deməli obyekt dayanıqsızdır. Bu nəticə köklər üsulu ilə alınmış nəticə ilə eynidir.

2. Baş minorların hesablanmasına əsaslanan üsul.

Obyektin xarakteristik polinomu:

$$D(s) = s^4 + 3s^3 + 5.5s + 6s + 2.5, \quad n = 4.$$

Hurvis matrisini tərtib edirik:

$$H = \begin{bmatrix} 3 & 6 & 0 & 0 \\ 1 & 5.5 & 2.5 & 0 \\ 0 & 3 & 6 & 0 \\ 0 & 1 & 5.5 & 2.5 \end{bmatrix}.$$

Müvafiq Matlab proqramını aşağıda göstərilmişdir.

```
>> % MATLAB proqrami
>> % Hurvis dayanıqlıq kriterisi
>> % Bas determinantların (minorların) hesablanması
>> H=[3 6 0 0;1 5.5 2.5 0;0 3 6 0;...
0 1 5.5 2.5] % Hurvis matrisi
H =
    3.0000    6.0000         0         0
    1.0000    5.5000    2.5000         0
         0    3.0000    6.0000         0
         0    1.0000    5.5000    2.5000
>> H1=H(1:1,1:1);H2=H(1:2,1:2);H3=H(1:3,1:3);H4=H(1:4,1:4); % Bas matrislə
>> D1=det(H1);D2=det(H2);D3=det(H3);D4=det(H4);% Bas determinantlar
>> D=[D1,D2,D3,D4]
D = 3.0000  10.5000  40.5000  101.2500
```

Bütün diaqonal determinantları $D_i \equiv \Delta_k > 0$ olduğundan H müsbət müəyyən matrisdir. Deməli, baxılan obyekt dayanıqlıdır.

3. Hurvis matrisinin avtomatik formalaşdırılması.

Aşağıda Hurvis matrisini avtomatik formalaşdırın proqramın mətni göstərilmişdir.

```
>> % Hurvis dayanıqlıq kriterisi
% Xarakteristik tenliyin emsallarının daxil edilmesi
D=[2 7 13 20.56];
% Massivin ölçüsü
[I,N]=size(D)
>> % Sifir elementli NxN ölçülü matrisin yaradılması
g=zeros(N,N)
>> % Hurvis matrisinin tek setirlerinin doldurulması
s=0;
for i=1:2:N
j=1;
j=j+s;
r=0;
```

```

for r=2:2:N
g(i,j)=D(r);
j=j+1;
end
s=s+1;
end
>> [g]
>> % Hurvis matrisinin cut setirlerinin doldurulmasi
>> s=0;
for i=2:2:N
j=1;
j=j+s;
r=0;
for r=1:2:N
g(i,j)=D(r);
j=j+1;
end
s=s+1;
end
g=g(1:N-1,1:N-1);
>> [g]
>> %Bas minorlarin hesablanmasi
minor=1;
for i=1:N-1
dd=det(g(1:i,1:i));
if dd<0
minor=0;
end
[dd]
end
>> % Netice
>> if minor==0
disp('DAYANIQSIZ');
else
disp('DAYANIQLI');
end
DAYANIQLI

```

Xüsusi hallar aşağı $n \leq 3$ tərtibli obyektlər üçün $H > 0$ şərtini yoxlamadan aşağıdakı münasibətlərə əsasən dayanıqlığı təyin etmək olar:

- 1) $n = 1$. $a_0 > 0, a_1 > 0$.
- 2) $n = 2$. $a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0$.
- 3) $n = 3$. $a_i > 0, i = 1, 2, 3$. $a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$.

Nəticə. Bir və iki tərtibli obyektləri dayanıqlı olması üçün xarakteristik tənliyin əmsallarının sıfırdan böyük olması kifayətdir. Yəni bu halda zəruri şərt həm də kafi şərtidir.

Üçüncü tərtib obyektlərin dayanıqlı olması üçün əlavə olaraq orta a_1, a_2 əmsallarının hasili kənar a_0, a_3 əmsallarının hasilindən böyük olmalıdır.

Aşağıda xarakteristik tənliyin daxil olunan a_i əmsalları əsasında H matrisini avtomatik formalaşdıran proqramın mətni verilmişdir.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Hər-bir variant 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün nəzərdə tutulub.
2. Variantlar üzrə obyektin $D(s)$ xarakteristik tənliyini seçməli.
3. Matlab proqramının köməyi ilə dayanıqlığı köklər üsulu ilə nümunəyə əsasən təyin etməli.
4. Köklərin paylanma sxemini qurmalı.
5. Matlabda Hurvis kriterisinə əsasən nümunəyə əsasən dayanıqlığı təyin etməli.

4. Hesabatın məzmunu

5.

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qrup üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə xarakteristik tənlik.
3. Matlab proqramları.
4. Köklərin paylanma sxemi.

5. 5. Yoxlama sualları

1. Dayanıq anlayışı.
2. Dayanıqlığın təyin olunma üsulları.
3. Köklər üsulu.
4. Hurvis kriterisi.
5. Matlab funksiyaları.

6. Variantlar

Obyektin və ya ATS-in xarakteristik tənliyi, $D(s) = 0$.

1.	$2s^3 + 6s^2 + 10s + 15$	6.	$s^4 + s^3 + 2s^2 + 10s - 8$
2.	$s^4 + 3s^3 + 5.6s^2 + 7s + 2.5$	7.	$s^3 + 10.4s^2 + 36.2s + 40.8$
3.	$s^2 + 8s + 2$	8.	$s^3 + 9s^2 + 27s + 27$
4.	$s^3 + 4s^2 + 6s + 7$	9.	$s^4 + 9.5s^3 + 30.6s^2 + 37s + 12$
5.	$s^3 + 2s^2 + 14s + 20$	10.	$s^4 + 3s^3 + 4s^2 + 4s + 10$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

LABORATORİYA İŞİ №9
(2 saat)

DAYANIQLIĞIN NAYKVİST TEZLİK KRİTERİSİ ƏSASINDA TƏDQIQI

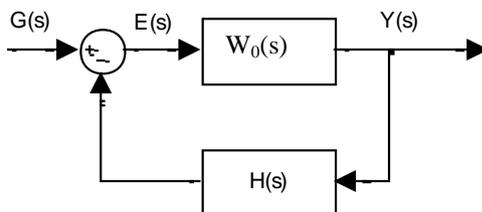
İşin məqsədi: Xətti tənzimləmə sistemlərinin dayanıqlığının NAYKVİST tezlik kriterisi (meyarı) əsasında tədqiqi və kompüter modelləşdirilməsi.

1. Nəzəri məlumat

1932-ci ildə əks əlaqəli elektron gücləndiricilərinin dayanıqlığını təyin etmək məqsədi ilə amerika alimi H.Naykvist tezlik xarakteristikalarına əsaslanan dayanıqlıq kriterisi təklif etmişdir.

Burada qapalı ATS-in dayanıqlığı uyğun açıq ATS-in amplitud-faza tezlik xarakteristikasının (AFTX) qurulması əsasında qrafoanalitik təyin edilir. Baxılan kriteri dayanıqlıq ehtiyatlarını və gecikməyə malik sistemlərin dayanıqlığını da asanlıqla təyin etməyə imkan verir. Bundan başqa, açıq ATS adətən elementar bəndlərdən ibarət olduğundan onun ötürmə funksiyası sadə alınır.

Şəkil 1.1-də qapalı birölçülü ATS-in ümumiləşdirilmiş sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.1

Dayanıqlığı tədqiq etmək üçün lazım olan açıq sistemin ötürmə funksiyası:

$$W_A(s) = W_0(s)H(s) = \frac{M_A(s)}{D_A(s)}. \quad (1)$$

Əks əlaqə $H(s)=1$ olduqda $W_A(s)=W_0(s)$.

Naykvist kriterisi üç halı əhatə edir:

1. Açıq ATS dayanıqlıdır. $D_A(s)=0$ xarakteristik tənliyinin bütün s_i kökləri (açıq ATS-in qütübləri) sol köklərdir, yəni $\text{Re}(s_i) < 0$.

2. Açıq ATS dayanıqsızdır. $D_A(s)=0$ tənliyinin m sayda sağ kökləri mövcuddur.

3. Açıq ATS neytraldır (dayanıqlıq sərhəddindədir).

Neytral sistemlər öz növbəsində iki qrupa ayrılır:

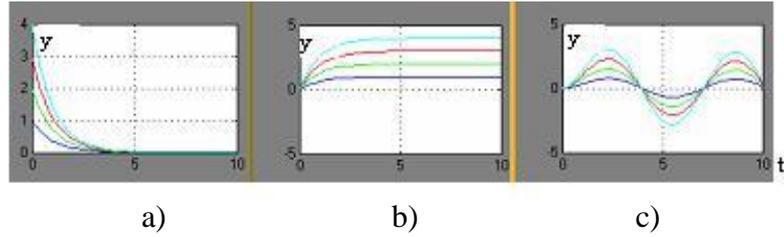
a) *aperiodik dayanıqlıq sərhəddi* (astatik sistem). $D_A(s)=0$ tənliyinin ν sayda sıfır $s_i=0$ kökləri mövcuddur, qalan köklər isə sol köklərdir. ν – astatizm dərəcəsi adlanır.

b) *rəqsi dayanıqlıq sərhəddi* (konservativ sistem) $D_A(s)=0$ tənliyinin sırf xəyali $s_{1,2} = \pm j\omega$ kökləri mövcuddur, qalan köklər isə sol köklərdir.

Şəkil 1.2 a-da dayanıqlı, b-də aperiodik dayanıqlıq sərhəddində və c-də rəqsi dayanıqlıq sərhəddində olan sistemlərdə keçid xarakteristikaları göstərilmişdir. Modelləşdirmə aşağıdakı ötürmə funksiyaları əsasında aparılmışdır:

$$W_D(s) = \frac{K}{Ts+1}, \quad W_A(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}, \quad W_R(s) = \frac{K}{(T_1s^2+1)(Ts+1)}.$$

$$K=1, \quad T=1s, \quad T_1=1s.$$



Şəkil 1.2

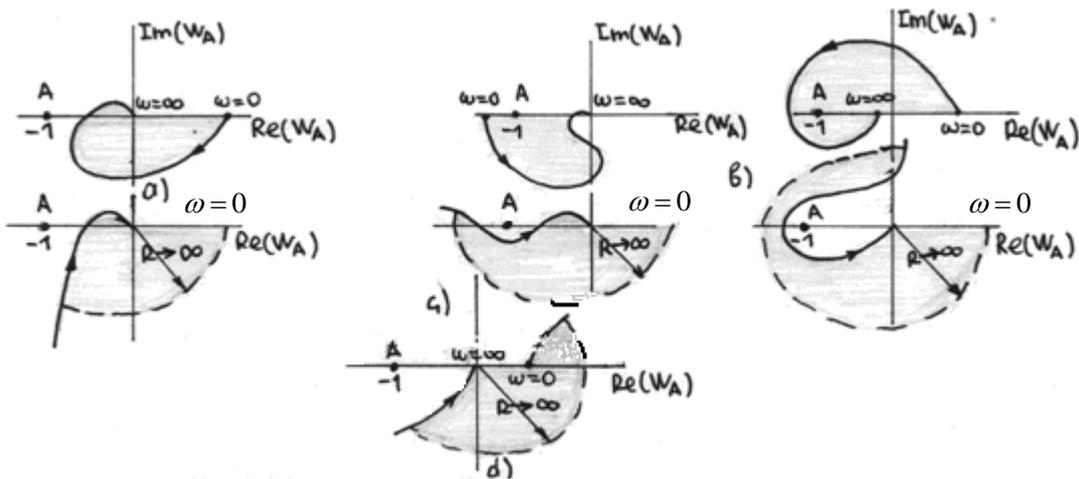
Dayanıqlı sistemdən fərqli olaraq neytral sistemlərdə müxtəlif təkanlarda (impuls) qərarlaşma səviyyələri də müxtəlif olur.

1-ci hal. Açıq sistem dayanıqlıdırsa, uyğun qapalı sistemin də dayanıqlı olması üçün açıq sistemin AFTX-sı (Naykvist hodoqrafı) ω tezliyinin 0-dan ∞ -ğa qədər dəyişdikdə $A(-1; j0)$ nöqtəsini əhatə etməməlidir.

2-ci hal. Açıq sistem dayanıqsızdırsa, uyğun qapalı sistemin dayanıqlı olması üçün açıq sistemin AFTX-sı müsbət istiqamətdə (saat əqrəbinin əksinə) $A(-1; j0)$ nöqtəsini $m/2$ dəfə əhatə etməlidir (tam dövr 2π rad.). Yəni $m: \pi$, rad.

3-cü hal. Açıq sistem astatik olduqda qapalı sistemin dayanıqlı olması üçün açıq sistemin AFTX-sı absis oxunun müsbət hissəsindən başlayan $R \rightarrow \infty$ sonsuz radiuslu çevrə ilə qapadıqdan sonra $A(-1; j0)$ nöqtəsini əhatə etməməlidir. Konservativ halda $R \rightarrow \infty$ çevrəsi kəsilmə ω nöqtəsində ayrılan budaqlar arasında saat əqrəbi istiqamətində (mənfi istiqamət) çəkilir.

Şəkil 1.3-də dayanıqlı Naykvist diaqramları göstərilmişdir. a – dayanıqlı, b – dayanıqsız, $\zeta - \nu = 1, 2, 3$ üçün astatik, d – isə konservativ hallara uyğundur.



Şəkil 1.3. Dayanıqlı qapalı ATS üçün Naykvist diaqramları

Naykvist hodoqrafı kritik $A(-1; j0)$ nöqtədən keçərsə qapalı ATS dayanıqlıq sərhəddində olur.

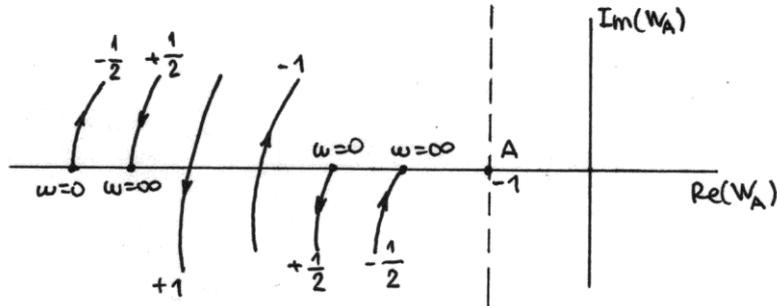
Ümumiləşdirilmiş Naykvist kriterisi. Mürəkkəb hodoqraflar üçün yuxarıdakı üç hal əhatə edən **ümumiləşdirilmiş Naykvist dayanıqlıq kriterisi** də mövcuddur:

Qapalı ATS-in dayanıqlı olması üçün uyğun açıq sistemin AFTX-sı (Naykvist hodoqrafı) həqiqi oxun $(-\infty; -1)$ parçasından müsbət və mənfi istiqamətdə keçidlərinin cəmi $m/2$ ədədinə bərabər olmalıdır.

Yuxarıdan aşağıya keçid müsbət, əksinə isə mənfi qəbul olunub. Bundan başqa, əgər AFTX $\omega=0$ qiymətində göstərilən parçadan başlayırsa və ya $\omega=\infty$ qiymətində bu parçada dayanırsa belə hallar yarımkeçid ($1/2$) kimi qəbul olunur.

Dayanıqlı və neytral (dayanıqlıq sərhəddində olan) açıq sistemlər üçün $m=0$ olduğundan keçidlərin cəmi $0/2=0$ olmalıdır. Yəni hodoqraf $(-\infty; -1)$ parçasını kəsməməlidir.

Şəkil 1.4-də $(-\infty; -1)$ intervalında mümkün keçidlər göstərilmişdir.



Şəkil 1.4. Ümumiləşdirilmiş Nykvist kriterisindən istifadə etmək üçün keçidlərin tipləri

Beləliklə Nykvist kriterisindən istifadə etmək üçün:

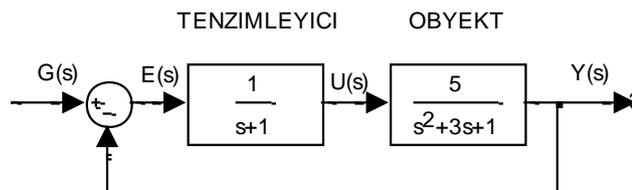
1. Açıq ATS-in W_A ötürmə funksiyası məlum olmalıdır.
2. Açıq ATS-in yuxarıda göstərilən 3 haldan (dayanıqlı, dayanıqsız, neytral) hansına aid olması məlum olmalıdır. Bu məqsədlə açıq sistemin $D_A(s) = 0$ (W_A ötürmə funksiyasının məxrəci) xarakteristik tənliyinin köklərini Matlabda **roots** (D_A) funksiyasının (və ya **pole** (W_A) funksiyasının) köməyi ilə tapmaq kifayətdir.

Matlabda dayanıqlığı təhlil etmək üçün **nyquist** (W_A) funksiyasından istifadə olunur. Xüsusi *menyudan* istifadə etməklə dayanıqlıq ehtiyatları və qapalı ATS-in dayanıqlı olub-olmaması haqqında məlumat almaq mümkündür.

2. Nümunə

1. Açıq ATS dayanıqlıdır.

Şəkil 1.5-də göstərilən ATS-in dayanıqlığını yoxlayaq.



Şəkil 1.5

Açıq ATS-in ötürmə funksiyası:

$$W_A(s) = \frac{5}{(s+1)(s^2+3s+1)}$$

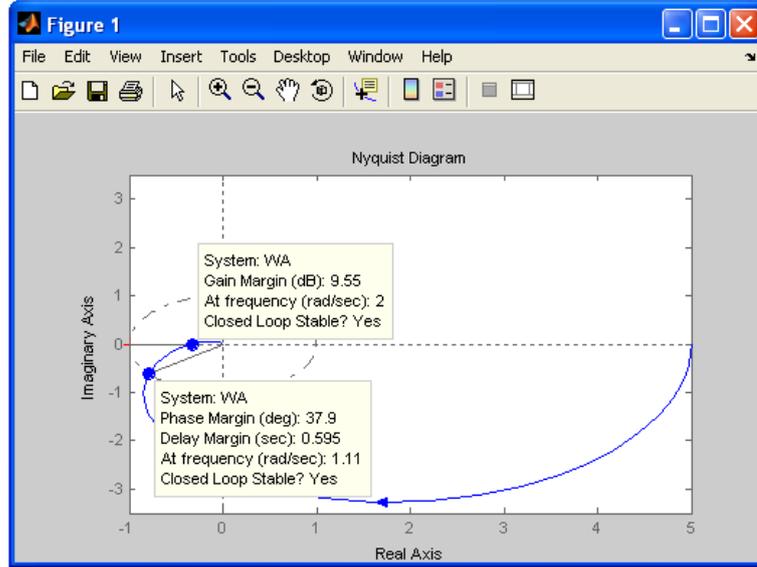
$D_A(s) = 0$ xarakteristik tənliyinin kökləri: $s_1 = -1$, $s_2 = -0.38$, $s_3 = -2.62$ mənfi olduğundan (sol köklər) açıq sistem dayanıqlıdır. Deməli baxılan sistem 1-ci hala uyğundur.

Şəkil 1.6-da müvafiq Matlab proqramı və Nykvist diaqramı göstərilmişdir.

```

>> %MATLAB programı
>> %Naykvist kriterisi
>> %Aciq ATS dayanıqlıdır
>> s=tf('s');
>> W=5/((s+1)*(s^2+3*s+1));
>> nyquist(WA)

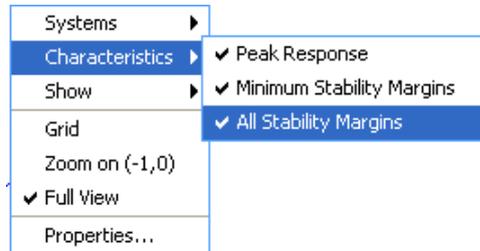
```



Şəkil 1.6

Göründüyü kimi, Naykvist hodoqrafı (əyrisi) $(-1; j0)$ nöqtəsini əhatə etmir. Şəkil 1.7-də göstərilmiş *menyunun* köməyi ilə dayanıqlıq ehtiyatlarını, müvafiq tezlikləri və hətta qapalı ATS-in dayanıqlı olub-olmaması haqqında müvafiq pəncərələrdə məlumat almaq mümkündür. Menyunun **Show/Negative Frequencies** sətirinə sol “click” etməklə mənfi ω tezliklərinə uyğun gələn Naykvist diaqramının budağı ləğv edilmişdir.

Menyu Naykvist diaqramının boş sahəsinə sağ “click” etməklə meydana çıxır.



Şəkil 1.7. Menyü

Şəkil 1.6-da:

Birinci pəncərə:

Gain Margin (dB): 9.55 – modula görə dayanıqlıq ehtiyatı;

At frequency (rad/sec): 2 – fazanın $\varphi=-180$ olduğu tezlik;

Closed Loop Stable? Yes – qapalı kontur (ATS) dayanıqlıdır? Hə.

İkinci pəncərə:

Phase Margin (deg): 37.9 – fazaya görə dayanıqlıq ehtiyatı (dərəcə);

Delay Margin (sec): 0.595 – gecikməyə görə dayanıqlıq ehtiyatı (kritik gecikmə);

Closed Loop Stable? Yes – qapalı kontur dayanıqlıdır? Hə.

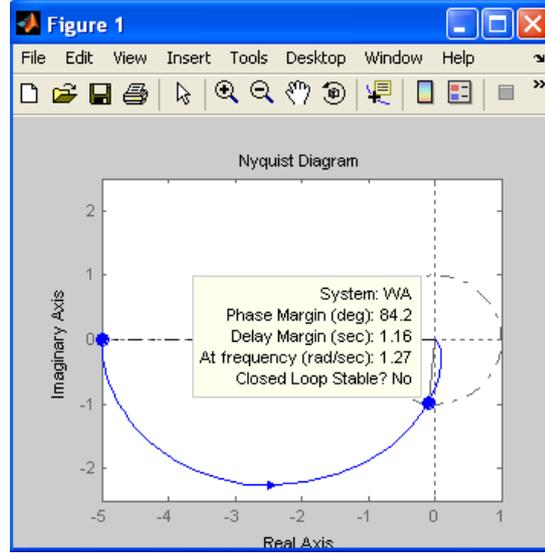
2. Açıq ATS dayanıqsızdır. Açıq sistemin ötürmə funksiyası:

$$W_A(s) = \frac{10}{(s+1)(s^3 - 4s^2 + 5s - 2)}$$

Sağ köklər $s_2 = s_3 = +1, s_4 = +2$. Deməli $m=3$.

Şəkil 1.8-də Matlab proqramı və Nykvist hodoqrafı göstərilmişdir.

```
>> %MATLAB proqramı
>> %Nykvist kriterisi
>> %Aciq ATS dayanıqsızdır
>> WA=10/((s+1)*(s^3-4*s^2+5*s-2));
>> nyquist(WA)
```



Şəkil 1.8

Göründüyü kimi, Nykvist qodoqrafı $(-1; j0)$ nöqtəsini müsbət istiqamətdə $\frac{1}{2}$ dəfə, yəni $1 \cdot \pi$ rad əhatə edir. Tərifə görə ATS-in dayanıqlı olması üçün $m/2=3/2=1.5$ dəfə, yəni $2\pi + \pi=3\pi$ rad (tam və yarım) əhatə etməlidir. Deməli, uyğun qapalı ATS dayanıqsızdır. Bu nəticə menyunun köməyi ilə alınmış pəncərədə də göstərilmişdir.

3. Açıq ATS neytraldır.

3.1. Astatik hal (aperiodik dayanıqlıq sərhəddi).

Açıq astatik sistemin ötürmə funksiyası:

$$W_A(s) = \frac{4000(0.2s + 1)^2}{s(2.88s + 1)^2(0.025s + 1)(0.01s + 1)}$$

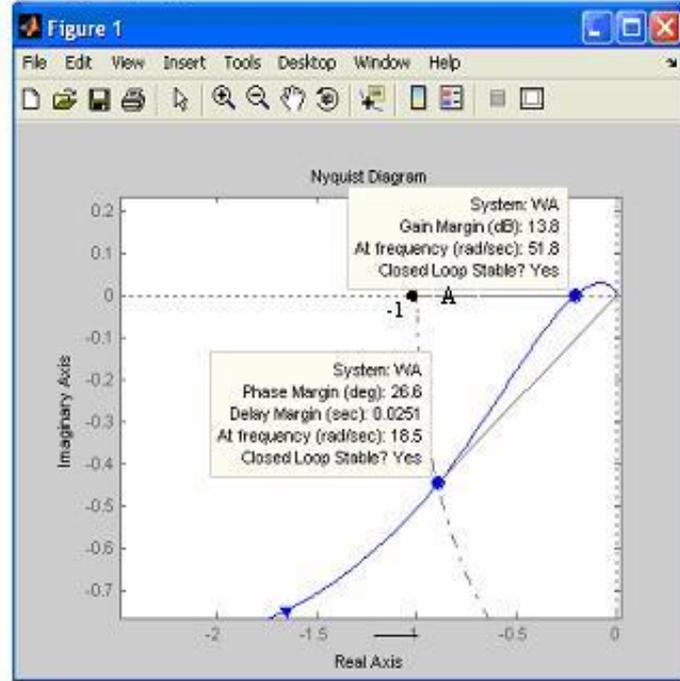
Bu halda astatizm dərəcəsi $\nu=1$.

Şəkil 1.9-da Matlab proqramı və Nykvist diaqramı göstərilmişdir.

```

>> %MATLAB proqramı
>> %Naykvist kriterisi
>> %Açıq ATS əstatikdir-mu=1
>> s=tf('s');
>> WA=4000*(0.2*s+1)^2/(s*(2.88*s+1)^2*(0.025*s+1)*(0.01*s+1));
>> N=logspace(1,3,100);
>> nyquist(WA,N)

```



Şəkil 1.9

Göründüyü kimi, $\nu=1$ qiymətində Naykvist hodoqrafı $(-1; j0)$ nöqtəsini əhatə etmir. Deməli qapalı ATS dayanıqlıdır. Bu nəticə menyunun köməyi ilə alınmış 1-ci və 2-ci pəncərələrdə təsdiqlənmişdir – **Closed Loop Stable? Yes** (Qapalı kontur (yəni qapalı ATS) dayanıqlıdır mı? Hə).

Qeyd! Naykvist kriterisini **nyquist** (W_A) kimi yazdıqda **absis** və **ordinat** oxlarında olan miqyas çox böyük olduğundan diaqramın görünüşü başa düşülmür. Bu xüsusiyyəti aradan qaldırmaq məqsədi ilə tezliyi əlverişli diapazonda vermək lazımdır (adətən kiçik interval götürülür). Bu əməliyyat **logspace** (n_1, n_2, N) funksiyasının köməyi ilə yerinə yetirilir. Uyğun tezliklər $10^{n_1} \div 10^{n_2}$, rad/s, N – bölgülərin sayı. Yuxarıdakı proqramda $n = 1, n = 3, N = 100$ qəbul edilmişdir. Bu səbəbdən Naykvist diaqramı $\omega = 10 \div 1000$ rad/s tezlik diapazonunda alınmışdır.

Bundan başqa $(-1; 0)$ intervalında qodoqrafı aydın görmək üçün menyuda olan **Zoom on** $(-1; 0)$ sətirinə sol “click” etmək olar.

3.1.2. Açıq astatik ATS-in ötürmə funksiyası:

$$W_A(s) = \frac{2}{s^2(0.1s+1)} .$$

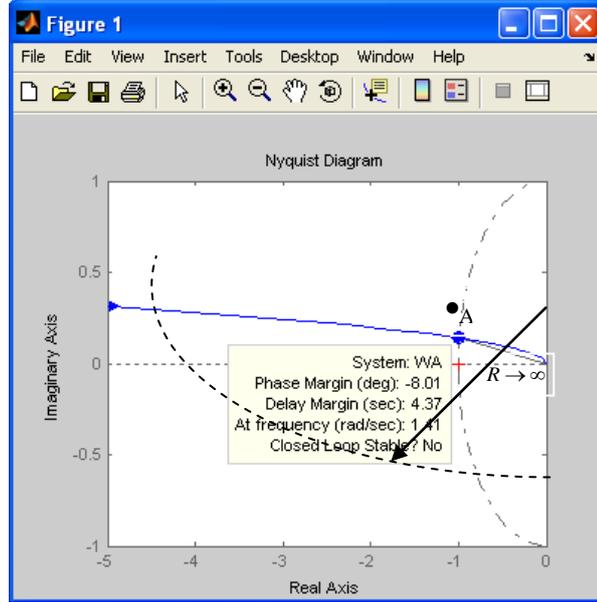
Bu halda $\nu=2$.

Şəkil 1.10-da Matlab proqramı və Naykvist hodoqrafı göstərilmişdir.

```

>> %MATLAB program
>> %Naykvist kriterisi
>> %Aciq ATS astatikdir-mu=2
>> s=tf('s');
>> WA=2/(s^2*(0.1*s+1));
>> nyquist(WA)

```



Şəkil 1.10

Alınmış Naykvist hodoqrafını $R \rightarrow \infty$ radiuslu çevrə ilə qapasaq $(-1; j0)$ kritik nöqtəsi əhatə olunacaqdır. Tərifə əsasən bu halda qapalı ATS dayanıqsızdır. Bu nəticəni pəncərədə də görmək olar (Closed Loop Stable? No).

3.2. Konservativ hal (rəqsi dayanıqlıq sərhəddi).

3.2.1. Konservativ açıq ATS-in ötürmə funksiyası:

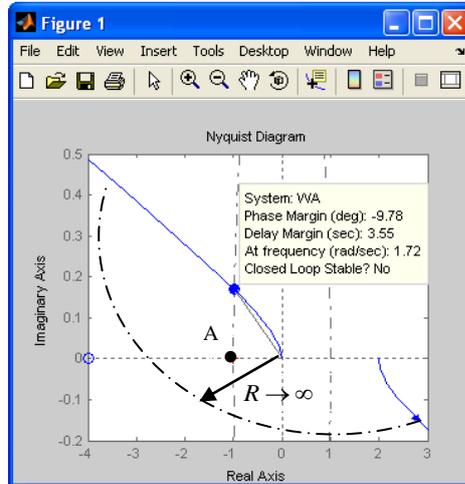
$$W_A(s) = \frac{2}{(s^2 + 1)(0.1s + 1)}$$

Şəkil 1.11-də Matlab proqramı və Naykvist diaqramı göstərilmişdir.

```

>> % MATLAB proqramı
>> % Naykvist dayanıqlıq kriterisi
>> % Aciq ATS konservativdir
>> s=tf('s');
>> WA=2/((s^2+1)*(0.1*s+1));
>> nyquist(WA)

```



Şəkil 1.11

Budaqları $R \rightarrow \infty$ çevrəsi ilə qapasaq kritik $(-1; j0)$ nöqtəsi qapalı sektorun daxilində qalacaqdır. Deməli uyğun qapalı ATS dayanıqsızdır. Bu nəticəni pəncərədə də görmək olar.

4. Ümumiləşdirilmiş Naykvist kriterisi.

4.1. Açıq sistemin ötürmə funksiyası:

$$W_A(s) = \frac{2}{0.00001s^4 + 0.00125s^3 + 0.0255s^2 + 0.04s - 1}$$

Açıq ATS-in hansı hala uyğun gəldiyini bilmək üçün $W_A(s)$ ötürmə funksiyasının qütblərini ($D_A(s)=0$ xarakteristik tənliyinin kökləri) **pole** (W_A) funksiyasının köməyi ilə tapaq. Matlab proqramı və nəticə aşağıda göstərilmişdir.

```
>> % MATLAB proqramı
>> s=tf('s');
>> WA=2/(0.00001*s^4+0.00125*s^3+0.0255*s^2+0.04*s-1);
>> pole(WA)

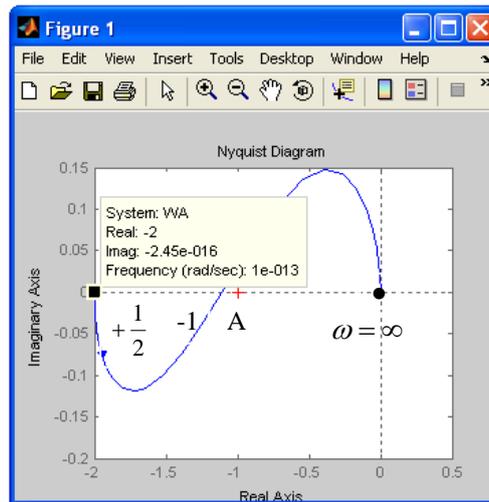
ans =

-100.0000
-20.0000
-10.0000
 5.0000
```

Yeganə $s_4 = 5$ sağ kök mövcud olduğundan $m = 1$.

Şəkil 1.12-də Matlab proqramı və Naykvist diaqramı göstərilmişdir.

```
>> %MATLAB proqramı
>> %Naykvist kriterisi-Umumi hal
>> s=tf('s');
>> WA=2/(0.00001*s^4+0.00125*s^3+0.0255*s^2+0.04*s-1);
>> nyquist(WA)
```



Şəkil 1.12

Diaqram menyuda yerləşən **Zoom on** $(-1; 0)$ sətrinə sol “click” etməklə böyüdülmüşdür.

Göründüyü kimi, $(\infty; -1)$ intervalında aşağıdan yuxarıya bir keçid (mənfi) -1 , absis oxunun üzərindən başlayan və aşağı istiqamətlənən bir keçid $(+1/2)$ mövcuddur. Cəmi keçidlərin sayı $-1+1/2=-1/2$. Tərifə görə isə $m/2=+1/2$ keçid olmalıdır. Bu səbəbdən qapalı ATS dayanıqsızdır.

4.2. Açıq ATS-in ötürmə funksiyası:

$$W_A(s) = \frac{40(0.25s + 1)}{s(0.5s - 1)(0.0004s^2 + 0.004s + 1)}$$

Açıq ATS-in hansı hala uyğun gəldiyini bilmək üçün $D_A(s)=0$ xarakteristik tənliyinin köklərini **pole** (W_A) funksiyasının köməyi ilə təyin edirik.

```
>> %DA(s)=0 xar. tənliyinin kokleri
>> s=tf('s');
>> WA=40*(0.25*s+1)/(s*(0.5*s-1)*(0.0004*s^2+0.004*s+1));
>> Kok=pole(WA)

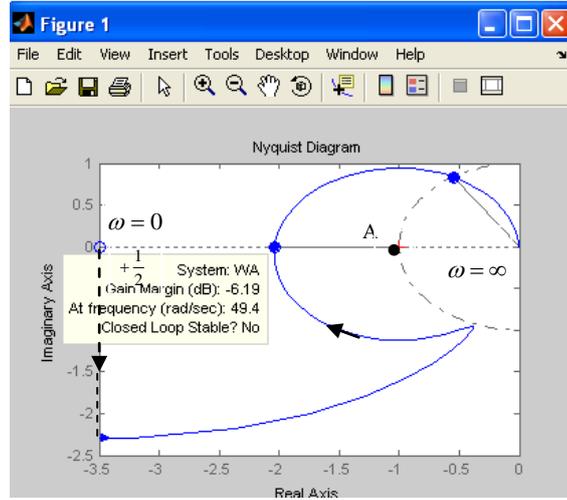
Kok =

    0
-5.0000 +49.7494i
-5.0000 -49.7494i
 2.0000
```

Göründüyü kimi, bir sağ kök $s_1=2$ olduğundan, $m=1$. Bu dayanıqsız (ikinci hal) hala uyğundur. Deməli, qapalı ATS-in dayanıqlı olması üçün hodoqrafın $(-\infty; -1)$ parçasından keçidlərinin cəmi $m/2=1/2$ olmalıdır.

Şəkil 1.13-də uyğun Matlab proqramı və Nykvist diaqramı göstərilmişdir.

```
>> %MATLAB proqrami
>> %Nykvist kriterisi
>> %Dayanıqsız astatik açıq ATS
>> s=tf('s');
>> WA=40*(0.25*s+1)/(s*(0.5*s-1)*(0.0004*s^2+0.004*s+1));
>> nyquist(WA)
```



Şəkil 1.13

$\omega_k=0$ kəsilmə qiymətində AFTX-nin həqiqi hissəsi $(-\infty)$ xəyali hissəsi isə 0-dır. Bu nöqtə absis oxunun $(-\infty; -1)$ intervalında yerləşdiyindən və hodoqraf aşağı istiqamətləndiyindən keçid $+1/2$ -dir. $(-\infty; -1)$ intervalında digər -1 keçidi aydın görünür. Cəmi keçidlər $+1/2-1=-1/2$ olduğundan qapalı ATS dayanıqsızdır. Bu nəticə pəncərədə də qeyd olunmuşdur (Closed Loop Stable? No).

Açıq ATS:

$$W_A(s) = \frac{2}{(s^2 + 1)(s + 1)}$$

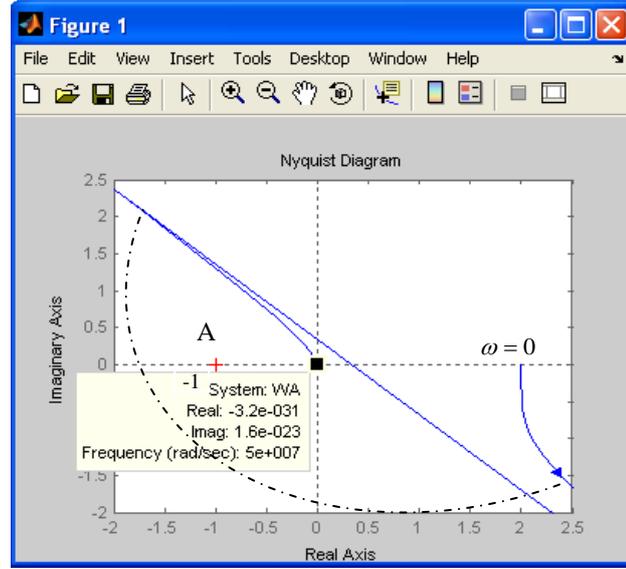
Şəkil 1.14-də Matlab proqramı və Nykvist diaqramı göstərilmişdir.

```
>> % MATLAB proqramı
>> % Nykvist kriterisi-Umumilesd. hal
>> s=tf('s');
>> WA=2/((s^2+1)*(s+1));
>> Kok=pole(WA)
```

```
Kok =

-1.0000
-0.0000 + 1.0000i
-0.0000 - 1.0000i
```

```
>> nyquist(WA)
```



Şəkil 1.14

Göründüyü kimi sağ köklər mövcud olmadığından, $m=0$. Bu halda dayanıqlı ATS üçün keçidlərin cəmi $m/2=0$ olmalıdır. Sağ və sol budaqları $R \rightarrow \infty$ çevrəsi ilə birləşdirsək bu çevrə $(-\infty; -1)$ parçasını aşağıdan yuxarıya doğru bir dəfə kəsəcəkdir. Bu istiqamətdə keçid -1 olduğundan qapalı ATS **dayanıqsızdır**.

4.4. Açıq ATS:

$$W_A(s) = \frac{20(0.02s + 1)}{(0.0025s^2 + 1)(0.01s + 1)}$$

Şəkil 1.15-də Matlab proqramı və Nykvist hodoqrafı göstərilmişdir.

```

>> % MATLAB programı
>> % Nykvist kriterisi-Umumilesd. hal
>> s=tf('s');
>> WA=20*(0.02*s+1)/((0.0025*s^2+1)*(0.01*s+1));
>> Kok=pole(WA)

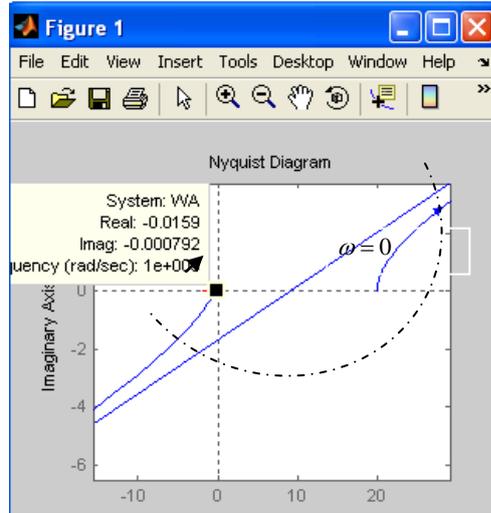
Kok =

    1.0e+002 *

    -1.0000
    -0.0000 + 0.2000i
    -0.0000 - 0.2000i

>> N=logspace(-5,3,200);
>> nyquist(WA,N)

```



Şəkil 1.15

Bu halda sağ kök mövcud deyil, $m=0$. Qapalı ATS-in dayanıqlı olması üçün $(-\infty; -1)$ parçasında keçidlərin cəmi $m/2=0/2=0$ olmalıdır. Sağ və sol budaqları $R \rightarrow \infty$ çevrəsi ilə tamamlasaq alınmış əyri $(-\infty; -1)$ parçasını kəsməyəcəkdir. Yəni keçidlərin cəmi 0-dır. Bu səbəbdən qapalı ATS **dayanıqlıdır**.

Bundan başqa baxılan hal neytral hala uyğun olduğundan əvvəldə verilmiş tərifə də ödəyir.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Variantlar üzrə açıq ATS-in $W(s)$ ötürmə funksiyasını seçmək.
2. Matlabda nümunəyə əsasən **pole (W)** funksiyanın köməyi ilə sağ (müsbət) qütblərin m sayını təyin etməli.
3. Nümunəyə əsasən 1, 2 və ya 3 hallarına uyğun Matlab proqramını tərtib edib Nykvist diaqramını qurmalı.
4. Uyğun təriflərə əsasən qapalı ATS-in dayanıqlı olub-olmamasını yoxlamalı.
5. Nəticəni ümumiləşdirilmiş Nykvist kriterisi əsasında da əsalandırmalı.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə W ötürmə funksiyası.
3. Matlab proqramları və Nykvist diaqramı.
4. Qapalı ATS-in dayanıqlı olub-olmaması haqqında nəticə.

5. Yoxlama sualları

1. Dayanıqlıq anlayışı.
2. Naykvist tezlik dayanıqlıq kriterisi.
3. Açıq ATS-in dayanıqlı, dayanıqsız və astatik olduğu hallarda qapalı ATS-in dayanıqlıq şərtləri.
4. Neytral sistem.
5. Ötürmə funksiyasının qütblərini təyin etmək üçün Matlab funksiyası.
6. Naykvist diaqramını qurmaq üçün Matlab funksiyası.
7. Menyunun rolu.

6. Variantlar

Açıq ATS-in ötürmə funksiyası, $W_A(s)$	
1. $\frac{50}{s^3 + 10s^2 + 35s + 50}$	6. $\frac{1}{s^3 + s^2 + 0.1s + 1}$
2. $\frac{s + 1}{s(s^2 + 2s + 2)}$	7. $\frac{200}{s^3 + 190s^2 + 110s + 200}$
3. $\frac{s + 2}{s^3 + 4s^2 + 2s + 1}$	8. $\frac{33s + 65}{s^2(s + 9)}$
4. $\frac{20(s + 1)}{s^3 + 3s^2 + s + 10}$	9. $\frac{4}{s^3 + 5s^2 + 2s + 15}$
5. $\frac{s + 20}{s^4 + 9s^3 + 30s^2 + 42s + 20}$	10. $\frac{40(0.3s + 1)}{s(2s + 1)(0.04s^2 + 0.24s + 1)}$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMLƏRİNİN DAYANIQLIQ EHTİYATLARININ TƏYİNİ

İşin məqsədi: Xətti tənzimləmə sistemlərinin modula və fazaya görə dayanıqlıq ehtiyatlarının loqarifmik tezlik xarakteristikalar əsasında Matlabda təyini və tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

İstənilən ATS müəyyən dayanıqlıq ehtiyatlarına malik olmalıdır. Bunlara olan tələbat idarəetmə obyektinin xüsusiyyətlərindən asılıdır. Məsələn, atom reaktorunun və uçuş aparatlarının dayanıqlıq ehtiyatları çox yüksək olmalıdır.

Dayanıqlıq ehtiyatlarını tezlik xarakteristikaları əsasında hesablamaq daha əlverişlidir.

İki tip dayanıqlıq ehtiyatından istifadə olunur.

1. **Modula görə dayanıqlıq ehtiyatı**, $G_m = 1/A(\omega_{cg})$, dB.

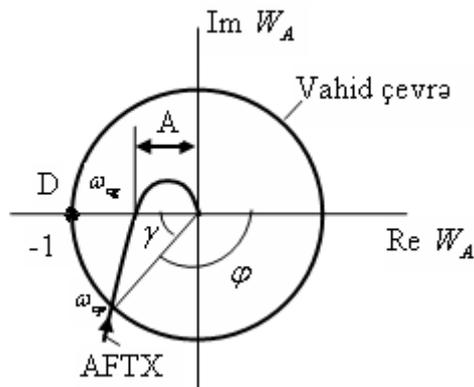
2. **Fazaya görə dayanıqlıq ehtiyatı**, $\gamma = -180^\circ - \varphi(\omega_{cp})$, dərəcə,

Modula görə dayanıqlıq ehtiyatı G_m - faza sürüşməsi $\varphi = -180^\circ$ (absis oxunun mənfi hissəsi) üçün təyin olunur və sistem dayanıqlıq sərhəddinə çatana qədər, yəni Naykvist hodoqrafının $D(-1; j0)$ nöqtəsindən keçənə qədər, gücləndirmə əmsalının neçə dəfə artırmaq mümkün olduğunu göstərir.

Fazaya görə dayanıqlıq ehtiyatı $\gamma - A(\omega_{cp}) = 1$ olduğu kəsmə ω_{cp} tezliyi üçün (hodoqrafın vahid kəsmə nöqtəsinə uyğun gələn tezlik) təyin olunur və sistemin dayanıqlıq sərhəddinə çatana qədər (yəni $D(-1; j0)$ nöqtəsinə) nə qədər mənfi faza sürüşməsi ala bilməsinin mümkün olduğunu göstərir.

Dayanıqlıq ehtiyatlarını Naykvist hodoqrafının (əyrisi) köməyi ilə asanlıqla təhlil etmək mümkündür. Yada salaq ki, Naykvist hodoqrafı açıq ATS-in AFTX xarakteristikasıdır.

Şəkil 1.1-də Naykvist hodoqrafı göstərilmişdir.



Şəkil 1.1

Absis oxunun mənfi hissəsində yerləşən $D(-1; j0)$ nöqtəsi kritik nöqtədir. Naykvist əyrisi D nöqtəsindən sola keçdikdə sistemin dayanıqlığı pozulur. $D(-1; j0)$ nöqtəsi dayanıqlıq sərhəddini müəyyən edir.

Şəkildə:

- A – amplitud-tezlik xarakteristikasının (ATX) qiyməti;
- φ - faza tezlik (FTX) qiyməti;

- tezlik ω_{cg} , rad – Naykvist hodoqrafının həqiqi oxu (absis oxu) kəsmə nöqtəsinə uyğun gələn tezlik, $\varphi(\omega_{cg}) = -180^0$.
- tezlik ω_{cp} - Naykvist hodoqrafının *vahid çevrəni* kəsmə nöqtəsinə uyğun gələn tezlikdir, $A(\omega_{cp}) = 1$. ω_{cp} -kəsmətezliyi adlandır (bax, § 2.)

$G_m(\omega_{cg}) > 1 (A(\omega_{cg}) < 1)$ olarsa qapalı ATS dayanıqlı, $G_m(\omega_{cg}) < 1 (A(\omega_{cg}) > 1)$ olarsa qapalı ATS dayanıqsız olur.

Aşağıdakı xüsusi hallar da nəzərə alınmalıdır:

1. Əgər Naykvist əyrisi həqiqi oxun mənfi hissəsi ilə kəsişmə nöqtəsi yoxdursa modula görə dayanıqlıq ehtiyatı (**margin**) sonsuzdur.

2. Əgər Naykvist əyrisi həqiqi oxun mənfi hissəsini $(-1; j0)$ və $(0; j0)$ nöqtələri arasında çoxdəfəli kəsirsə, onda $(-1; j0)$ nöqtəsinə ən yaxın olan nöqtə modula görə dayanıqlıq ehtiyatı G_m -ni təyin edir.

3. Əgər Naykvist əyrisi ilə *vahid çevrənin* kəsişmə nöqtəsi mövcud deyilsə, onda fazaya görə dayanıqlıq ehtiyatı sonsuzdur, $\gamma = \infty$.

4. Əgər Naykvist əyrisi *vahid çevrəni* 3-cü kvadrantında (rübdə) çoxdəfəli kəsirsə, onda mənfi həqiqi oxa ən yaxın nöqtə fazaya görə γ dayanıqlıq ehtiyatını təyin edir.

Dayanıqlıq ehtiyatlarını təyin etmək üçün Matlabda **margin** (.) funksiyasından istifadə olunur. Uyğun sintaksis:

$$[G_m, \gamma, \omega_{cg}, \omega_{cp}] = \text{margin}(W_A)$$

W_A - açıq ATS-in ötürmə funksiyasıdır.

Dayanıq ehtiyatlarını qrafoanalitik təyin etmək üçün **nyquist** (W_A), **bode** (W_A) və **nichols** (W_A) funksiyalarından istifadə olunur.

2. Matlabda realizasiya

Açıq ATS-in ötürmə funksiyası:

$$W_A = \frac{2}{s^3 + 1.5s^2 + 3s + 1}$$

Şəkil 1.2-də Matlab proqramı, Naykvist (a), Bode (b) və Nikols (ç) diaqramları göstərilmişdir.

```
>> %MATLAB proqramı
>> %Dayanıqlıq ehtiyatlarının təyini
>> s=tf('s');
>> WA=0.5/(s^3+2*s^2+s+0.5);
>> [gm, pm, wg, wp]=margin(WA),nyquist(WA);figure,bode(WA),figure,nichols

gm =

    3.0035

pm =

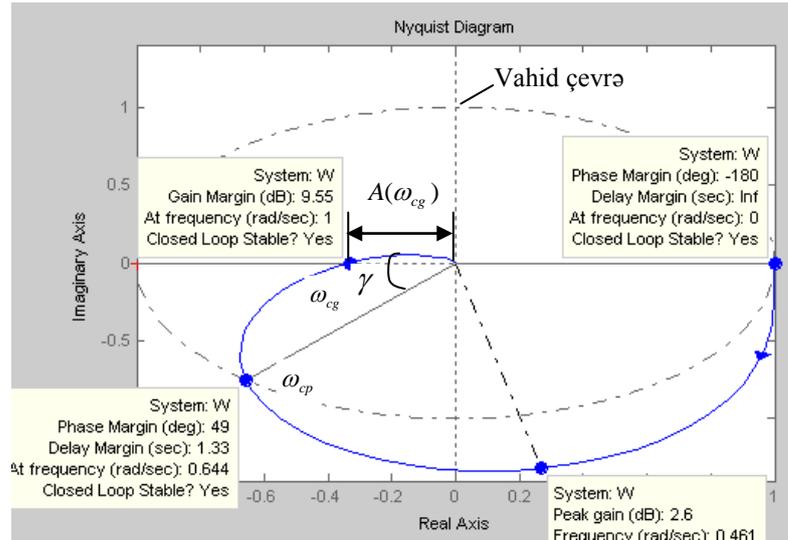
    48.9534

wg =

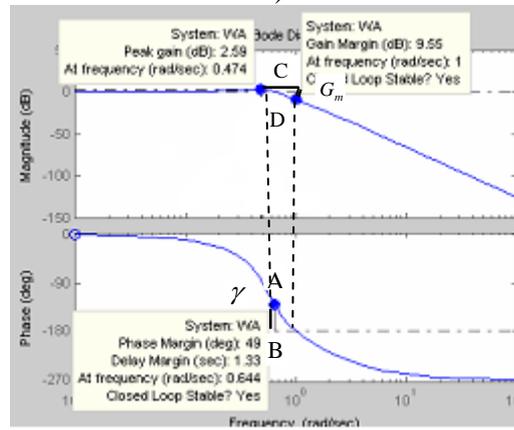
    1.0004

wp =

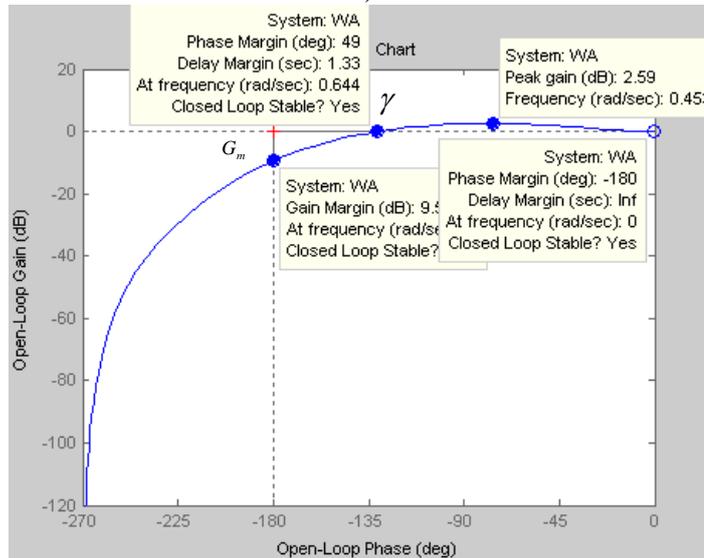
    0.6435
```



a)



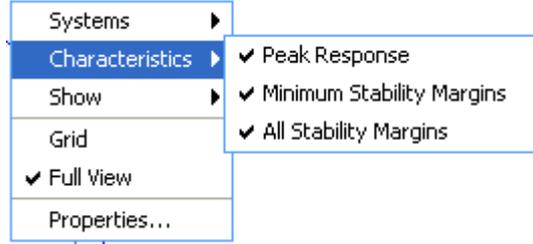
b)



ç)

Şəkil 1.2

Şəkildəki vacib nöqtələrin parametrləri şəkil 1.3-də göstərilən **Menyu** vasitəsi ilə alınmışdır. **Menyu** diaqramın boş sahəsinə sağ “click” etməklə üzə çıxır.



Şəkil 1.3 Menyü

Naykvist diaqramında menyuda *show/Negative Frequencies* sətirinə sol “click” etməklə mənfi ω tezliklərinə uyğun gələn qol ləğv edilmişdir.

Diaqramlara əsasən aşağıdakı göstəriciləri əldə etmək mümkündür:

1. Naykvist diaqramı:

- **gain margin** (*dB*) – modula görə dayanıqlıq ehtiyatı G_m (*dB*);

- **at frequency** (*rad/sec*) – uyğun ω_{cg} tezliyi (*rad/san*);

- **phase margin** (*deg*) – fazaya görə dayanıqlıq ehtiyatı γ (dərəcə);

- **at frequency** (*rad/sec*) – uyğun kəsmə ω_{cp} tezliyi (*rad/san*);

- **delay margin** (*sec*) - kritik gecikmə (san); $\tau_k = \gamma / \omega_{cp}, \gamma - rad. \tau > \tau_k$

olduqda sistemin dayanıqlığı pozulur!

- **peak gain** (*dB*) - ən böyük (max) gücləndirmə (*dB*);

- **closed loop stable? Yes** – qapalı kontur (ATS) dayanıqlıdır mı? Hə.

2. Bode diaqramı: - eyni göstəricilər, CD- G_m (*dB*), AB- γ (dərəcə).

3. Nikols diaqramı: - eyni göstəricilər.

Proqram G_m -i adi vahiddə hesablayır. Tapılmış $G_m=3.0035$ qiymətini loqarifmik vahidə çevirsək alırıq:

$$L = 20 \lg(A) = 20 \lg(3.0035) = 9.5526 \text{ dB.}$$

Cədvəl 1-də yuxarıdakı göstəricilər əks olunmuşdur.

Modeləşdirmənin nəticələri

Cədvəl 1

	G_m, dB	$\omega_{cg}, rad/s$	γ^0	$\omega_{cp}, rad/s$	G_{max}	ω_{max}	τ_k, s
Proqram	3.0035	1.0004	48.9534	0.6435	-	-	-
Naykvist	9.55	1	49	0.644	2.60	0.461	1.33
Bode	9.55	1	49	0.644	2.59	0.474	1.33
Nikols	9.55	1	49	0.644	2.59	0.453	1.33

Göründüyü kimi Naykvist, Bode və Nikols diaqramlarına əsasən alınmış göstəricilər proqram ilə hesablanmış qiymətlərə çox yaxındır.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Variantlar üzrə obyektin ötürmə funksiyasını seçməli.

2. Nümunəyə əsasən Matlab proqramı əsasında dayanıqlıq ehtiyatlarını və müvafiq tezlikləri hesablamalı.

3. Nümunəyə əsasən menyunun köməyi ilə (sağ “click”) Naykvist, Bode və Nikols diaqramlarına əsasən dayanıqlıq ehtiyatlarını və müvafiq tezlikləri təyin etməli.

4. Nəticələri nümunədə göstərilən cədvələ yazıb müqayisə etməli.

4. Hesabatın məzmunu

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə obyektin ötürmə funksiyası.
3. Dayanıqlıq ehtiyatlarını və müvafiq tezlikləri hesablamaq üçün Matlab proqramı.
4. Dayanıqlıq ehtiyatlarını təyin etmək üçün Naykvist, Bode və Nikols diaqramları.
5. Nəticələrin göstərildiyi cədvəl 1.

5. Yoxlama sualları

1. Dayanıqlıq anlayışı və təyin üsulları.
2. Loqoritmik tezlik xarakteristikaları.
3. Dayanıqlıq ehtiyatları.
4. Naykvist, Bode və Nikols diaqramları.

6. Variantlar

Nö	Obyektin ötürmə funksiyası, W_A	Nö	Obyektin ötürmə funksiyası, W_A
1.	$\frac{1}{(s^2 + 0.2s + 1)(s + 1)}$	6.	$\frac{2s + 0.69}{s^2 + 1.09s + 4.17}$
2.	$\frac{s + 1}{s^3 + 4s^2 + 0.5s + 1}$	7.	$\frac{176s + 50}{7.05s^3 + 6.2s^2 + 176s + 50}$
3.	$\frac{1}{s^2 + 0.8s + 4} e^{-1.2s}$	8.	$\frac{0.5}{2.5s + 1}$
4.	$\frac{s^3 + 7s^2 + 24s + 24}{s^4 + 10s^3 + 35s^2 + 50s + 24}$	9.	$\frac{10}{s^2 + 1}$
5.	$\frac{2}{s^2 + 0.5s + 1}$	10.	$\frac{1}{s^3 + 2s^2 + 1.5s + 1}$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

XƏTTİ TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMLƏRİNİN KEYFİYYƏTİNİN TƏDQIQI

İşin məqsədi: İdarəetmə obyektlərinin və sistemlərinin keyfiyyət göstəricilərinin təyini və modelləşdirilməsi.

1. Nəzəri məlumat

Avtomatik tənzimləmə sistemlərinə irəli sürülən əsas tələbat dayanıqlıq olsa da, sistem müəyyən keyfiyyət göstəricilərini də təmin etməlidir. Tənzimləmə sistemlərində **dinamik** və **statik** (qərarlaşmış) **rejimlər** mövcud olduğundan keyfiyyət göstəriciləri də iki qrupa ayrılır:

1. **Dinamik rejimi** xarakterizə edən keyfiyyət göstəriciləri.
2. **Statik** (qərarlaşmış) **rejimi** xarakterizə edən keyfiyyət göstəriciləri.

Dinamik keyfiyyət göstəriciləri ATS-in girişinə vahid təkən signalı verdikdə alınmış keçid xarakteristikası əsasında qrafoanalitik üsul ilə təyin olunur.

Əsas keyfiyyət göstəriciləri aşağıdakılardır:

1. **Keçid xarakteristikasının xarakteri** (monoton, aperiodik, rəqsi).
2. **Keçid xarakteristikasının qərarlaşma qiyməti** $y(\infty)$. Giriş vahid təkən signalı olduqda:

$$y(\infty) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot W(s) \cdot \frac{1}{s} = W(0) = \frac{b_m}{a_n} .$$

$$W(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} \text{ -qapalı ATS-in və ya obyektin ötürmə funksiyası, } \frac{1}{s} \text{ -}$$

vahid təkən signalının təsviridir.

Obyektin vəziyyət tənliyi (A, B, C, D) dördlüyü ilə verilsə:

$$y(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot W(s) \cdot \frac{1}{s} = -CA^{-1}B + D .$$

$W(s)$ ilə verilmiş obyektin qərarlaşmış $y(\infty)$ qiyməti isə

$$K = dcgain(W)$$

Matlab funksiyasının köməyi ilə tapılır.

3. **Artma vaxtı** - $t_A = t_2 - t_1$, t_1 və t_2 - $y(t)$ -nin $y(\infty)$ -nin 10% ($0.1 \cdot y(\infty)$) və 90%-li ($0.9 \cdot y(\infty)$) qiymətlərinə çatma vaxtı.

4. **Maksimal qiymətə çatma vaxtı** - t_m .

5. **Qərarlaşma vaxtı** (ATS üçün tənzimləmə vaxtı) t_T - $y(t)$ -nin $[g - \delta_T, g + \delta_T]$ buraxıla bilən xəta zolağına daxil olub daha oradan çıxmama vaxtı. δ_T - buraxıla bilən xəta olub g -nin qiymətinin 2 ÷ 5 %-ni təşkil edir.

6. **Maksimal dinamik meyil** (ATS üçün – ifrat tənzimləmə):

$$\sigma = \left| \frac{y_{\max} - g}{g} \right| \cdot 100\% .$$

7. **Rəqslərin məxsusi tezliyi**- $\omega_0 = 2\pi/T_0$, T_0 -rəqslərin periodu (dövrü) grafikdən götürülür. Monoton və aperiodik keçid xarakteristikaları üçün bu göstərici mövcud deyil.

8. **Sönmə dərəcəsi:**

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1} , 0 \leq \psi \leq 1 .$$

A_1, A_2 - eyni işarəli ardıcıl maksimumların qiyməti.

9. **ATS üçün statik xəta** Δ_s . Statik xəta dinamik $\varepsilon(t)$ xətasının hədd qiymətidir:

$$\Delta_s = \varepsilon(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) .$$

$\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$ -dinamik xəta, $g(t)$ – tapşırıq.

Xətanın $E(s)$ təsviri verilərsə:

$$\Delta_s = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot E(s) .$$

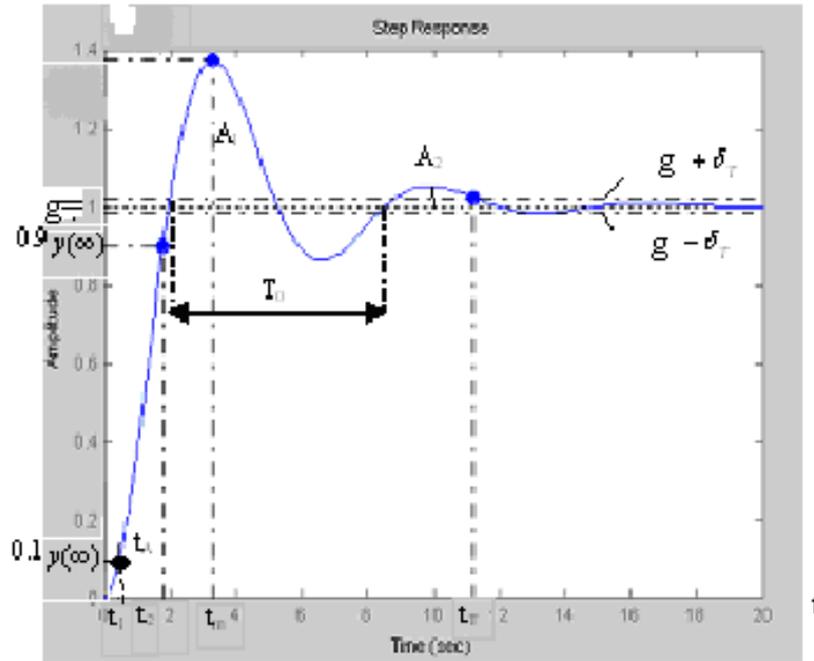
Vahid əks əlaqəli ATS üçün

$$E(s) = \frac{1}{1 + W_A(s)} \cdot G(s) .$$

$W_A(s)$ -açıq ATS-in ötürmə funksiyası. $G(s)$ – tapşırıq signalının təsviridir. $g=1(t)$ vahid təkən signalı üçün $G(s)=1/s$. Bu halda:

$$\Delta_s = \frac{1}{1 + W_A(0)} = \frac{a_n}{a_n + b_m} .$$

Şəkil 1.1-də keyfiyyət göstəricilərini hesablamak üçün obyektin (ATS-in) keçid xarakteristikası göstərilmişdir.



Şəkil 1.1

Dinamik keyfiyyət göstəricilərini hesablamak üçün verilənlər bu qrafikdən götürülür.

MATLABda keçid xarakteristikasının almaq və əsas keyfiyyət göstəricilərini qiymətləndirmək üçün **step** (W) funksiyasından və ekranın boş yerinə sağ “click” etməklə meydana çıxan xüsusi menyudan istifadə olunur.

2. Nümunə

1.Obyektin ötürmə funksiyası

$$W(s) = \frac{0.8}{s^2 + 0.6s + 2} .$$

dcgain (W) funksiyasının köməyi ilə $y(\infty)$ qərarlaşma qiymətini tapaql. MATLAB proqramı:

```

>> % MATLAB proramı
>> % Qerarlaşmış qiymetin teyini
>> s=tf('s');W=0.8/(s^2+0.6*s+2);
>> Yinf=dcgain(W)

```

```

Yinf =

    0.4000

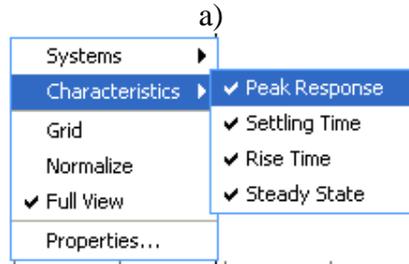
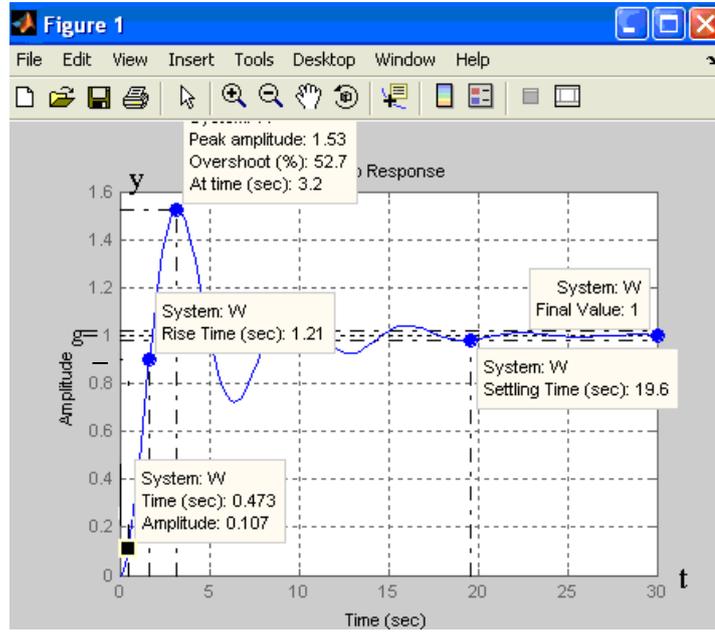
```

2. Obyektin ötürmə funksiyası $W(s) = 1/(T^2s^2 + 2T\xi s + 1)$. $T = 1s$, $\xi = 0.5$.
MATLAB proqramı:

```

>> % MATLAB proramı
>> % Keced xarak. qurulması
>> T=1;ksi=0.2;W=tf(1,[T^2 2*T*ksi 1]);
>> step(W)

```



Şəkil 1.2

Keçid xarakteristikası $y(t)$, uyğun nöqtələrə sağ “click” etməklə alınmış pəncərələrdə göstərilən keyfiyyət göstəriciləri (a) və menyü (b) şəkil 1.2-də göstərilmişdir.

Şəklə əsasən alınmış keyfiyyət göstəriciləri:

1. Keçid xarakteristikası rəqsidir.
2. Qərarlaşma qiyməti kimi final qiymətini (*final value*) qəbul etmək olar, $y(\infty) = g = 1$.
3. Artma vaxtı- $t_1 = 0.473s, t_2 = 1.21s$ olduğundan, $t_A = t_2 - t_1 = 0.737s$.
4. Maksimal qiymətə çatma vaxtı (*peak amplitude at time*), $t_m = 3.2s$.
5. Qərarlaşma vaxtı (*settling time*), $t_T = 19,6s$., $\delta_T = \pm 2\% = \pm 0.02$.
6. İfrat tənzimləmə (*overshoot %*), $\sigma = 52.7\%$.
- 7, 8 – Şəkildə olmadığından özünüz hesablayın.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Variantlar üzrə ATS-in və ya obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyasını seçməli.
2. Matlabda nümunəyə əsasən **dcgain** (W) funksiyasının köməyi ilə çıxışın qərarlaşmış $y(\infty)$ qiymətini təyin etməli.
3. Nümunəyə əsasən **step** (W) funksiyasının köməyi ilə keçid xarakteristikasını qurmalı və menyunun köməyi ilə (sağ “click”) dinamik keyfiyyət göstəricilərini təyin etməli.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə $W(s)$ ötürmə funksiyası.
3. Matlab proqramları və keçid xarakteristikası.
4. Keyfiyyət göstəriciləri.

5. Yoxlama sualları

1. Statik və dinamik keyfiyyət göstəriciləri.
2. Keçid xarakteristikası.
3. Keçid xarakteristikası əsasında keyfiyyət göstəricilərinin qrafoanalitik təyini.
4. Matlab funksiyaları.
5. Menyunun rolu.

6. Variantlar

ATS və ya obyektin ötürmə funksiyası, $W(s)$	
1. $\frac{10s + 20}{10s^4 + 23s^3 + 40s^2 + 23s + 10}$	6. $\frac{200}{(s + 2)(s + 4)(s^2 + 6s + 2)}$
2. $\frac{13s^2 + 3s + 1}{15s^3 + 20s^2 + s + 1} e^{-1.5s}$	7. $\frac{2(s + 1)}{s^2 + 1.2s + 2}$
3. $\frac{1.5}{s^2 + 0.5s + 1} e^{-1.2s}$	8. $\frac{2}{s^2 + 0.4s + 1} e^{-1.5s}$
4. $\frac{6}{s^3 + 0.6s^2 + 10s + 3}$	9. $\frac{15(s + 1)}{s^3 + 7s^2 + 18s + 15}$
5. $\frac{2}{s^2 + 1.4s + 2} e^{-1.3s}$	10. $\frac{s^2 + 2s + 30}{s^3 + 80s^2 + 16s + 30}$

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, “Təhsil” EİM, 2010, 188 s.

PID TƏNZİMLƏYİCİNİN TƏDQIQI VƏ MODELLEŞDİRİLMƏSİ

İşin məqsədi: Proporsional-integral-diferensial (PID) tənzimləyicinin zaman və tezlik karakteristikalarının alınması və sazlama parametrlərinin ATS-in keyfiyyətinə təsirinin tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

Tənzimləmə sisteminin keyfiyyət göstəriciləri (tənzimləmə vaxtı, t_T , ifrat tənzimləmə, σ və s.) istifadə olunan tənzimləyicinin tipindən və sazlama parametrlərinin qiymətindən asılıdır. Praktikada geniş istifadə olunan P, PI, PID tənzimləyicilərdir. PID tənzimləyicinin müvafiq sazlama parametrlərini sıfır qəbul etməklə P və PI tənzimləyicilərini almaq olar.

Tənzimləyicinin giriş siqnalı xəta $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$, çıxış siqnalının isə icra orqanına təsir edən $u(t)$ idarə siqnalının olduğunu nəzərə alsaq PID tənzimləyicinin tənliyi:

$$u = K_T \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (1)$$

Burada K_T, T_i, T_d - tənzimləyicinin sazlama parametrləridir.

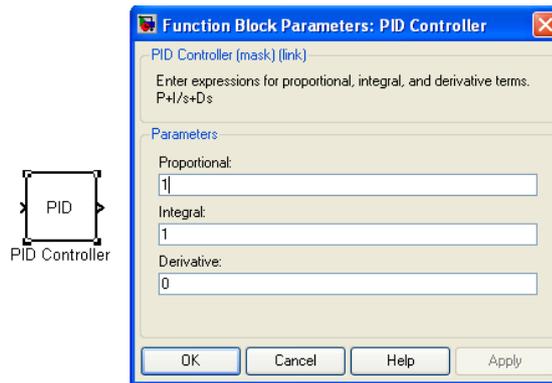
K_T - gücləndirmə əmsalı; T_i - integrallama sabiti; T_d - diferensiallama sabiti adlanır.

Proporsional (mütənasib) P-tənzimləyici almaq tələb olunursa (1) ifadəsinə əsasən $T_i = \infty, T_d = 0$ qəbul etmək lazımdır. Uyğun ötürmə funksiyası:

$$W_T = K_T + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_T s + K_i}{s}.$$

$$K_i = 1/T_i, \quad K_d = T_d$$

Şəkilə, İO-icra orqanıdır. Simulinkdə PID tənzimləyici Simulink Extras (Additional Linear) bunkerində yerləşir. Şəkil-1-də (1) ifadəsini reallaşdıran PID-tənzimləyicinin işarəsi (a) və onun parametrlər pəncərəsi (b) göstərilmişdir.



a)

b)

Şəkil 1

Burada:

Proportional- $P = K_T$; **Integral-** $I = K_i$; **Derivative-** $D = K_d$.

Sazlama parametrlərinin lazımi qiymətləri bu pəncərənin müvafiq şərtindən daxil edilir.

Simulində ideal $K_d s$ diferensiallanmanı real $K_d \frac{s}{\frac{1}{N} s + 1}$ diferensiallama əməliyyatı ilə əvəz

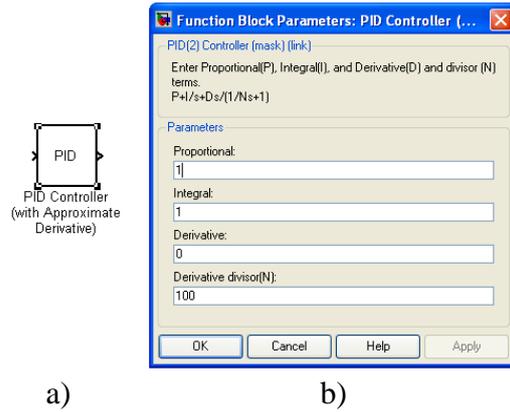
edilmiş PID-tənzimləyicisi də mövcuddur. Bu halda PID-tənzimləyicinin ötürmə funksiyası:

$$W_T = K_T + \frac{K_i}{s} + K_d \frac{s}{1/N \cdot s + 1} \quad (2)$$

$N = 100 \div 500$ -böyük ədəddir. $N \rightarrow \infty \Rightarrow 1/N \rightarrow 0$ real diferensiallayıcı ideal $K_d s$ diferensiallayıcıya çevrilir. N -in böyük qiymətlərində (1) və (2) tənzimləyicilərin iş keyfiyyəti yaxındır.

Bu tənzimləyicinin 4 sayda K_T, K_i, K_d, N sazlama parametri mövcuddur.

Şəkil 2-də real (2) ifadəsinə əsasən fəaliyyət göstərən real tənzimləyicinin işarəsi (a) və parametrlər pəncərəsi (b) göstərilmişdir.



Şəkil 2

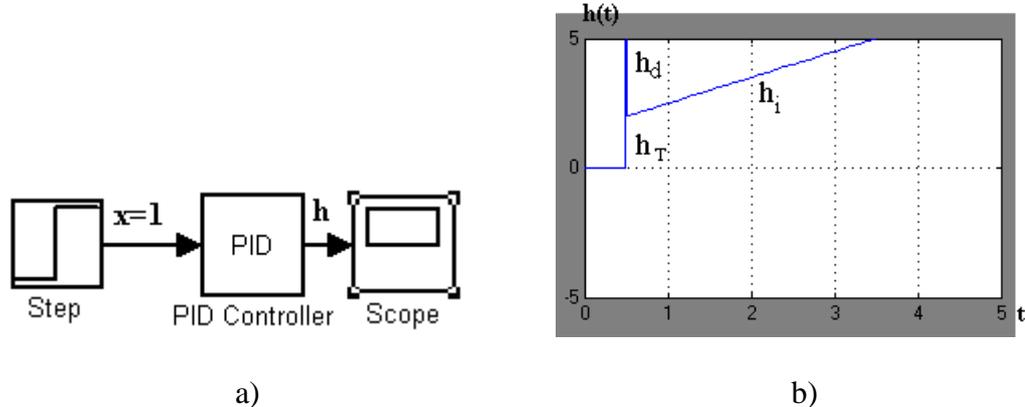
Sonrakı tədqiqatlarda şəkil1-də göstərilən tənzimləyicidən istifadə edəcəyik.

1.1. PID –tənzimləyicinin keçid xarakteristikasının təyini. Tərifə əsasən keçid xarakteristikasını $h(t)$ obyektin vahid (step) giriş signalına olan reaksiyasıdır.

1. 1. Nümunə

Şəkil 3-də $h(t)$ -ni almaq üçün sazlama parametrlərinin $K_p = 2, K_i = 1$ və $K_d = 3$ qiymətlərində Simulink sxemi (a) və $h(t)$ keçid xarakteristikası (b) göstərilmişdir. Superpozisiya prinsipinə əsasən bu xarakteristika P-,I-,D-hissələrinin $h_i(t), i = 1,2,3$ xarakteristikalarının cəminə bərabərdir:

$$h(t) = h_p(t) + h_i(t) + h_d(t).$$



Şəkil 3

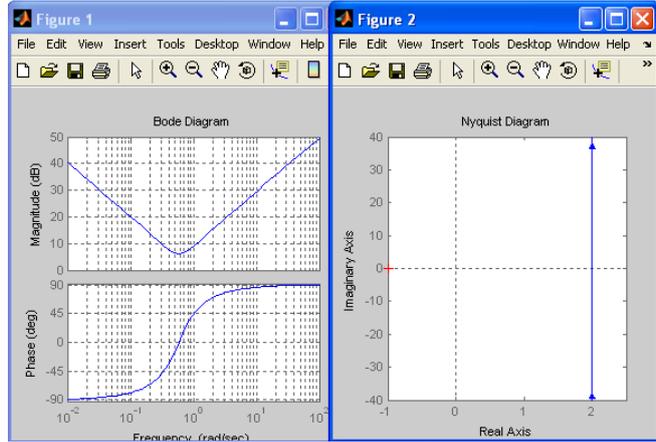
1.2. PID –tənzimləyicinin tezlik xarakteristikaları

Loqarifmik tezlik xarakteristikaları $L(\omega), dB$ və $\varphi(\omega)^0$ Matlabda bode (W_T) amplitud-faza tezlik (LAFTX) isə $nuquist(W)$ funksiyalarının köməyi ilə alınır.

1. 2. Nümunə

Şəkil 4-də müvafiq Matlab proqramı, $L(\omega), \varphi(\omega)^0$ və LAFTX tezlik xarakteristikaları göstərilmişdir.

```
>> % PID-tənzimleyicisinin loq.
>> % tezlik xarakteristikaları
>> s=tf('s');
>> WT=(3*s^2+2*s+1)/s; % PID-tenz. oturma funksiyası
>> bode(WT),grid,figure,
>> nyquist(WT)
```

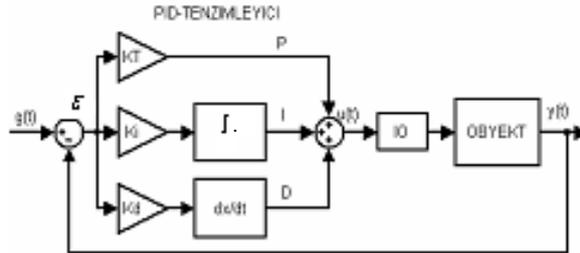


a)

b)

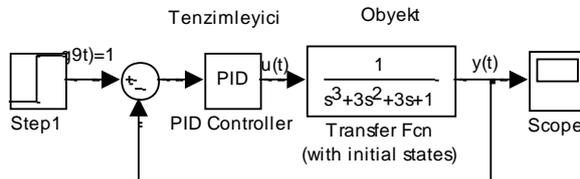
Şəkil 4

1.3. Tənzimləmə sistemi. Şəkil5-də PID tənzimləyicisi olan avtomatik tənzimləmə sistemi (ATS) göstərilmişdir.



Şəkil 5

Şəkil 6-da $W_{ob} = 1/(s+1)^3$ obyektini olan ATS-in Simulink sxemi göstərilmişdir.

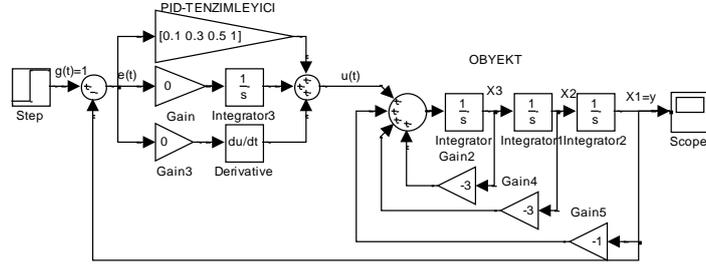


Şəkil 6

1.4. Tənzimləmə keyfiyyətinin sazlama parametrlərindən asılılığı. Keçid xarakteristikasının keyfiyyət göstəriciləri (ifrat tənzimləmə σ , tənzimləmə vaxtı t_T , rəqslilik və s.) K_p, K_i, K_d sazlama parametrlərinin qiymətindən asılıdır. Bu qiymətləri dəyişməklə müxtəlif keyfiyyətli keçid xarakteristikaları almaq olar. (bax, şəkil 7.)

Şəkil 7-də ATS-in $W_{ob} = 1/(s+1)^3$ obyektini halında Simulink sxemi göstərilmişdir. Tənzimləyicinin parametrlər pəncərəsindən eyni zamanda sazlama parametrlərinin bir-neçə qiymətini daxil etmək nəzərdə tutulmadığından PID-tənzimləyici şəkil 7-yə uyğun olaraq açıq

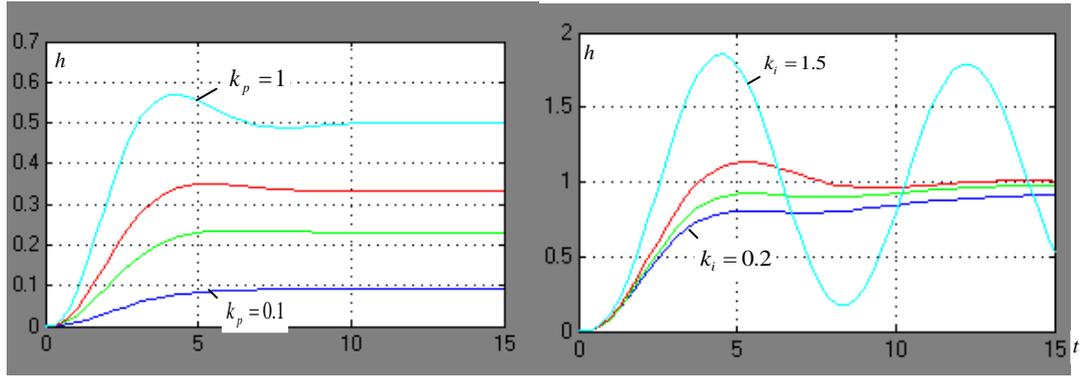
formada modelləşdirilmişdir. Bu halda gücləndiricilərdə (Gain) sazlama parametrlərinin eyni zamanda bir-neçə qiymətini (vektor şəklində) daxil edib keçid xarakteristikaları ailəsini almaq mümkündür. Obyekt vəziyyət modeli şəklində modelləşdirilir.



Şəkil 7

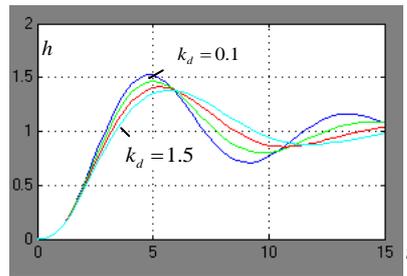
Şəkil 8 a,b,c-də sazlama parametrlərinin müxtəlif qiymətlərində keçid xarakteristikaları ailələri göstərilmişdir:

- $K_p = [0.1 \ 0.3 \ 0.5 \ 1], K_i = 0, K_d = 0.$
- $K_i = [0.2 \ 0.3 \ 0.5 \ 1.5], K_p = 1, K_d = 0.$
- $K_d = [0.1 \ 0.5 \ 1 \ 1.5], K_p = 1, K_i = 1.$



a)

b)



c)

Şəkil 8

Göründüyü kimi, a) halı statik P-tənzimləyicisinə uyğun gəldiyindən keçid prosesləri rəqsi alınmasa da, statik xəta $\Delta = g - y(\infty) = 1 - y(\infty)$ meydana çıxır.

b) halı astatik PI-tənzimləyicisinə uyğun gəldiyindən $\Delta = 0$ olur. Lakin inteqrallama əmsalı K_i artdıqca keçid xarakteristikalarının rəqsliliyi kəskin artır.

c) halı astatik olan (I-nin hesabına) PID-tənzimləyicisinə uyğun olduğundan $\Delta = 0$. K_d artdıqca ifrat tənzimləmə σ azalır və bütün keçid xarakteristikaları təqribən eyni vaxtda qərarlaşır.

Aydındır ki, tələb olunan keyfiyyət göstəricilərinə malik olan keçid xarakteristikası əldə etmək üçün sazlama parametrlərinin müvafiq qiymətlərini təyin etmək lazımdır. Bu məqsədlə xüsusi sazlama üsulları mövcuddur.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə ardıcılığı

1. Hər bir variant 1-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün nəzərdə tutulub.
2. Variantlar üzrə obyektin W_{ob} ötürmə funksiyasını və PID-tənzimləyicinin K_p, K_i, K_d sazlama parametrlərini seçməli.
3. Şəkil 3-ə əsasən sxemi yığıb PID-tənzimləyicinin keçid $h(t)$ xarakteristikasını qurub təhlil etməli.
4. Şəkil 4-ə əsasən Matlab proqramının köməyiylə **bode** (W_T) və **nuiquist** (W_T) funksiyasından istifadə edərək PID-tənzimləyicinin tezlik xarakteristikalarını qurmalı.
5. 3,4 bəndlərinə alternativ olaraq şəkil 7 və 8-ə uyğun olaraq sazlama parametrlərinin müxtəlif qiymətlərində keçid xarakteristikalı qurub təhlil etməli.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat aşağıdakı məlumatı əks etdirir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variantlar üzrə obyektin ötürmə funksiyası və sazlama parametrlərin qiyməti
3. Struktur sxemlər və Matlab proqramı.

5.Yoxlama sualları

1. PID-tənzimləyici hansı toplananlardan ibarətdir?
2. Astatik tənzimləyici nədir?
3. Keçid xarakteristikası necə alınır?
4. Bode diaqramları
5. PID-tənzimləyicidən hansı tənzimləyiciləri almaq olar?

6. Variantlar

№	Obyektin ötürmə funksiyası, $W(s)$	Sazlama parametrləri	Tənzimləyicinin tipi
1	$\frac{s+1}{s^3+3s^2+2s+1}$	$K_T = 10, K_i = 1, K_d = 0$	PI
2	$\frac{s+1}{s^3+5s^2+2s+1}$	$K_T = 2, K_i = 5, K_d = 1.2$	PID
3	$\frac{s^2+2s+1}{s^3+10s^2+2s+1}$	$K_T = 10, K_i = 0, K_d = 0.5$	PD
4	$\frac{s^2+1}{s^3+6s^2+s+1}$	$K_T = 2, K_i = 0, K_d = 0$	P
5	$\frac{1}{s(2s+1)+1}$	$K_T = 6, K_i = 1, K_d = 2$	PID
6	$\frac{s+1}{s^2}$	$K_T = 3, K_i = 0.2, K_d = 0.4$	PID

7	$\frac{1}{s^2 + 2s + 1}$	$K_T = [0.2 \ 0.5 \ 1], K_i = 10, K_d = 0$	PI
8	$\frac{1}{s(4s + 1)}$	$K_T = [0.2 \ 0.8 \ 1.2], K_i = 0, K_d = 2$	PD
9	$\frac{1}{s^2 + 4s + 1}$	$K_T = 0, K_i = [0.1 \ 0.5 \ 2], K_d = 2$	ID
10	$\frac{1}{s^2}$	$K_T = 1, K_i = 1, K_d = [0.1 \ 0.5 \ 4]$	PID
11	$\frac{1}{s(2s + 1)}$	$K_T = [0.2 \ 1 \ 3], K_i = [0 \ 15], K_d = 0$	PI

Ədəbiyyat

5. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
6. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
7. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMLƏRİNİN STATİK XƏTASININ TƏYİNİ

İşin məqsədi: P-proporsional (mütənasib) və Pİ-proporsional –inteqral tənzimləyiciləri istifadə olunduğu ATS-in dəqiqliyinin tədqiqi. Statik, sürət və təcilə görə xəta əmsallarının hesablanması və modelləşdirilməsi.

3. Nəzəri məlumat

Avtomatik tənzimləmə sistemi *idarəetmə obyekt*i ilə *tənzimləyicinin* (idarə qurğusu) vəhdətindən ibarətdir. ATS-in yaradılmasında əsas məqsəd obyektin tənzimlənən $y(t)$ çıxışının tapşırıq $g(t)$ -yə bərabərliyini təmin etməkdən ibarətdir. İlk baxışdan sadə görünən bu məsələ aşağıdakı səbəblərə görə problematiktir:

1. Sistemə (əsasən obyektə) təsir edib onu hər an tarazlıq vəziyyətindən çıxaran *həyacanlandırıcı $f(t)$ təsirlərinin* mövcud olması.

2. Tapşırığın qiyməti dəyişdikdə *keçid prosesinin* meydana çıxması. Bu xüsusiyyət bütün dinamik sistemlərə xas olub arzu olunmazdır. $y(t) \approx g(t)$ şərti yalnız keçid prosesi başa çatdıqdan, yəni *qərarlaşma* baş verdikdən sonra ödənilə bilər. Buna çox vaxt sərf oluna bilər.

Göstərilən səbəblərə əsasən hər bir ATS-in əsas vəzifəsi:

1. Həyacanlandırıcı təsiri *kompensasiya* (tarazlaşdırma) etmək.
2. Keçid prosesini yaxşılaşdırmaq.

Birinci hal **statik** (qərarlaşmış) **xətanın** azaldılması, ikinci hal isə **dinamik keyfiyyət göstəricilərini** (bax lab. işi N8), məsələn, tənzimləmə vaxtı, təmin etmək ilə əlaqədardır.

Bu əməliyyatlar tənzimləyici tərəfindən yerinə yetirilir. Müvəffəqiyyət tənzimləyicinin tipinin (P-, Pİ-, PİD- və s.) və sazlama parametrlərinin düzgün seçilməsindən asılıdır.

ATS qərarlaşmış rejimdə uzun müddət işlədiyindən statik və ya qərarlaşma xətasını bilmək çox vacibdir.

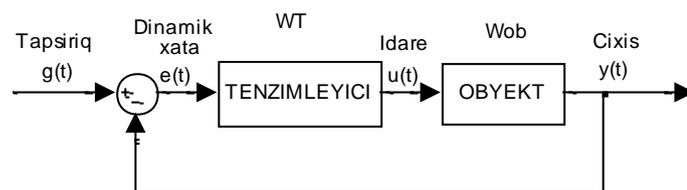
Laboratoriya işində tapşırıq signalının yaratdığı Δ_s statik xəta tədqiq olunur.

Statik xətanın mövcud olub-olmamasına görə tənzimləmə sistemləri iki qrupa bölünür:

1. Statik ATS, əgər, $\Delta_s \neq 0$.

2. Astatik ATS, əgər, $\Delta_s = 0$.

ATS-in sxemi şəkil 1.1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1.1. Əks əlaqəli ATS-in struktur sxemi

Statik xəta. Statik xəta $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$ dinamik xətanın hədd qiyməti olub ATS-in dəqiqliyini xarakterizə edir:

$$\Delta_s = \varepsilon(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t).$$

Xətanın təsviri $E(s)$ məlum olarsa, hədd teoreminə əsasən

$$\Delta_s = \lim_{t \rightarrow \infty} sE(S). \quad (1)$$

Sxemə əsasən tapşırıq $g(t)$ signalının yaratdığı xəta:

$$E(s) = \frac{1}{1 + W_A(s)} G(s) .$$

$W_A = W_T W_{ob}$ - açıq ATS-in ötürmə funksiyası, $G(s)$ - tapşırıq $g(t)$ signalının təsviri. Məsələn, $g(t)=1$ vahid təkən olarsa təsvir $G=1/s$.

İfadə (1)-dən göründüyü üçün statik xətanın qiyməti obyektin W_{ob} , tənzimləyicinin W_T və hətta tapşırıq signalının G tipindən asılıdır. Axırını xüsusiyyət çox **mənfi haldır** – başqa tapşırıq qanununa keçdikdə tənzimləyicini də dəyişmək lazımdır.

Tənzimləmə xətasının $t = \infty$ nöqtəsindəki qiymətini, yəni Δ_s -i (1) düsturunun köməyi ilə nəzəri olaraq hesablamaq olar. Lakin praktikada zaman $t < \infty$ olduğundan Δ_s -i müşahidə etmək prinsipial olaraq mümkün deyil. Əksər hallarda keçid prosesi tez qərarlaşdığından Δ_s -i sonlu vaxta qiymətləndirmək mümkün olur: $\Delta_s \approx \varepsilon(T)$, T – qərarlaşma üçün kifayət edən sonlu zamandır.

Böyük dəqiqlik tələb olunmayan obyektlərdə statik ATS-dən istifadə edilir.

Statik xətanı üç tip tapşırıq siqnalları üçün təyin etmək əhəmiyyətlidir.

1. **Pilləvari signal**, $g(t)=A$ (A -amplitudlu vahid təkən).

2. **Xətti** (sabit sürətlə) **dəyişən signal**, $g(t)=At$.

3. **Kvadratik** (parabolik) **dəyişən signal**, $g(t)=At^2/2$.

Açıq ATS-in ötürmə funksiyası ümumi halda $zpk(\cdot)$ (Zero-Pole-Gain) şəklində aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$W_A = W_T W_{ob} = \frac{K_A \prod_{i=1}^m (s - z_i)}{s^N \prod_{i=1}^n (s - p_i)} .$$

$N \geq 0$ – ATS-in **astatizm dərəcəsi** adlanır. z_i, p_i - açıq ATS-in sıfırları və qütbləri, K_A -açıq ATS-in gücləndirmə əmsəlidir. Bu ifadədə tənzimləyicinin payı:

$$W_T = \frac{(s - z_1)(s - z_2) \dots}{s^N} .$$

Tənzimləyicinin z_k sıfırlarını elə seçmək lazımdır ki, qapalı ATS dayanıqlı olsun! Obyekt özü inteqrallayıcı xassəyə malik olarsa, yəni sıfıra bərabər olan p_j qütbləri mövcuddursa, onun hesabına tənzimləyicinin astatizm dərəcəsi N -ni azaltmaq olar.

Tapşırıq signalından asılı olaraq aşağıdakı tənzimləyicilərdən istifadə olunur:

1. P-tənzimləyici, $N=0$. $W_T=K_T$.

2. Pİ-tənzimləyici, $N=1$. $W_T = (K_T s + K_I) / s$.

3. Pİİ²-tənzimləyici, $N=2$. $W_T = (K_T s^2 + K_I s + K_{I^2}) / s^2$.

Ümumiyyətlə, tapşırıq signalının tərtibi t^{N-1} olarsa $\Delta_s = 0$ almaq üçün ATS-in astatizm dərəcəsi N olmalıdır (yəni bir vahid artıq). Bu halda tənzimləyicinin tərkibində N sayda inteqrallayıcı bəndin olması zəruridir. Nəzərdə tutulur ki, obyektin astatizm dərəcəsi sıfırdır, yəni o, inteqrallayıcı xassəyə malik deyil.

Tənzimləyicilərin tətbiqində aşağıdakı hallar xarakterikdir.

1. **Pilləvari giriş**, $g=A$. Statik xəta ifadə (1)-ə əsasən:

$$\Delta_s = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{1 + W_A(s)} \cdot \frac{A}{s} = \frac{A}{1 + W_A(0)} .$$

a) P-tənzimləyici, $N=0$:

$$\Delta_s = \frac{A}{1 + K_p}, \quad K_p = \lim_{s \rightarrow \infty} W_A(s) = \frac{A}{1 + K_A \prod z_i / \prod p_i} \quad (2)$$

$N > 1$ olduqda $W_A(0) = \infty$. Bu səbəbdən:

b) Pİ-tənzimləyici, $N=1$. $\Delta_s = 0$.

ç) Pİİ²-tənzimləyici, $N=2$. $\Delta_s = 0$.

K_p – **statik** (yerdəyişmə) **xəta əmsalı** adlanır.

2. **Xətti giriş signalı, $g=At$** . Statik xəta:

$$\Delta_s = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s}{1 + W_A(s)} \cdot \frac{A}{s^2} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{A}{s + s W_A(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{A}{s W_A(s)} \quad .$$

a) P-tənzimləyici, $\Delta_s = \infty$.

b) Pİ-tənzimləyici:

$$\Delta_s = \frac{A}{K_v}, \quad K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s W_A(s) \quad (3)$$

ç) Pİİ²-tənzimləyici, $\Delta_s = 0$.

K_v – **sürətə görə xəta əmsalı** adlanır.

3. **Kvadratik giriş signalı, $g = At^2 / 2$** . Statik xəta:

$$\Delta_s = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{s}{1 + W_A(s)} \cdot \frac{A}{s^3} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{A}{s^2 W_A(s)} \quad .$$

a) P-tənzimləyici, $\Delta_s = \infty$.

b) Pİ-tənzimləyici, $\Delta_s = \infty$.

ç) Pİİ²-tənzimləyici:

$$\Delta_s = \frac{A}{K_a}, \quad K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 W_A(s) \quad (4)$$

K_a - **təcilə görə xəta əmsalı** adlanır.

2. Nümunə

Obyektin ötürmə funksiyası:

$$W_{ob} = \frac{s + 3}{s^2 + 0.5s + 2} \quad .$$

1. $g = A$, $A = 1$.

a) P-tənzimləyici, $K_T = 10$ qəbul edək. İfadə (2)-yə əsasən:

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} (W_A(s)) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{10(s + 0.3)}{s^2 + 0.5s + 2} \right) = 1.5, \quad \Delta_s = \frac{A}{1 + K_p} = 0.4 \quad .$$

2. $g = At$, $A = 0.6$.

b) Pİ-tənzimləyici, $K_T = 5$, $K_I = 20$. İfadə (3)-ə əsasən:

$$K_a = \lim_{s \rightarrow 0} \left(s \cdot \frac{5s + 20}{s} \cdot \frac{s + 0.3}{s^2 + 0.5s + 2} \right) = 20 \cdot 0.3 / 2 = 3. \quad \Delta_s = A / K_a = 0.6 / 3 = 0.2 \quad .$$

3. $g = At^2/2$, $A = 1$. Obyekt $W_{ob} = K_A/(Ts+1)$, $K_A = 2$, $T = 2s$.
 ç) Pİİ²-tənzimləyici $K_T = 3$, $K_I = 10$, $K_{f^2} = 10$. İfadə (4)-ə əsasən:

$$K_a = \lim_{s \rightarrow 0} (s^2 \frac{K_T s^2 + K_I s + K_{f^2}}{s^2} \frac{K_A}{Ts+1}) = K_{f^2} K_A = 20.$$

$$\Delta_s = A/K_a = 1/20 = 0.05.$$

P- və Pİ-tənzimləyiciləri kimi *Simulink/Extras/Additional Linear* kitabxanasında yerləşən PİD-tənzimləyicidən istifadə etməli. D-hissənin əmsalını $K_d = 0$ daxil etməli. Pİİ²-proporsional-inteqral-ikiqat inteqrallayıcı tənzimləyici Simulinkdə olmadığına görə onu ötürmə funksiyası

$$W_T = \frac{2s^2 + 10s + 10}{s^2}$$

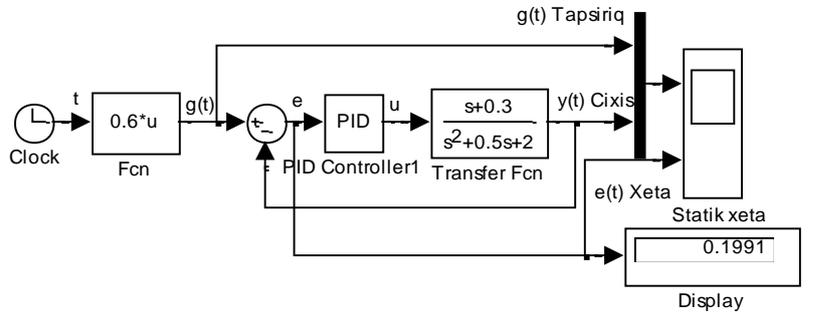
olan bənd kimi realizasiya etmək lazımdır. Sazlama parametrlərini blokun parametrlər pəncərəsindən daxil etməli.

Pİİ²-tənzimləyicinin K_T , K_I və K_{f^2} parametrləri elə seçilməlidir ki, qapalı ATS dayanıqlı olsun. Yəni

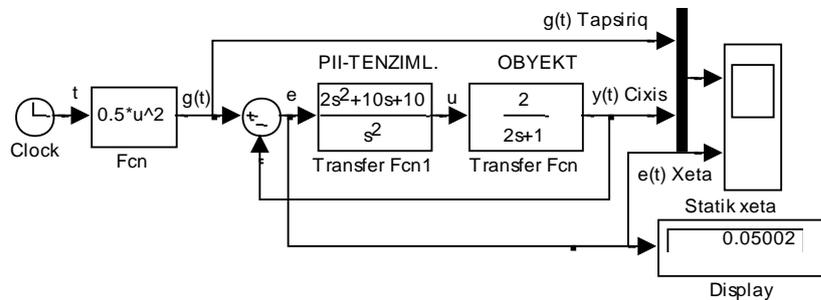
$$W_Q = \frac{W_T W_{ob}}{1 + W_T W_{ob}} = \frac{M(s)}{D(s)}$$

ötürmə funksiyasında $D(s)=0$ xarakteristik tənliyinin bütün s_i köklərinin həqiqi hissələri $\text{Re}(s_i) < 0$ şərtini ödəsin. Kökləri Matlabda olan *roots(p)* funksiyasının köməyi ilə təyin etmək olar. Burada p polinom $D(s)$ -in əmsallar vektorudur, məsələn, $p=[1 \ 2 \ 3]$.

Şəkil 1.2 a,b-də 1 və 2 bəndlərinə uyğun ATS-in (a) və 3-cü bəndə uyğun (b) ATS-in sxemləri göstərilmişdir.



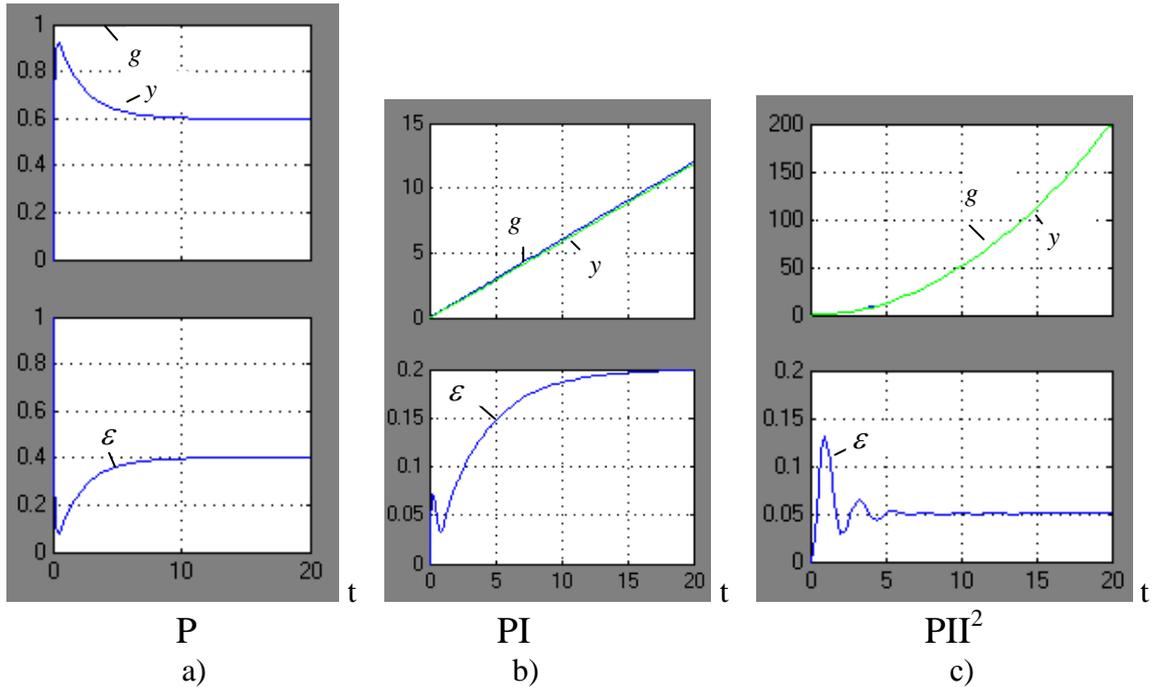
a)



b)

Şəkil 1.2

Şəkil 1.3-də tapşırıq $g(t)$, çıxış $y(t)$ (birlikdə), xətlər $\varepsilon(t)$ ayrıca göstərilmişdir. $T=20s$ müddətinə qərarlaşma müşahidə olunduğundan $\varepsilon(20) \approx \Delta_s$ qəbul etmək olar.



Şəkil 1.3

Nümunəyə əsasən hesablama və modelləşdirmə nəticəsində displeydə alınmış Δ_s statik xətlər və fərqi Cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1

	Xəta əmsalları	Hesablama (nəzəri)		Modelləşdir mə (təcrübi)	Fərq
1	Statik xəta əmsalı	$K_p = 1.5$	$\Delta_s = 0.4000$	$\Delta_s = 0.4001$	-0.0001
2	Sürət xəta əmsalı	$K_v = 3.0$	$\Delta_s = 0.200$	$\Delta_s = 0.1991$	0.0009
3	Təcil xəta əmsalı	$K_a = 20$	$\Delta_s = 0.050$	$\Delta_s = 0.05002$	-0.00002

Göründüyü kimi modelləşdirmə nəticəsində çox dəqiq nəticələr alınmışdır.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilmə qaydası

1. Variantlar üzrə obyektin W_{ob} ötürmə funksiyasının parametrini seçməli. Tənzimləyicilərin K_T , K_I , K_{I^2} və A -nın qiymətlərini nümunədən götürmək.
2. Nümunəyə əsasən K_p , K_v , K_a və uyğun Δ_s -i hesablamaq. Mürəkkəb halda (2)-(4) ifadələrindəki **lim(.)** hesablamaq üçün *Matlab*-da olan **limit(. , s , 0)** funksiyasından istifadə etmək olar.
3. Simulinkdə hər üç bəndə əsasən şəkil 1.2-yə uyğun ATS-ləri ardıcıl olaraq yığmalı. PID parametrlər pəncərəsindən 1 və 2 bəndlərinə uyğun sazlama parametrlərini daxil etmək.
4. Tapşırıq $g(t)$ signalını 1-3 bəndlərinə uyğun formalaşdırmaq. Obyektin ötürmə funksiyasının parametrlərini *Transver Fcn* blokunun parametrlər pəncərəsindən daxil etməli.
5. Simulyasiya T vaxtını qərarlaşma baş verənə qədər artırmalı.
6. Hər üç hal üçün $\varepsilon(t)$ qrafikini Scope cihazında müşahidə edib T nöqtəsində qrafikə çoxdəfəli "click" etməklə $\varepsilon(T) \approx \Delta_s$ qiymətini təyin edib hesablanmış qiymətlərlə birlikdə cədvələ yazmaq. Fərqi qiymətləndirməli.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qrup üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə obyektin ötürmə funksiyası və tənzimləyicinin sazlama parametrləri.
3. Şəkil 1.2-yə uyğun ATS-in sxemləri.
4. Şəkil 1.3 a, b, ç-yə uyğun xarakteristikalar.

5. Yoxlama sualları

1. ATS-in yaradılmasında məqsəd.
2. Dinamik xəta.
3. Statik xəta.
4. Xəta əmsalları.
5. PİD-tənzimləyicisinin parametrlər pəncərəsi.
6. Pİİ²-tənzimləyicisinin tipi.
7. Tapşırıq signalının formalaşdırıldığı Fcn bloku.

6. Variantlar

Obyektin ötürmə funksiyası:

$$W_{ob} = \frac{b_0 s + b_1}{a_0 s^2 + a_1 s + a_2}$$

Variant	1	2	3	4	5
Obyektin parametrləri	$b_0 = 0, b_1 = 1,$ $a_0 = 0, a_1 = 2$ $a_2 = 1$	$b_0 = 2, b_1 = 1,$ $a_0 = 1, a_1 = 6$ $a_2 = 10$	$b_0 = 0, b_1 = 2,$ $a_0 = 1, a_1 = 0.6$ $a_2 = 4$	$b_0 = 0.2, b_1 = 1,$ $a_0 = 1, a_1 = 0.3$ $a_2 = 2$	$b_0 = 0.4, b_1 = 5,$ $a_0 = 7, a_1 = 0.1$ $a_2 = 10$

4. P-tənzimləyicisi: $A=1, K_T=10$.
5. Pİ-tənzimləyicisi: $A=0.6, K_T=5, K_f=20$.
6. Pİİ²-tənzimləyicisi: $A=1, K_T=3, K_f=10, K_{f^2}=10$.

Ədəbiyyat

1. R.Ə.Əliyev, R.R.Əliyev “Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi” dərslik, Bakı, Çarşoğlu, 2007, 640 səh.
2. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
3. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolla riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
4. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, “Təhsil” EİM, 2010, 188 s.
5. S.M.Cəfərov, K.A.Məmmədov “Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi və modelləşdirmə fənni üzrə laboratoriya işləri”, dərs vəsaiti, 2010, 208s.

TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMLƏRİNİN XƏTASININ AZALDILMASI ÜSULLARININ TƏDQIQI

İşin məqsədi: Tənzimləmə sistemlərinin statik xətasının azaldılma üsullarının öyrənilməsi və Simulinkdə modelləşdirmə yolu ilə tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

Avtomatik tənzimləmə sistemlərində iki növ xəta meydana çıxır:

1. Dinamik xəta - $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$;

2. Statik və ya qərarlaşmış xəta - Δ_s .

ATS-in dəqiqliyi statik xəta ilə qiymətləndirilir. Statik xətanın mövcud olub-olmamasından asılı olaraq ATS-lər iki qrupa bölünür:

1. Statik ATS, əgər $\Delta_s \neq 0$;

2. Astatik ATS, əgər $\Delta_s = 0$.

Statik sistemlərdən yüksək dəqiqlik tələb olunmayan obyektləri tənzimləmək üçün istifadə olunur.

Sistem qərarlaşmış rejimdə uzun müddət işlədiyindən statik xətanın **kiçik olması** çox əhəmiyyətlidir.

Statik xəta. Statik xəta dinamik $\varepsilon(t)$ xətasının hədd qiymətidir:

$$\Delta_s = \varepsilon(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) \quad (1)$$

Xətanın sonsuzluqdakı Δ_s qiymətini hesablamaq mümkün olsa da praktikada $t < \infty$ olduğundan onu müşahidə etmək vizualizasiya cihazında prinsipial olaraq müşahidə etmək (görmək) mümkün deyil. Lakin əksər obyektlərdə keçid prosesləri sonlu T vaxtına yüksək dəqiqliklə qərarlaşır. Bu səbəbdən $\Delta_s \approx \varepsilon(T)$ qəbul etmək olar. Praktiki hesablamalarda Δ_s kimi dinamik $\varepsilon(t)$ xətasının verilmiş buraxıla bilən xəta zolağına daxil olma anı ilə təyin olunur. Bu zolağın eni tapşırıq g -dən 2-5% qəbul olunur.

Mühəndis hesablamalarında (1) ifadəsindən yox, xətanın $E(s)$ təsvirindən istifadə edərək aşağıdakı düsturdan istifadə olunur:

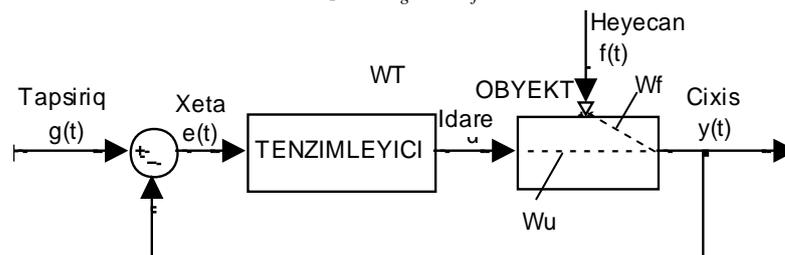
$$\Delta_s = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) \quad (2)$$

Xətti sistemlərdə superpozisiya prinsipinə əsasən Δ_s bütün girişlərin yaratdığı statik xətaların cəminə bərabərdir:

$$\Delta_s = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots$$

Şəkil 1.1-də göstərilən ATS-in iki: tapşırıq $g(t)$ və həyacan $f(t)$ girişləri mövcud olduğundan:

$$\Delta_s = \Delta_g + \Delta_f.$$



Şəkil 1.1. Əks əlaqəli birölçülü ATS.

Sxemə əsasən xətlərin təsviri:

$$\begin{aligned} E_g(s) &= W_g^\varepsilon(s)G(s) = \frac{1}{1+W_A(s)}G(s), \\ E_f(s) &= W_f^\varepsilon(s)F(s) = \frac{W_f(s)}{1+W_A(s)}F(s). \end{aligned} \quad (3)$$

$W_A(s) = W_T(s)W_u(s)$ - açıq ATS-in ötürmə funksiyası, $W_u(s), W_f(s)$ - obyektin idarə və həyacan kanalları üzrə ötürmə funksiyaları, $G(s), F(s)$ - $g(t)$ və $f(t)$ -nin təsvirləridir.

(3) ifadəsini (2)-də yerinə yazsaq ümumi statik xəta:

$$\Delta_g = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1+W_A}G, \quad \Delta_f = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{W_f}{1+W_A}F. \quad (4)$$

Sadəlik üçün $f(t)=0$ qəbul edib tapşırıq $g(t)$ siqnalının yaratdığı $\Delta_g = \Delta_s$ statik xətasının azaldılması ilə məşğul olacağıq. $W_A = W_T W_U$.

$$\Delta_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \left(\frac{1}{1+W_A(s)} \right) G(s) \quad (5)$$

Statik xətanın azaldılma üsulları

1. 1-ci ÜSUL. Açıq ATS-in gücləndirmə əmsalının artırılması. Bu halda açıq ATS-in gücləndirmə əmsalı tənzimləyicinin gücləndirmə əmsalı K_T -nin hesabına artırılır. Adətən P-tənzimləyici $W_T = K_T$ götürmək kifayətdir. Tapşırıq siqnalı vahid təkan $g=1 \Rightarrow G=1/s$ olduqda:

$$\Delta_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{1}{1+K_T W_u(s)} \right) \cdot \frac{1}{s} = \frac{1}{1+K_T W_u(0)} = \frac{1}{1+K_T K_u}. \quad (6)$$

$K_T K_u = K_A$ açıq ATS-in gücləndirmə əmsalıdır. Obyektin gücləndirmə əmsalı $K_u = b_m / a_n$.

(6) ifadəsindən görüldüyü kimi tənzimləyicinin gücləndirmə K_T əmsalının, deməli açıq AİS-nin gücləndirmə əmsalı K_A -nın artırılması statik xətanın azalmasını təmin edir: $\Delta_s \rightarrow 0$.

Bu üsulun müsbət cəhəti tənzimləyicinin sadə, yəni Pİ-tənzimləyicisi olmasında, mənfi cəhəti isə:

a) gücləndirmə əmsalının artırılması ATS-in dayanıqlıq ehtiyatlarını azaldır və müəyyən qiymətindən sonra sistemin dayanıqlığı pozula bilər;

b) texniki məhdudiyətin olması. Məsələn, pnevmatik tənzimləyicilərdə $K = 30-40$.

İfadə (6) öz qüvvəsini $g=1$ -dən fərqli siqnallar və Pİ, PID-tənzimləyiciləri üçün də öz qüvvəsini saxlayır.

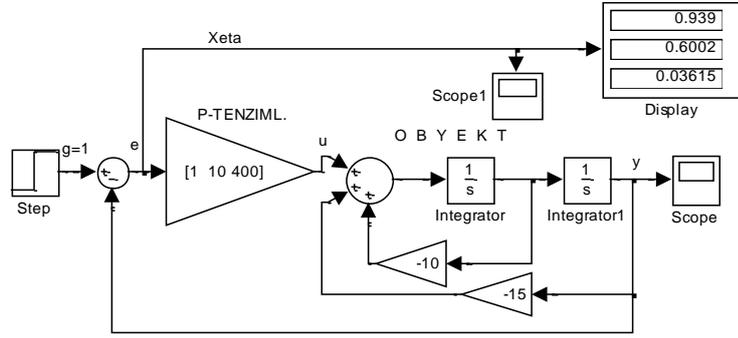
2. Nümunə 1

Obyekt:

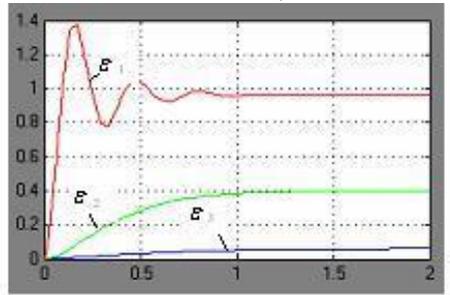
$$W_{ob} = W_u = \frac{1}{s^2 + 10s + 15}.$$

Tənzimləyici: P-tənzimləyici, $W_T = K_T$.

Şəkil 1.2 a-da ATS-in Simulink sxemi göstərilmişdir. K_T -nin müxtəlif qiymətlərində vektor həlli ala bilmək üçün obyektin vəziyyət modelindən istifadə edilmişdir. Şəkil 1.2 b-də $K_T = [1 \ 10 \ 400]$ qiymətlərində dinamik $\varepsilon(t)$ xətalari göstərilmişdir.



a)



b)

Şəkil 1.2

Qərarlaşma $t=T=2$ s. qiymətində baş verdiyində $\Delta_s \approx \varepsilon(2)$ qəbul etmək olar. Bu qiymətlər displeydə də aydın görünür: $\Delta_s = [0.939 \ 0.6002 \ 0.03615]$. Göründüyü kimi K_T artdıqca Δ_s azalır.

Statik xətanın (6) ifadəsinə əsasən $b_m = 1$, $a_n = 15$ üçün hesablanmış dəqiq qiymətləri: $\Delta_s = [0.9375 \ 0.6000 \ 0.03614]$. Göründüyü kimi modelləşdirmənin nəticələri kifayət qədər dəqiq alınmışdır.

2. 2-cü ÜSUL. Astatizmin təmin olunmasının dəqiq üsulu. Ümumi hal.

Bu üsul giriş siqnalının və obyektin tipindən asılı olmayaraq tənzimləyicini lazımı qaydada seçməklə astatizmi, yəni $\Delta_s = 0$ şərtini təmin etməyə imkan verir.

Üsul aşağıdakı qanunauyğunluğa əsaslanır.

Astatizmi təmin etmək üçün qapalı ATS-in xətaya nəzərən $W_g^\varepsilon(s)$ ($W_f^\varepsilon(s)$) ötürmə funksiyasının sıfırları içərisində giriş $G(s)$ ($F(s)$) siqnalının bütün qütbləri mövcud olmalıdır, yəni qütblər sıfırlara bərabər olmalıdır.

Bu halda sıfırlar ilə siqnalın qütbləri islah (kompensasiya) olunaraq idarə $u-y$ (həyacan $f-y$) kanalı üzrə astatizm təmin olunur.

Astatizmin təmin olunmasının riyazi mexanizmini araşdıraraq. İşarə edək:

$$G(s) = \frac{M_g(s)}{D_g(s)}, \quad W_T(s) = \frac{M_T(s)}{D_T(s)}, \quad W_u(s) = \frac{M_u(s)}{D_u(s)}. \quad (7)$$

(7)-ni (3)-də nəzərə alsaq alarıq:

$$E_g(s) = W_g^\varepsilon G = \frac{D_T D_u}{D_T D_u + M_T M_u} \cdot \frac{M_g}{D_g}.$$

Göründüyü kimi tənzimləyicinin qütbləri D_T sürətə daxil olduğundan W_g^ε -in sıfırlarına çevrilir. Bu giriş siqnalının D_g qütblərini tənzimləyicinin D_T qütblərinin köməyi ilə islah (kompensasiya) etməyə imkan verir. Bu məqsədlə sadəcə olaraq $D_T(s) = D_g(s)$ qəbul etmək kifayətdir.

$D_g(s)$ qütbləri kompensasiya olunduqdan sonra yeni $G^*(s)$ yalnız sıfırlardan ibarət olacaqdır: $G^* = Mg(s)$.

Bu $g(t)$ siqnalının $\delta(t)$ impulsu və onun törəmələrindən ibarət olmasına ekvivalentdir. Məsələn, $G=2s+3$ olarsa hər tərəfdən tərs $L^{-1}(G)$ Laplas çevirməsi alsaq taparıq: $g(t) = 2\delta'(t) + 3\delta(t)$. Məcburi hərəkət yaratmayan bu tip girişlərdə $W_g^{\varepsilon^*}(s)$ dayanıqlı olarsa $E(s) = W_g^{\varepsilon^*} G^*$ ifadəsinə əsasən $\varepsilon(t) \rightarrow 0 \Rightarrow \Delta_s = 0$ şərti, yəni ATS-in astatikliyi təmin olunur. Burada:

$$W_g^{\varepsilon^*} = \frac{M_\varepsilon^*(s)}{D_\varepsilon^*(s)} = \frac{D_u(s)}{D_g(s)D_u(s) + M_T(s)M_u(s)} .$$

$W_g^{\varepsilon^*}(s)$ ötürmə funksiyasının dayanıqlı olması üçün $D_g^{\varepsilon^*}(s) = 0$ tənliyinin bütün s_i kökləri üçün məlum $\text{Re}(s_i) < 0$ şərti ödənilməlidir. Kökləri Matlabın tərkibində olan *roots* ([5 3 ...]) funksiyasının köməyi ilə təyin etmək olar. 5 3 ... polinomun əmsallarıdır.

Tənzimləyicinin $M_T(s)$ sıfırları sərbəst olduğundan dayanıqlığı onları seçməklə təmin etmək olar.

Beləliklə, astatizmin təmin olması aşağıdakı bəndlərdən ibarətdir:

1. Tapşırıq $g(t)$ (lazımdırsa həyacan $f(t)$) siqnalının təsvirini tapmaq;
2. Tənzimləyicinin $W_T = M_T(s)/D_T(s)$ ötürmə funksiyasında $D_T(s)=D_g(s)$ qəbul etmək.
3. Məlum $D_g(s)$ və obyektin verilmiş $W_u = M_u(s)/D_u(s)$ ötürmə funksiyası üçün $M_T(s)$ -i seçməklə

$$D_\varepsilon^*(s) = D_g(s)D_u(s) + M_T(s)M_u(s) = 0 \quad (8)$$

polinomunun s_i kökləri üçün $\text{Re}(s_i) < 0$ şərtini təmin etməli. Kökləri təyin etmək üçün Matlabda yerləşən *roots* (.) funksiyasından istifadə etməli.

$M_T(s)$ -in seçilməsi bir qiymətli məsələ olmadığından ondan eyni zamanda verilmiş dayanıqlıq ehtiyatlarını və ATS-in keyfiyyət göstəricilərini də təmin etməsini tələb etmək olar.

2. Nümunə 2

2.1. Obyektin idarə kanalı **g-y** üzrə ötürmə funksiyası:

$$W_{ob} = W_u(s) = \frac{M_u}{D_u} = \frac{s+10}{s+2} .$$

Giriş siqnalı $g(t)=2t -$ xətti dəyişən tapşırıq siqnalı.

1. Giriş siqnalının təsviri $G=2/s^2$. Deməli $D_g = s^2$.
2. Tənzimləyicinin giriş siqnalının qütblərini kompensasiya edən qütbləri: $D_T=D_g=s^2$. Bu halda tənzimləyicinin ötürmə funksiyası

$$W_T = \frac{M_T(s)}{s^2} .$$

3. İfadə (8)-ə əsasən: $D_\varepsilon^* = s^2(s+2) + M_T(s+10)$.

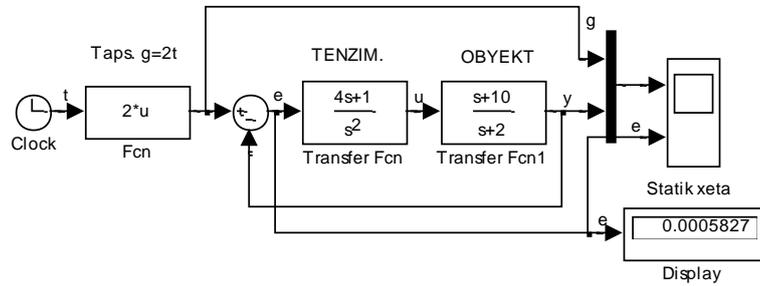
Ən sadə halda $M_T(s)=1$ qəbul etmək olar. Bu halda $D_\varepsilon^* = s^3 + 2s^2 + s + 10$. Köklər $s_1 = -2.87$, $s_{2,3} = 0.434 \pm 1.82j$. $\text{Re}(s_{2,3}) > 0$ olduğundan $W_g^{\varepsilon^*}(s)$ üçün dayanıqlıq şərti ödənilmir. Dayanıqlığı təmin etmək üçün $M_T(s)=4s+1$ qəbul edək. Onda $D_\varepsilon^* = s^3 + 6s^2 + 41s + 10 = 0$. Köklər $s_{1,2} = -2.87 \pm 5.59j$, $s_3 = -0.25$ olduğundan hər üç kök üçün $\text{Re}(s_i) < 0$ şərti ödənilir.

Beləliklə, **u-y** kanalı üzrə astatizmi təmin edən tənzimləyicinin ötürmə funksiyası

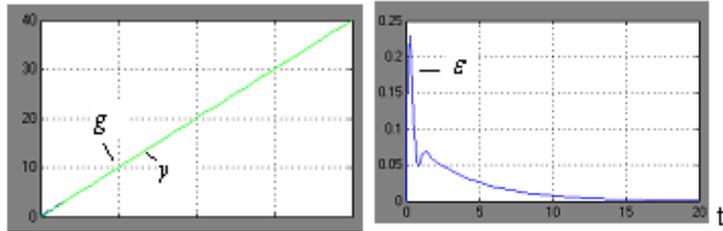
$$W_T(s) = \frac{4s+1}{s^2} .$$

Alınmış tənzimləyici ikiqat astatizmə malik olan Π^2 -inteqral tənzimləyicidir.

Şəkil 1.3-də ATS-in *Simulink*də modelləşdirmə sxemi (a), $g(t)$, $y(t)$ və $\varepsilon(t)$ qrafikləri (b) göstərilmişdir. Qərarlaşma $T=20$ s. baş verdiyindən $\varepsilon(20) \approx \Delta_s$ qəbul etmək olar.



a)



b)

Şəkil 1.3

Displaydə müşahidə edilən $\varepsilon(20) \approx \Delta_s = 0.0005827$ qiyməti sıfır kifayət qədər yaxın alınmışdır. Simulyasiya vaxtını artırıb $T=30$ s. götürsək xətanı daha da azaltmaq olar: $\varepsilon(30)=0.00002327$.

Obyektin tənliyi misal 2.1-də olduğu kimidir:

$$W_{ob} = W_u = \frac{s+10}{s+2} .$$

Lakin tapşırıq harmonuk siqnaldır: $g(t)=2\cos(\omega t)$, ω - tezlikdir, *rad/s*.

1. Uyğun təsvir: $G=2s/(s^2 + \omega^2)$. Deməli $D_g = s^2 + \omega^2$.

2. Tənzimləyicinin kompensasiyaedici hissəsi: $D_T = D_g = s^2 + \omega^2$. Bu halda

tənzimləyicinin tənliyi: $W_T = \frac{M_T(s)}{s^2 + \omega^2}$.

3. İfadə (8)-ə əsasən: $D_\varepsilon^* = (s^2 + \omega^2)(s+2) + M_T(s+10) = 0$.

Dayanıqlığı təmin etmək üçün $M_T=3s+1$ qəbul edək. Onda $D = D_\varepsilon^* = s^3 + 5s^2 + (\omega^2 + 31)s + 2\omega^2 + 10 = 0$. Hurvis dayanıqlıq kriteriyasına əsasən

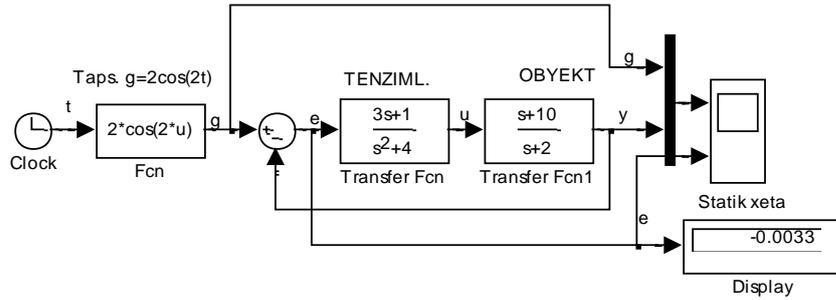
$a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$ şərti ödənilməlidir. Burada $a_0 = 1, a_1 = 5, a_2 = \omega^2 + 31, a_3 = 2\omega^2 + 10$ olduğunu nəzərə alsaq sadələşdirmə apardıqdan sonra alarıq: $3\omega^2 + 145 > 0$.

Alınmış dayanıqlıq şərti ω tezliyinin istənilən qiymətində ödənilir.

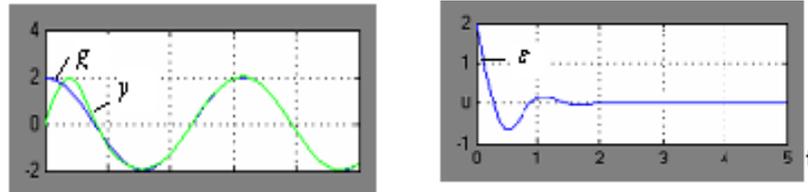
Beləliklə, **u-y** kanalı üzrə astatizmi təmin edən tənzimləyicinin ötürmə funksiyası:

$$W_T = \frac{3s + 1}{s^2 + \omega^2}.$$

Şəkil 1.4-də $\omega = 2 \text{ rad/s}$ qiymətində ATS-in modelləşdirmə sxemi (a) və $g(t), y(t), \varepsilon(t)$ qrafikləri göstərilmişdir. Qərarlaşmaya $T = 5s$ kifayət etmişdir.



a)



b)

Şəkil 1.4

Displaydə görüldüyü kimi $\varepsilon(5) \approx \Delta_s = -0.0033$ qiyməti sıfıra çox yaxın olduğundan hesab etmək olar ki, astatizm təmin olunmuşdur.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilməsi qaydası

1. Variantlar üzrə obyektin $W_{ob}(s)$ ötürmə funksiyasını və g tapşırıq signalını seçməli.
2. Tənzimləyicinin W_T ötürmə funksiyasını təyin edib nümunədə 1-də göstərilən sxemə (şəkil 1.2) əsasən K_T gücləndirmə əmsalının müxtəlif qiymətlərində statik xətalrı displaydə müşahidə edib qeyd etməli.
3. Tənzimləyicinin W_T ötürmə funksiyasını təyin edib nümunədə 2-də göstərilən sxemə (şəkil 1.3) əsasən statik xətanı displaydə müşahidə edib qeyd etməli.

3. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Obyektin ötürmə funksiyası və tapşırıq signalı.
3. Şəkil 1.2 və şəkil 1.3.

5. Yoxlama sualları

1. Statik və astatik ATS-lər.
2. Statik xəta.

3. Statik xətanın azaldılması üsulları.
4. Simulink sxemində qərarlaşma vaxtı necə təyin edilir.
5. Displayin rolu.

6. Variantlar

№	Tapşırıq siqnalı $g(t)$	Obyektin ötürmə funksiyası, W_{ob} 1-ci üsul	Obyektin ötürmə funksiyası, W_{ob} 2-ci üsul
1.	1	$\frac{1}{s^2 + 0.6s + 2}$	$\frac{s + 1}{s^2 + 0.2s + 1}$
2.	1	$\frac{1}{s^3 + 5s^2 + 2s + 1}$	$\frac{s + 8}{s^2 + 2s + 10}$
3.	$2t$	$\frac{5}{s^3 + 10s^2 + s + 5}$	$\frac{s}{s + 2}$
4.	$2t$	$\frac{4}{10s^2 + 2s + 10}$	$\frac{2}{0.3s^2 + 1}$
5.	$1 + 2t$	$\frac{4}{10s + 2}$	$\frac{s + 15}{s + 2}$
6.	$2\sin(2t)$	$\frac{2}{10s^2 + 1}$	$\frac{s + 1}{s + 2}$
7.	$2\cos(2t)$	$\frac{15}{s^2 + 10s + 20}$	$\frac{3s + 1}{s^2 + 1}$
8.	$0.5t^2$	$\frac{2}{s^2 + 0.8s + 1}$	$\frac{s + 4}{s + 1}$
9.	$2e^{0.4t}$	$\frac{4}{s^2 + 2s + 4}$	$\frac{10}{s(s + 10)}$
10.	1	$\frac{1}{s^2 + 10s + 15}$	$\frac{2s + 1}{s(0.5s + 1)}$

Ədəbiyyat

1. R.Ə.Əliyev, R.R.Əliyev “Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi” dərslik, Bakı, Çarşıoğlu, 2007, 640 səh.
2. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
3. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolla riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
4. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, “Təhsil” EİM, 2010, 188 s.
5. S.M.Cəfərov, K.A.Məmmədov “Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi və modelləşdirmə fənni üzrə laboratoriya işləri”, dərs vəsaiti, 2010, 208s.

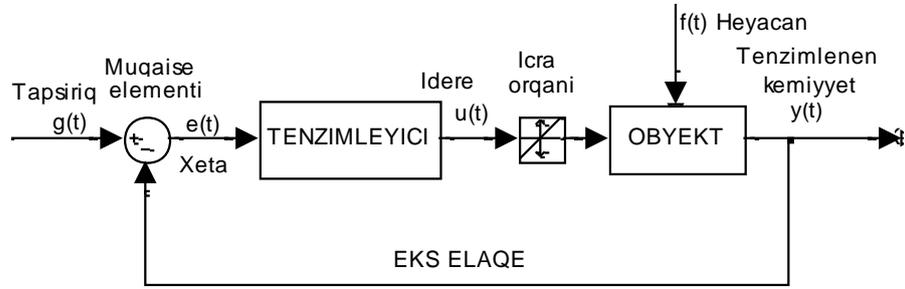
AVTOMATİK TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMLƏRİNİN *SİMULİNK*DƏ QURULMASI VƏ TƏDQIQI

İşin məqsədi: Xətti avtomatik tənzimləmə sistemlərinin *Simulink* paketində modelləşdirilməsi və tədqiqi.

3. Nəzəri məlumat

Avtomatik tənzimləmə sistemi (ATS) tənzimləyici (ümumi halda idarə qurğusu) ilə idarəetmə obyektinin vəhdətindən ibarətdir.

Tənzimləmənin əsas prinsipi əks əlaqə prinsipi olduğundan bu işdə əks əlaqəli (**feedback**) tənzimləmə sisteminin (qapalı ATS) qurulması və tədqiqinə baxılır. Şəkil 1.1-də əks əlaqəli birölçülü tənzimləmə sisteminin sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.1

Ümumiləşdirilmiş sxemlərdə icra orqanı obyektin tərkibinə daxil edildiyindən adətən sxemdə göstərilir.

Tənzimləmə sisteminin qurulmasında məqsəd tənzimlənən $y(t)$ kəmiyyətinin (obyektin çıxışı) özünün $g(t)$ tapşırığına bərabər etməkdir. Real şəraitdə bu bərabərlik müəyyən δ xətası ilə ödənilir:

$$y(t) = g(t) \pm \delta . \quad (1)$$

δ - verilmiş buraxıla bilən tənzimləmə xətasıdır. Onun qiyməti tapşırığın $2 \div 5\%$ -ni təşkil edir.

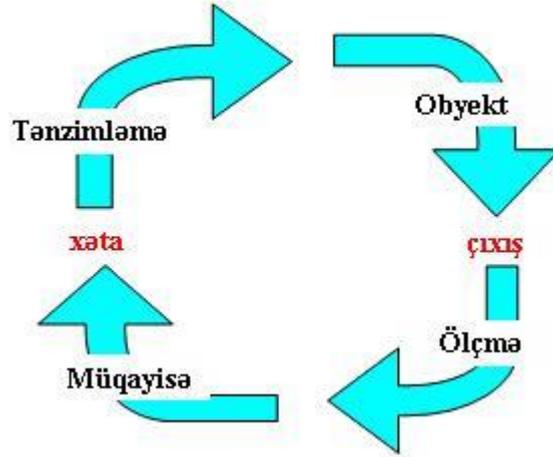
(1) şərtinin təmin olunması əsasən iki səbəbdən çətinləşir:

1. Real şəraitdə obyektə təsir edib onu tapşırıq vəziyyətindən meyl etdirən həyəcanlandırıcı $f(t)$ təsirinin mövcud olması
2. İdarəetmə obyektini dinamik obyekt olduğundan istənilən g və ya f girişləri dəyişdikdə keçid prosesinin meydana çıxması. Əsas məqsəd olan $y(t) = g \pm \delta$ bərabərliyi yalnız keçid prosesi başa çatdıqdan sonra yerinə yetirilir.

Deməli, ATS əsasən iki funksiyayı yerinə yetirməlidir.

1. Həyəcanlandırıcı təsirləri kompensasiya (tarazlaşdırma) etmək.
 2. Keçid prosesini yaxşılaşdırmaq (məsələn, tez başa çatmasını təmin etmək).
- Sistemdə istənilən dəyişiklik baş verdikdə $\varepsilon = g - y$ xətası artır. Bu zaman tənzimləyici obyektə elə təsir edir ki, xəta azalsın.

Şəkil 1.2-də əks əlaqə prinsipində qapalı əməliyyatlar ardıcılığı göstərilmişdir.



Şəkil 1.2

Əks əlaqə prinsipinə əsasən qurulmuş sistemlərin müsbət cəhəti:

1. Həyəcanlandırıcı $f(t)$ təsirini ölçmədən onu kompensasiya edə bilir.
2. Sistemdə baş verən istənilən dəyişikliyi hiss edir.

Mənfi cəhəti:

1. Tam kompensasiya gec yerinə yetirilir (nəzəri olaraq $t = \infty$ nöqtəsində).
2. Yüksək cəldlik əldə etmək mümkün olmur.
3. Həssaslığı yüksəkdir.

Tənzimləyici kimi praktikada özünü müsbət qələmə vermiş P, PI, PID-(proporsional-integral-diferensial) tənzimləyicilərdən istifadə olunur. PID-tənzimləyici P, I və D-toplananlarından ibarət olub, aşağıdakı tənlik ilə yazılır:

$$U = K_T \varepsilon + K_i \int_0^t \varepsilon dt + K_D \frac{d\varepsilon}{dt} .$$

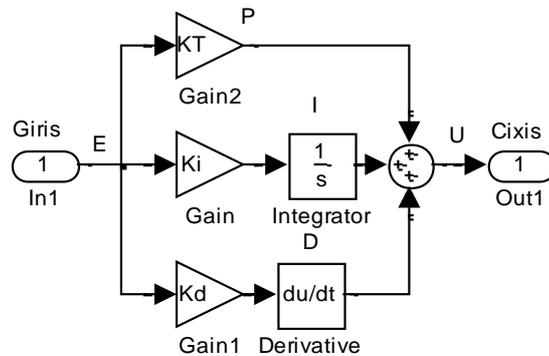
Burada $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$ -dinamik xəta, K_T , K_i , K_D - sazlama parametrləridir.

Sıfır başlanğıc şərtlərində bu ifadənin hər tərəfindən Laplas çevirməsi alsaq uyğun ötürmə funksiyasını tapa bilərik:

$$W_T(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_T + \frac{K_i}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_T s + K_i}{s}$$

P- və ya PI-tənzimləyicilərini almaq üçün sazlama parametrlərini $K_i = K_D = 0$ və ya $K_D = 0$ götürmək lazımdır.

Tənzimləyicinin daxili quruluşu şəkil 1.3-də göstərilmişdir.

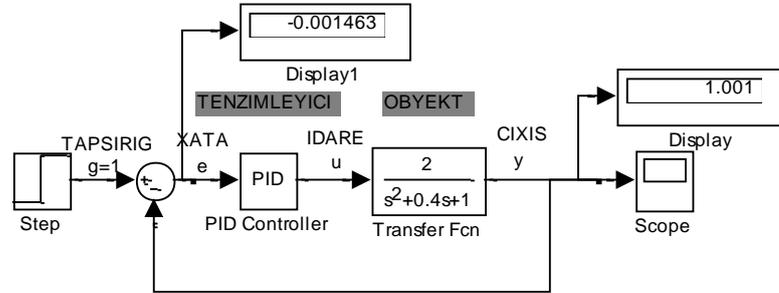


Şəkil 1.3

Simulinkdə PID-tənzimləyici *Simulink Extras/Additional Linear* bunkerində yerləşir. Sistemin keyfiyyət göstəriciləri sazlama parametrlərinin qiymətindən asılıdır.

Adətən ATS-in keyfiyyəti tapşırıq $g = 1(t)$ vahid təkən signalı halında tədqiq olunur. Keyfiyyət göstəriciləri sadə halda $y(t)$ keçid xarakteristikasının dəyişmə xarakterinə əsasən təyin olunur (bax, lab. işi №12). Bu işdə rəqsliyi və qərarlaşma (statik) xətası az olub tez qərarlaşan keçid xarakteristikası $y(t)$ keyfiyyətli hesab edəcəyik.

1. **Obyektin modeli** ötürmə funksiyası şəklində verilmişdir. Şəkil 1.4-də ATS-in *Simulink*də realizasiya sxemi göstərilmişdir.

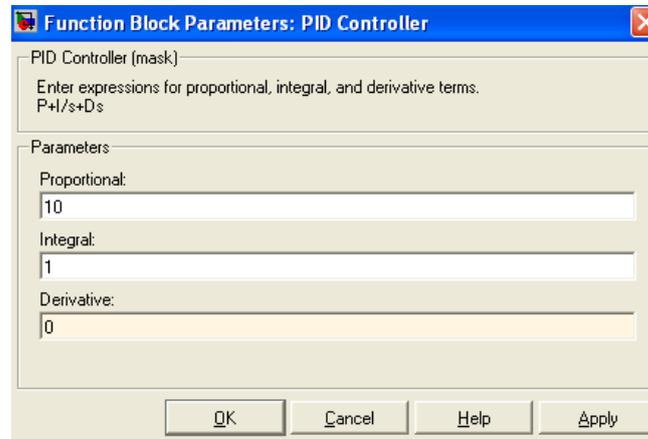


Şəkil 1.4

Obyektin ötürmə funksiyası- $W_{ob} = \frac{2}{s^2 + 0.4s + 1}$.

Tənzimləyici PID –tənzimləyicidir.

Şəkil 1.5-də PID tənzimləyicisinin parametrlər pəncərəsi göstərilmişdir.

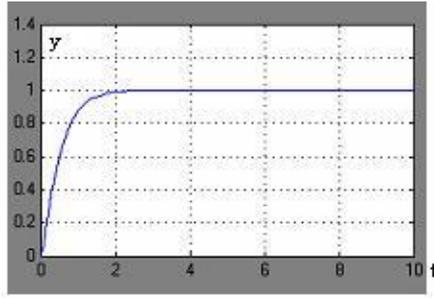


Şəkil 1.5

$K_T=10$, $K_i=1$, $K_D=0$ başlanğıc ilkin qiymətlər kimi daxil edilmişdir. K_D parametrini dəyişməklə keçid xarakteristikası $y(t)$ yaxşılaşdırılmışdır. Məqsəd rəqsliyi az olub, tez qərarlaşan keçid xarakteristikası almaqdır. Bundan başqa xəta $y(10) \approx 1$ olmalıdır. Xətanı displeydə müşahidə etməli.

Qənaətbəx keçid xarakteristikası $K_T=10$, $K_i=1$, $K_D=5$ qiymətlərində alınmışdır. Keçid xarakteristikası rəqssiz olub, tez bir zamanda ($t \approx 3s$) qərarlaşmışdır.

Şəkil 1.6-da yaxşılaşdırılmış keçid xarakteristikası göstərilmişdir.



Şəkil 1.6

Displaydən görüldüyü kimi statik (qərarlaşmış) xəta $\Delta_s \approx \varepsilon(10) = -0.00146$ olduğundan tənzimləmə yüksək dəqiqliklə aparılmışdır. Modelləşdirmə vaxtını $T = 10 \div 20$ s qəbul etmək olar.

2. Obyektin tənliyi vəziyyət modeli şəklində verilmişdir.

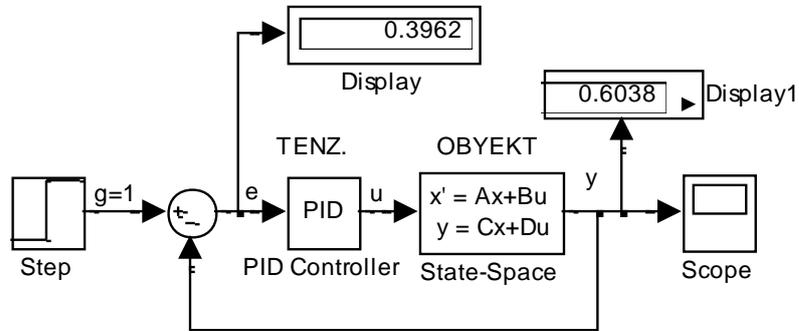
Obyektin modeli

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{matrix} \mathbf{A} \\ \mathbf{B} \end{matrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1.5 \end{pmatrix} u,$$

$$y = \begin{matrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{D} \end{matrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + 0 \cdot u.$$

Başlanğıc şərtlər $x_1(0) = x_2(0) = 0$. x_1, x_2 -vəziyyət dəyişənləri, u -idarə, y -ölçülən çıxış kəmiyyətidir. Tənzimləyici- P- tənzimləyici.

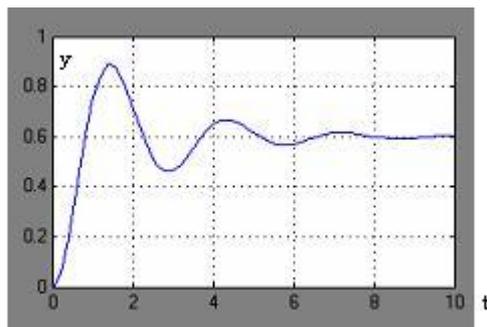
Şəkil 1.7-də ATS-in sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.7

P-tənzimləyicinin cəmi bir K_T parametri mövcud olduğundan ($K_i=K_D=0$) hər dəfə onu parametrlər pəncərəsindən dəyişərək $y(t)$ keçid xarakteristikası yaxşılaşdırılmışdır.

$K_T=2$ qiymətində qənaətbəxş keçid xarakteristikası alınmışdır (şəkil 1.8).



Şəkil 1.8

Şəkildən və displeydən görüldüyü kimi sistemdə statik (qərarlaşmış) xəta çox böyükdür: $\Delta_s \approx \varepsilon(10) = -0.3962$. Statik xətanın mövcud olmasının səbəbi P-tənzimləyicisinin statik tənzimləyici olmasıdır. K_T -ni artırıdınca statik xəta azalır, lakin rəqslilik kəskin artır.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilməsi qaydası

Variantlar 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün nəzərdə tutulmuşdur.

1. Variantlar üzrə obyektin $W_{ob}(s)$ ötürmə funksiyasını, vəziyyət modelini (A,B,C,D) və tənzimləyicinin tipini P-PI- və ya PID seçməli.
2. Əvvəl şəkil 1.4, sonra şəkil 1.7-də göstərilən ATS-i yığmalı.
3. Sazlama parametrlərinin başlanğıc qiymətlərini daxil etməli.
4. Göstərilmiş K_T , K_i və ya K_D parametrlərini dəyişməklə (variasiya) $y(t)$ keçid xarakteristikasını yaxşılaşdırmalı, yəni rəqsliliyi az olan və tez qərarlaşan keçid xarakteristikası almalı. Bundan başqa qərarlaşmış xəta $\varepsilon(10) \approx 0$ olmalıdır (imkan daxilində). Xətanı displeydə müşahidə etməli. Variantlarda dəyişdirilən parametr \sim ilə işarə edilmişdir.
5. Statik xətanın olub-olmamasını displeyin köməyiylə aydınlaşdırmalı.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qrup tərəfindən tərtib olunur.

1. İşin adı və məqsədi
2. Variant üzrə obyektin modelləri, tənzimləyicinin tipi
3. Nümunəyə əsasən ATS-in şəkil 1.4 və 1.7-yə uyğun sxemlər.
4. Tapılmış sazlama parametrlərinin qiyməti və şəkil 1.6 və 1.8-ə uyğun nümunəyə əsasən yaxşılaşdırılmış keçid xarakteristikaları.

5. Yoxlama sualları

1. Tənzimləmə sisteminin məqsədi
2. Əks-əlaqə prinsipi, müsbət və mənfi cəhəti
3. PİD-tənzimləyici
4. Sazlama parametrlərinin rolu
5. PİD-tənzimləyicinin və vəziyyət modelinin parametrlər pəncərəsi
6. Displeyin rolu

6. Variantlar

№	Obyektin ötürmə funksiyası, $W(s)$	Obyektin vəziyyət modeli (A,B,C,D)	Tənz. tipi	Sazlama parametrlərinin başlanğıc qiyməti
1	$\frac{(s+1)}{s^2+0.8s+1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix},$ $C = (1 \ 0), \quad D = 0$	PID	$K_T = 1$ $\tilde{K}_i = 1$ $K_D = 1$
2	$\frac{2}{s^3+2s^2+10s+10}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.8 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix},$ $C = (1 \ 0), \quad D = 0.5$	PI	$K_T = 15$ $\tilde{K}_i = 10$ $K_D = 0$
3	$\frac{s+1}{s^3+2s^2+8s+10}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -10 & -5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix},$ $C = (1 \ 1), \quad D = 0$	PID	$\tilde{K}_T = 20$ $K_i = 4$ $K_D = 2$
4	$\frac{5}{s(0.1s+1)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.5 & -10 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix},$ $C = [1 \ 0], \quad D = 0.2$	P	$\tilde{K}_T = 0.1$ $K_i = 0$ $K_D = 0$
5	$\frac{1}{s(s+2)}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix},$ $C = (1 \ 0), \quad D = 0$	PID	$K_T = 5$ $K_i = 10$ $\tilde{K}_D = 0.5$
6	$\frac{s+1}{0.1s+1}$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -3 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix},$ $C = (0 \ 0), \quad D = 1$	PI	$\tilde{K}_T = 5$ $K_i = 4$ $K_D = 0$

\tilde{K} -vəriasiya olunan sazlama parametridir

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.

TƏNZİMLƏMƏ SİSTEMİNİN QÜTLƏRİN YERLƏŞDİRİLMƏSİ ƏSASINDA SİNTEZİ VƏ TƏDQIQI (Modal idarəetmə)

İşin məqsədi: Modal tənzimləyicinin öyrənilməsi və tədqiqi. ATS-in struktur sxeminin tərtibi, keçid xarakteristikasının obyektin ötürmə funksiyası və vəziyyət modeli əsasında alınması.

1. Nəzəri məlumat

Tənzimləmə sisteminin **sintezi**- verilmiş keyfiyyət göstəricilərini təmin etmək üçün sistemin *strukturunun* (quruluşunun), ona daxil olan *elementlərin* və bunların parametrlərinin seçilməsindən ibarətdir. Sistemin quruluşu və ona daxil olan elementlər (tənzimləyici, icra orqanı, obyekt və s.) məlum olarsa, sintez məsələsi yalnız sistemin parametrlərinin təyin olunmasından ibarət olacaq. Bu məsələ **parametrik sintez** məsələsi adlanır.

Əsas parametrik sintez üsulları aşağıdakılardır:

1. Köklər hodoqrafı üsulu.
2. Tezlik xarakteristikaları üsulu.
3. Qütblərin arzuolunan qaydada yerləşdirilməsi (modal idarəetmə).
4. İnteqral göstəriciləri əsasında sintez .
5. Lyapunov və Rikkati tənliklərinin həllinə əsaslanan optimal sintez və b.

Birinci iki üsul qrafoanalitik olub, interaktiv müdaxilə tələb etdiyindən çətin proqramlaşdırılır.

Üçüncü üsul da parametrik sintez məsələsi olub, verilmiş etalon xarakteristik tənliyin təmin edilməsindən ibarət olduğundan çox sadədir. Lakin qapalı ATS-in sıfırları nəzərə alınmır.

4 və 5-ci üsullar da idarə qanunu qabaqcadan verildiyindən parametrik sintez məsələsinə aiddir. Lakin bu üsullar ciddi riyazi aparata malik olduğundan və həll alqoritmi tam aydın olduğundan layihəçidən xüsusi intuisiya və bilik tələb etmir. MATLAB-da asan proqramlaşdırılır. Hazır həll proqramları mövcuddur. Lakin keyfiyyət kriterisi kimi ümumiləşdirilmiş inteqral göstəricilərindən istifadə edildiyindən aşkar keyfiyyət göstəriciləri – *tənzimləmə vaxtı, ifrat tənzimləmə* və s. ilə bilavasitə əlaqəsi yoxdur.

Qütblərin yerləşdirilməsi əsasında parametrik sintez. ATS-in keyfiyyət göstəriciləri onun xarakteristik tənliyinin köklərinin (sistemin qütbləri) köklər müstəvisində (s -müstəvisi) necə paylanmasından asılıdır. Yada salaq ki, xarakteristik tənlik qapalı ATS-in ötürmə funksiyasının *məxrəcindəki polinomu* sıfıra bərabər etməklə alınır. Lakin əksər hallarda ötürmə funksiyasının sıfırları da mövcud olduğundan bunların lazımı qaydada yerləşdirilməməsi (yəni sərbəst qalması) sistemin dinamik göstəricilərini pisləşdirə bilər. Sıfırlar keyfiyyət göstəricilərini əhəmiyyətli dərəcədə pisləşdirsə onları **kompensasiya** (ləğv) etmək olar.

Ümumi halda qapalı ATS-in ötürmə funksiyası:

$$W_Q(s) = \frac{M(s)}{D(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} = k \cdot \frac{(s - z_1)(s - z_2) \dots (s - z_m)}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_n)}$$

$D(s) = 0$ -qapalı AİS-in xarakteristik tənliyi, $k = b_0 / a_0$ -gücləndirmə əmsəlidir. $M(s) = k_m = const$ olduqda, yəni sistemin sıfırları olmadıqda dəqiq nəticə alınır. Əks təqdirdə sıfırları kompensasiya (ləğv) etmək məqsədəuyğundur.

Modal idarəetmə üsulunun əsasını vəziyyətə görə əks əlaqədən istifadə olunması təşkil edir. Bu halda idarə aşağıdakı şəkildə formalaşdırılır:

$$u = -\mathbf{k}x.$$

Burada $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - vəziyyət vektoru, $\mathbf{k} = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ - tənzimləyicinin axtarılan gücləndirmə əmsəlidir.

Bütün qütblərə təsir edə bilmək üçün x_i vəziyyət dəyişənlərinin hamısına görə əks əlaqə yaratmaq lazımdır. Belə əks əlaqəni realizə edə bilmək üçün $x_i, i=1,2,\dots,n$ vəziyyət dəyişənlərinin hamısı bilavasitə ölçülməli və ya qiymətləndirilməlidir. **Moda**-xarakteristik tənliyin məxsusi vektorlarının uzunluğu deməkdir.

Məsələnin qoyuluşu. Elə K -gücləndirmə əmsalı tapmaq tələb olunur ki, qapalı ATS-in $D(s)$ xarakteristik polinomu lazımi keyfiyyət göstəricilərini təmin edən $D^*(s)$ etalon (arzuolunan) xarakteristik polinoma bərabər olsun: $D(s) = D^*(s)$.

Polinomların bərabərliyi onların tərtibinin və müvafiq əmsallarının bərabərliyi deməkdir. Məsələn, $s^2 + 3s + 1 = s^2 + 3s + 1$.

Etalon polinomlar

1. Qütblər verilmişdir. Lazımi keyfiyyət göstəricilərini təmin edən p_i qütbləri məlum olarsa arzu olunan xarakteristik tənliyi, daha doğrusu onun α_i əmsallarını aşağıdakı ifadənin köməyi ilə tapmaq olar:

$$D^*(s) = (s - p_1)(s - p_2)\dots(s - p_n) = s^n + \alpha_1 s^{n-1} + \dots + \alpha_n.$$

Məsələn, ifrat tənzipləməsi $\sigma = 0$ olan monoton və tez qərarlaşan keçid $y(t)$ xarakteristikası almaq tələb olunursa kökləri həqiqi və kifayət qədər böyük götürmək lazımdır. Sadəlik üçün belə kökləri eyni qəbul etmək olar: $p_1 = p_2 = \dots = p_n = -20$. Lakin köklərin qiyməti böyük olduğundan idarə siqnalının amplitudu çox yüksək alına bilər.

Matlabda verilmiş köklərə əsasən polinomu bərpa etmək üçün **poly** (p) funksiyasından istifadə olunur. Burada p polinomun köklər vektorudur. p həqiqi və kompleks qoşma köklər şəklində ola bilər.

Fərz edək ki, $n=3$ halında $p_1 = -10, p_2 = -20 + j5, p_3 = -20 - j5$ verilmişdir.

Aşağıda müvafiq Matlab proqramı göstərilmişdir.

```
>> % Polinomun bərpa olunması
>> D=poly([-10 -20+5j -20-5j])

D =

           1           50           825           4250
```

2. Bilavasitə keyfiyyət göstəriciləri- ifrat tənzipləmə σ və tənzipləmə vaxtı t_T verilmişdir. $n=2$. Sıfırlar mövcud deyil. Bu halda qapalı ATS-in etalon ötürmə funksiyasını aşağıdakı şəkllə gətirmək olar:

$$W_Q^*(s) = \frac{M^*(s)}{D^*(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{\alpha_2}{s^2 + \alpha_1 s + \alpha_2}. \quad (1)$$

Burada $0 \leq \xi \leq 1$ -ölçüsüz sönmə əmsalı, ω_n -rəqslərin məxsusi tezliyi, rad/s . Tapşırıq siqnalı vahid təkən $G = 1/s$ olduqda:

$$- \text{ ifrat tənzipləmə: } \sigma = 100e^{-\xi\pi/\sqrt{1-\xi^2}}; \quad (2)$$

$$- \text{ 2\%-li buraxıla bilən xəta üçün, tənzipləmə vaxtı: } t_T = \frac{4}{\xi\omega_n}. \quad (3)$$

Adətən σ və t_T keyfiyyət göstəricilərini təmin etmək tələb olunur. Bu halda etalon $D^*(s) = s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2$ xarakteristik polinomunun əmsallarını təyin etmək üçün aşağıdakı düsturlardan istifadə olunur:

Ifadə (2)-dən:

$$\xi = \sqrt{\frac{a^2}{1+a^2}},$$

$$a = \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{100}{\sigma}\right) \quad (4)$$

Məsələn, $\sigma = 1.5\%$ verilərsə, $\xi = 0.8$.

Ifadə (3)-dən

$$\omega_n = \frac{4}{\xi t_T}. \quad (5)$$

$t_T = 2.5s$ verilərsə $\xi = 0.8$ qiymətində (5)-ə əsasən: $\omega_n = 2 \text{ rad/s}$. Beləliklə, etalon xarakteristik tənlik: $D^*(s) = s^2 + 3.2s + 4$. Uyğun etalon ötürmə funksiyası:

$$W_Q^*(s) = \frac{4}{s^2 + 3.2s + 4}.$$

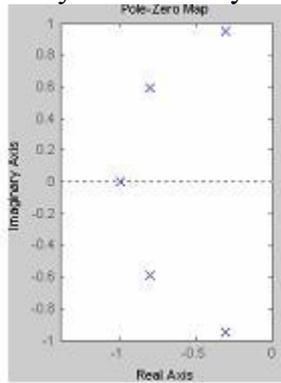
Burada $\alpha_1 = 3.2$, $\alpha_2 = 4$

3. Battervors polinomları. Bu polinomun p_i kökləri sol vahid yarımqvərən üzərində bərabər paylanır. Açıq sistemin ötürmə funksiyasının sıfırları yoxdursa belə paylanma $\omega_n = 1$ qiymətində $\sigma = 1.33\%$, ($\xi = 0.809$) göstəricisini təmin edir [4]. n -in çox da böyük olmayan qiymətləri üçün Battervors polinomları cədvəl 1-də göstərilmişdir.

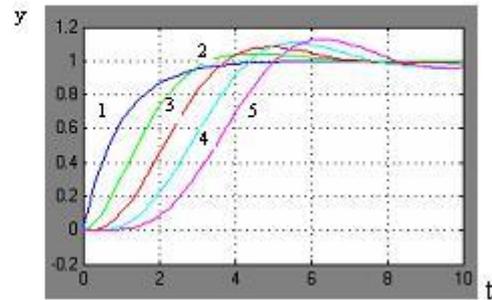
Etalon Battervors polinomları. **Cədvəl 1.**

n	$D_n^*(s)$
1	$s + 1$
2	$s^2 + 1.414s + 1$
3	$s^3 + 2s^2 + 2s + 1$
4	$s^4 + 2.613s^3 + 3.414s^2 + 2.613s + 1$
5	$s^5 + 3.236s^4 + 5.236s^3 + 5.236s^2 + 3.236s + 1$

Şəkil 1.1-də $n=5$ qiymətində etalon $D_5^*(s)=0$ xarakteristik tənliyinin köklərinin $pzmap(W)$ funksiyasının köməyiylə alınmış paylanma sxemi göstərilmişdir..



Şəkil 1.1



Şəkil 1.2

Göründüyü kimi, köklər sol vahid yarımqvəre üzrə bərabər paylanmışdır.

Şəkil 1.2-də $n = 1 \div 5$ -ə uyğun keçid xarakteristikaları göstərilmişdir. Göründüyü kimi etalon keçid xarakteristikaları çox da böyük olmayan *ifrat tənziqləməyə* və *qərarlaşma vaxtına* malikdir.

Məsələnin həlli. Birölçülü obyektin tənliyi vəziyyət modeli şəklində verilmişdir:

$$dx/dt = Ax + Bu,$$

$$y = Cx. \quad (6)$$

Burada $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - n ölçülü vəziyyət vektoru; u - skalyar idarə siqnalı, y - obyektin çıxışı (tənzimlənən kəmiyyət) ; $A(n \times n), B(n \times 1), C(1 \times n)$ -ədədi matrislərdir.

Tapşırıq siqnalı **vahid təkandır** $g(t) = 1(t) = const!$ ATS-i qurmaqda məqsəd $y(t) = g(t) = 1$ şərtini təmin etməkdən ibarətdir. Xəta $\varepsilon = g - y$. Bu ifadə **qapama tənliyi** adlanır. Həm y çıxışına həm də x vəziyyətə görə əks əlaqəli ATS-in tənliyini almaq üçün $\varepsilon = g - y$ ifadəsini və obyektin (6) tənliyini diferensiallayaq:

$$\dot{\varepsilon} = -\dot{y} = -C\dot{x},$$

$$\ddot{x} = A\dot{x} + B\dot{u}.$$

$\dot{x} = z, \dot{u} = v$ işarə etsək qapalı ATS-in tənliyini alarıq:

$$\dot{\varepsilon} = -Cx,$$

$$\dot{z} = Az + Bv.$$

Matris şəklində:

$$\begin{bmatrix} \dot{\varepsilon} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \vdots & -C \\ \mathbf{0} & \vdots & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ B \end{bmatrix} v \quad (7)$$

Sistemi dayanıqlı etmək üçün, yəni $\lim_{t \rightarrow \infty} (\varepsilon, z) = 0$ şərtini təmin etmək üçün idarəni xəta və z -dən asılı aşağıdakı şəkildə seçək:

$$v = -K \begin{pmatrix} \varepsilon \\ z \end{pmatrix}. \quad (8)$$

$K = (k_1, k_2, k_3, \dots, k_{n+1})$ - tənzimləyicinin axtarılan sazlama parametridir.

Ifadə (8)-i (7)-də nəzərə alsaq qapalı sistemin sərbəst hərəkəti:

$$\dot{\eta} = \mathbf{A}\eta. \quad (9)$$

Burada

$$\eta = (\varepsilon, z)^T, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \vdots & -C \\ \mathbf{0}^1 & \vdots & A \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{0}^2 \\ BK \end{bmatrix}. \quad (10)$$

$\mathbf{0}^1$ - n -ölçülü sıfır vektor sütun ; $\mathbf{0}^2$ - $n+1$ -ölçülü vektor-sətir.

Sazlama k_1, k_2, k_3, \dots parametrlərini elə seçmək lazımdır ki,

$$D(s) = \det(sI - \mathbf{A}) = s^n + \beta_1(K)s^{n-1} + \dots + \beta_n(K) \quad (11)$$

xarakteristik polinom seçilmiş

$$D^*(s) = s^n + \alpha_1 s^{n-1} + \dots + \alpha_n \quad (12)$$

etalon (arzuolunan) polinoma bərabər olsun: $D(s) = D^*(s)$.

Bu şərt o vaxt ödənilir ki, s -in eyni qüvvətlərinin əmsalları bir-birinə bərabər olsun:

$$\begin{cases} \beta_1(k_1, \dots, k_n) = \alpha_1, \\ \beta_2(k_1, \dots, k_n) = \alpha_2, \\ \dots \\ \beta_n(k_1, \dots, k_n) = \alpha_n. \end{cases} \quad (13)$$

Axtarılan k_i parametrləri (13) *xətti cəbri tənliklər sisteminin* həllindən tapılır.

Axtarılan K sazlama parametrlərini Akkerman düsturuna [4] əsasən də hesablamaq olar:

$$K = V \cdot P^{-1} D^*(A_1). \quad (14)$$

Burada $V = (0, 0, 0, \dots, 0, 1)$ - $n+1$ ölçülü vektor-sətir, $P = [B_1, A_1 B_1, A_1^2 B_1, \dots, A_1^n B_1]$ - (7) tənliyi üçün idarəolunma matrisi;

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & -C \\ \mathbf{0} & A \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ B \end{bmatrix}; \quad (15)$$

$D^*(A_1) = A_1^{n+1} + \alpha_1 A_1^n + \dots + \alpha_{n+1} I$, $I - (n+1) \times (n+1)$ -ölçülü vahid matris, n -(6) obyektinin tərtibidir.

Əgər lazımı σ və t_r keyfiyyət göstəricilərini təmin edən p_i qütbləri məlum olarsa tənzimləyicinin $K = (k_1, k_2, k_3, \dots, k_{n+1})$ gücləndirmə əmsalını Matlabda olan $K = \text{place}(A_1, B_1, p)$ funksiyasının köməyiylə təyin etmək olar. Bu halda qapalı ATS-in (7) şəklində olan tənliyindən istifadə etmək lazımdır:

$$\begin{bmatrix} \dot{\varepsilon} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = A_1 \begin{bmatrix} \varepsilon \\ z \end{bmatrix} + B_1 v.$$

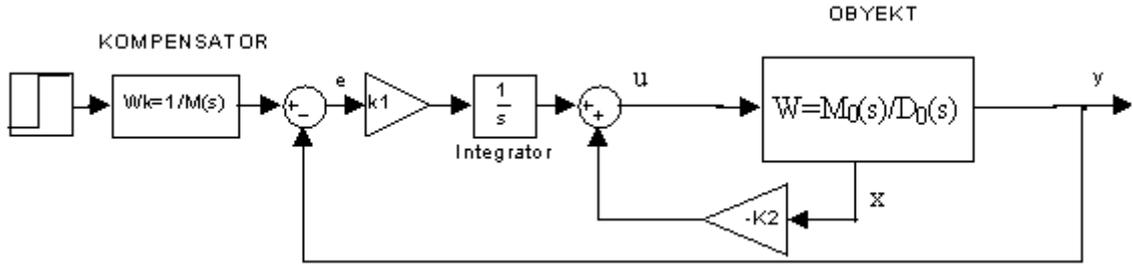
Burada

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & -C \\ \mathbf{0} & A \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ B \end{bmatrix}. \quad (16)$$

İfadə (8) –i inteqrallasaq u -idarə qanununu aşkar şəkildə tapa bilərik:

$$u = k_1 \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau + K_2 x(t), K_2 = (k_2, k_3, \dots, k_n).$$

Şəkil 1.3-də ATS-in struktur sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.3

ATS-in z_i - sıfırları mövcud olarsa, **kompensator** bunları ləğv etmək məqsədilə daxil edilmişdir. Modal idarəetmə üsulunun çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, idarə qanununu reallaşdırmaq üçün bütün vəziyyət dəyişənləri x_i $i = \overline{1, n}$ ölçülə bilməlidir. Bu şərt real obyektlərdə çox vaxt ödənilmir. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün vəziyyətin ölçülən giriş $u(t)$ və çıxış $y(t)$ əsasında *qiymətləndirmə alqoritmindən* istifadə olunur [5]

2. Nümunə

Obyektin ötürmə funksiyası:

$$W(s) = \frac{2}{s^2 + 0.5s + 2}.$$

Uyğun vəziyyət modeli:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= -2x_1 - 0.5x_2 + 2u \\ y &= x_1. \end{aligned}$$

Burada $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.5 \end{bmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \end{pmatrix}$, $C = (1 \ 0)$, $D = 0$.

İfadə (11)-ə əsasən $D(s)$ faktiki xarakteristik polinomu tapaq. Əvvəlcə (10)-a əsasən:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2 & -0.5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2k_1 & 2k_2 & 2k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -2k_1 & -(2+2k_2) & -(0.5+2k_3) \end{bmatrix}.$$

Beləliklə

$$D(s) = \det(sI - \mathbf{A}) = \det \begin{bmatrix} s & 1 & 0 \\ 0 & s & -1 \\ 2k_1 & 2+2k_2 & s+0.5+2k_3 \end{bmatrix} = 0.$$

Determinantı tapmaq üçün Matlab proqramından istifadə edək:

```
>> % Determ. teyin olunması
>> syms s k1 k2 k3;
>> A=[s 1 0;0 s -1;2*k1 2+2*k2 s+0.5+2*k3] % Xarakt. matris
```

A =

```
[      s,      1,      0]
[      0,      s,     -1]
[ 2*k1, 2+2*k2, s+1/2+2*k3]
```

```
>> D=det(A);% Determ. teyin olunması
>> D1=collect(D);% Ifadenin sadelesdirilmesi
>> pretty(D1)
```

$$s^3 + (2k_3 + 1/2)s^2 + (2 + 2k_2)s - 2k_1$$

Etalon xarakteristik tənlik kimi $n=3$ halında Battervars polinomunu qəbul edək. Cədvəl 1-ə əsasən bu polinom:

$$D_3^* = s^3 + 2s^2 + 2s + 1.$$

Qütblər: $p_1 = -1, p_{2,3} = -0.5 \pm 0.866j$.

Alınmış faktiki

$D = s^3 + (2k_3 + 0.5)s^2 + (2 + 2k_2)s - 2k_1$, $\beta_1 = 2k_3 + 0.5$, $\beta_2 = 2 + 2k_2$, $\beta_3 = 2k_1$ xarakteristik polinomunun əmsalları etalon polinomun müvafiq əmsallarına bərabər olmalıdır. Bu halda (13) tənliklər sistemi:

$$2k_3 + 0.5 = 2 ; 2 + 2k_2 = 2 ; -2k_1 = 1.$$

Buradan sazlama parametrləri: $k_1 = -0.5, k_2 = 0, k_3 = 0.75$.

İndi K -nı tapmaq üçün (14) Akkerman düsturundan istifadə edək [4]. Uyğun Matlab proqramı aşağıda göstərilmişdir:

```

>> % Akkerman dusturu, n=2; K=(k1,k2,k3)
>> A1=[0 -1 0;0 0 1;0 -2 -0.5];
>> B1=[0;0;2];
>> I=eye(3); % Vahid matrisin formalasdirilmesi
>> V=[0 0 1]; % Vahid vektor
>> alfa1=2;alfa2=2;alfa3=1;% Etalon polinomun emsal.
>> P=[B1 A1*B1 A1^2*B1]; % Idareolunma matrisi
>> DA1=A1^3+alfa1*A1^2+alfa2*A1+alfa3*I;
>> K=V*inv(P)*DA1 % Akkerman dusturu

```

```

K =

    -0.5000         0     0.7500

```

Qütblər p_i verilərsə gücləndirmə əmsalını $K=place(A_1, B_1, p)$ Matlab funksiyasının köməyiylə təyin etmək olar. Müvafiq Matlab proqramı aşağıda göstərilmişdir.

```

>> % MATLABIN köməyi ilə K-nin təyini
>> A1=[0 -1 0;0 0 1;0 -2 -0.5];
>> B1=[0;0;2];
>> p=[-1 -0.5+0.866j -0.5-0.866j];% Azu olunan qutblər
>> K=place(A1,B1,p),p=eig(A1-B1*K) '% Xarakteristik matrisin mexsusi ededleri

```

```

K =

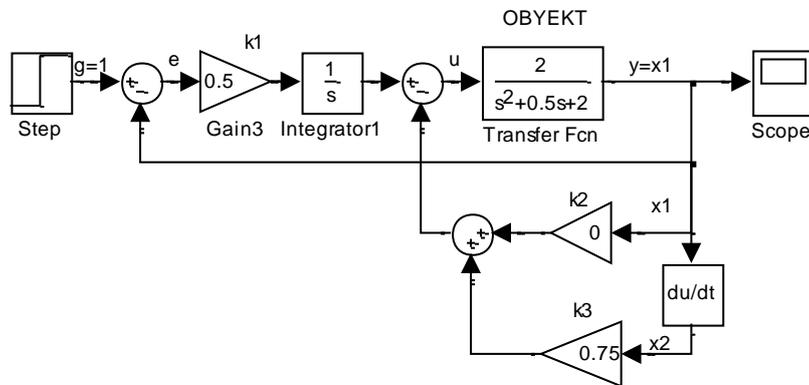
    -0.5000    -0.0000     0.7500

p =

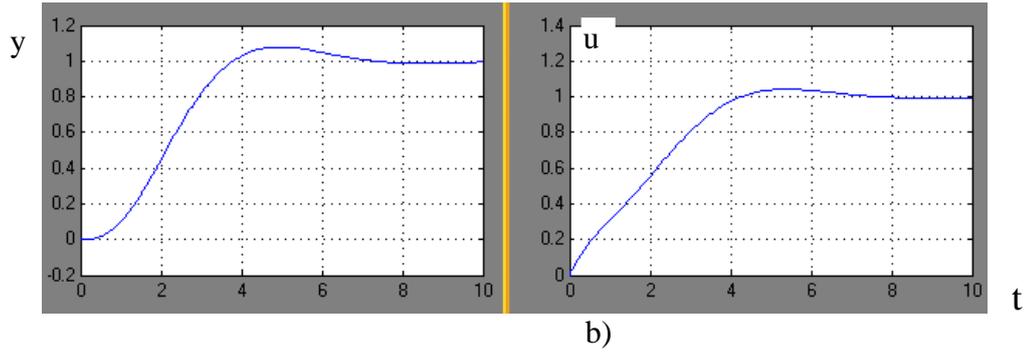
   -1.0000         -0.5000 - 0.8660i   -0.5000 + 0.8660i

```

Parametrlərin qiyməti əvvəlki üsullar ilə eynidir. Şəkil 1.4-də obyektin modeli ötürmə funksiyası şəklində olan halda ATS-in modelləşdirmə sxemi (a)-, keçid xarakteristikası $y(t)$ və idarə signalı $u(t)$ (b) göstərilmişdir.



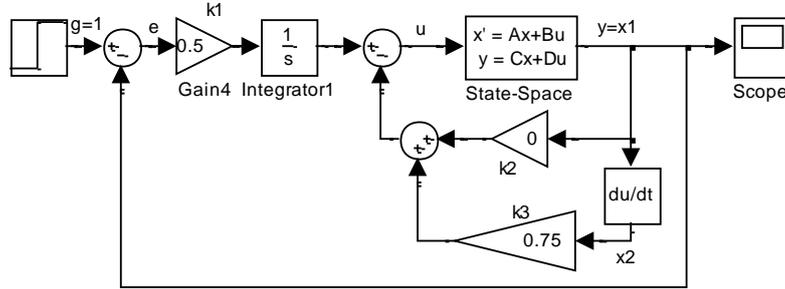
a)



Şəkil 1.4

Bu halda $\dot{x}_1 = x_2$ olduğundan x_2 koordinatını əldə etmək üçün x_1 diferensiallanmışdır. Real obyektə bu mümkündür! Keçid xarakteristikası $n=3$ üçün şəkil 1.2-də göstərilən etalon xarakteristika ilə eynidir.

Şəkil 1.5-də vəziyyət modeli halında uyğun ATS-in sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1.5

Hər iki halda x_2 bilavasitə ölçülmədiyindən dolayı yolla alınmışdır, yəni x_1 -i diferensiallamaq yolu ilə. Alınmış $y(t)$ keçid xarakteristikası və idarə signalı şəkil 1.4-də olduğu kimidir.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilməsi qaydası

1. Variantlar üzrə obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyasını və uyğun (A,B,C,D) vəziyyət modelini seçməli.

2. $n=1$ variantı üçün σ və t_r -nin verilmiş qiymətləri üçün (4) və (5) düsturlarından istifadə edərək (1) etalon ötürmə funksiyasının α_1, α_2 əmsallarını tapmalı. Faktiki $D(s) = \det(sI - A)$ xarakteristik tənliyini (10)-a əsasən A -nı təyin etdikdə nümunədəki Matlab proqramı «Det. təyin olunması» əsasında təyin edib k_1, k_2 parametrlərini tapmaq üçün (13) tənliyindən istifadə etməli.

3. $n=2,3$ variantlarında Akkerman (14) düsturuna əsasən $k_1, k_2, k_3, \dots, k_{n+1}$ sazlama parametrlərini nümunədə olan Matlab proqramına əsasən hesablamalı. Bu məqsədlə:

a) $n+1$ tərtibli etalon Battervors polinomunun $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ əmsallarını götürməli, n -obyektin tərtibidir.

b) İfadə (15)-ə əsasən A_1 və B_1 matrislərini tapıb Matlab proqramına yazmalı.

c) $n+1$ ölçülü I vahid matrisi $I = eye(n+1)$ və $V = [0, \dots, 0, 1]$ $n+1$ ölçülü vektor-sətiri proqrama yazmalı.

ç) $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ parametrlərini qiymətlərini proqrama daxil etməli və s.

4. k_1, k_2, \dots sazlama parametrlərini tapdıqdan sonra nümunəyə əsasən ATS-in obyektin ötürmə funksiyası ilə modelləşdirmə sxemini qurub keçid $y(t)$ xarakteristikasını almalı (şəkil 1.4).

5. Nümunəyə əsasən ATS-in vəziyyət (A,B,C,D) modeli ilə modelləşdirmə sxemini qurub keçid $y(t)$ xarakteristikasını qurmalı. (şəkil 1.5).

6. Hər iki halda keçid xarakteristikalarının eyni olması haqqında nəticə çıxarmalı.

7. Obyektin sıfırları olarsa onları obyektə ardıcıl qoşulan $W_k = 1/M(s)$ kompensatorunun köməyilə ləğv etməli (şəkil 1.3).

8. 11-13 variantlarında arzuolunan p_i qütbləri əsasında $K=place(A_1, B_1, p)$ Matlab funksiyasından istifadə etməli. Şəkil 1.5-ə uyğun modelləşdirmə sxeminə yığıb $y(t)$, $u(t)$ xarakteristikaları almalı.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar tərəfindən tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi
2. Variant üzrə obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyası və vəziyyət modeli.
3. Sazlama parametrlərini hesablamaq üçün $det(.)$ və ya Akkermanın düsturundan istifadə olunan Matlab proqramı.
4. Modelləşdirmə sxemi və keçid xarakteristikası (şəkil 1.4) və şəkil (1.5)
5. Alınmış keçid xarakteristikalarının şəkil 1.2-də göstərilmiş uyğun etalon keçid xarakteristikalarına uyğunluğu haqqında nəticə.

5. Yoxlama sualları

1. ATS-in qütbləri nə deməkdir?
2. Faktiki xarakteristik polinom.
3. Etalon (arzuolunan) xarakteristik polinom.
4. Qütblərin yerləşdirilmə məsələsinin mahiyyəti.
5. İdarə qanununun sazlama parametrləri.
6. Üsulun çatışmazlığı.

6. Variantlar

№	Obyektin ötürmə funksiyası, $W(s)$	Uyğun vəziyyət (A,B,C,D) modeli
1.	$\frac{2s-1}{s^2+0.2s+1}, n=2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$
2.	$\frac{6}{s^2+0.8s+4}, n=2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -0.8 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 6 \end{pmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$
3.	$\frac{s+1}{s^3+2s^2+4s+1}, n=3$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -4 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}, C = (1 \ 0 \ 0), D = 0$
4.	$\frac{s+2}{s^2+2s+10}, n=2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -10 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$
5.	$\frac{20}{s^2+6s+20}, n=2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -20 & -6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$

6.	$\frac{8}{s+2}, n=1$ $\sigma = 2\%, t_T = 5s$	A=2, B=8, C=1, D=0
7.	$\frac{s+1}{s+10}, n=1$ $\sigma = 1\%, t_T = 2s$	A=10, B=10, C=1, D=0
8.	$\frac{s+2}{s+5}, n=1$ $\sigma = 0\%, t_T = 10s$	A=5, B=2, C=1, D=0
9.	$\frac{2}{s+1.5}, n=1$ $\sigma = 1.2\%, t_T = 2.4s$	A=1.5, B=2, C=1, D=0
10.	$\frac{4}{s+12}, n=1$ $\sigma = 15\%, t_T = 0.5s$	A=12, B=4, C=1, D=0
11.	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0),$	Matlab funksiyası $K=place(A_1, B_1, p)$ $p_1 = -20, p_{1,2} = -20 \pm 0.5j$
12.	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0.3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0),$	Matlab funksiyası $K=place(A_1, B_1, p)$ $p_1 = -4, p_{1,2} = -2 \pm 10j$
13.	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -8 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \end{bmatrix}, C = (2 \ 0),$	Matlab funksiyası $K=place(A_1, B_1, p)$ $p_2 = p_3 = -2.4$

Battervors etalon xarakteristik polinomları:

$$n=1. D^* = s+1, \alpha_1 = 1.$$

$$n=2. D^* = s^2 + 1.414s + 1, \alpha_1 = 1.414, \alpha_2 = 1.$$

$$n=3. D^* = s^3 + 2s^2 + 2s + 1, \alpha_1 = 2, \alpha_2 = 2, \alpha_3 = 1.$$

Qeyd. Etalon polinom kimi $(n+1)$ tərtibli polinomu götürməli. n - obyektin tərtibidir.

Ədəbiyyat

1. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
2. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolları riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
3. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.
4. Дорф Р.К., Бишоп Р.Х. Современные системы управления. М: Лаб. Базовых Знаний. 2004, с.662
5. Квакернак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. Мир, 1977, с. 341.

OPTİMAL TƏNZİMLƏYİCİNİN SİNTEZİ VƏ TƏDQIQI

İşin məqsədi: Tapşırıq vahid təkan olduğu halda xətti-kvadratik optimal tənzimləyicinin qurulması və tədqiqi.

1. Nəzəri məlumat

Optimallaşdırma kriterisi kvadratik, obyekt isə xətti olduğundan bu məsələ **xətti-kvadratik optimallaşdırma məsələsi** adlanır.

Əvvəlki laboratoriya işindən fərqli olaraq burada tənzimləyicinin $K = (k_1, k_2, \dots)$ gücləndirmə əmsalı qapalı sistemin verilmiş etalon xarakteristik tənliyi əsasında deyil, optimallaşdırma kriterisinin minimumluq şərtindən təyin olunur.

Xətti kvadratik optimal idarəetmə məsələsi. Obyektin tənliyi vəziyyət modeli şəklində verilir:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t) + Du(t). \end{cases}$$

Optimallaşdırma kriterisi (funksional):

$$J = \frac{1}{2} x^T(t_f) S x(t_f) + \frac{1}{2} \int_0^{t_f} [x^T(t) Q x(t) + u^T(t) R u(t)] dt.$$

$x(0) = x_0$, t_f – qeyd olunub, $x(t_f) = x_f$ – sərbəst.

Burada $x \in R^n$, $u \in R^m$, $y \in R^l$ - uyğun olaraq vəziyyət, idarə və ölçülən çıxış vektorları, $Q \geq 0$, $R > 0$ və $S \geq 0$ çəki matrisləridir. x və u dəyişənlərinə məhdudiyət yoxdur. Əgər məhdudiyətlər labüddürsə onların ödənilməsinə Q və R çəki matrislərini dəyişməklə dolayı yolla təmin etmək olar. S matrisini dəyişməklə $x(t)$ son nöqtəsinin $x=0$ koordinat başlanğıcına yaxınlığını tənzimləmək olar.

Məsələnin qoyuluşu. Elə idarə $u^*(t)$ qanunu tapmaq tələb olunur ki, sistemin $x(t)$, $t \in [0, t_f]$ trayektoriyaları üzərində funksional minimal (ən kiçik) qiymət alsın.

Məsələnin həlli. Əvvəlcə Hamilton funksiyası tələb olunur:

$$H = -\frac{1}{2} [x^T(t) Q x(t) + u^T(t) R u(t)] + \lambda^T(t) [Ax(t) + Bu(t)].$$

İdarə siqnalı məhdud olmadığından optimallığın zəruri şərti:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = -Ru(t) + B^T \lambda(t) = 0.$$

Buradan optimal idarə $u^*(t)$:

$$u^*(t) = R^{-1} B^T \lambda(t).$$

Loqranj vuruğunu Rikkati əvəzləməsinin köməyi ilə vəziyyətə görə əks əlaqə şəklində formalaşdırılır: $\lambda(t) = -P(t)x(t)$. $P(t)$ matrisi aşağıdakı qeyri-xətti matris Rikkati diferensial tənliyinin müsbət müəyyən həllidir:

$$\dot{P}(t) = -P(t)A - A^T P(t) + P(t)BR^{-1}B^T P(t) - Q.$$

Sağ sərhəd şərti: $P(t_f) = S$.

Beləliklə axtarılan optimal idarə:

$$u^*(t) = -K(t)x(t).$$

Burada qeyri-stasionar matris gücləndirmə əmsalı:

$$K(t) = R^{-1} B^T P(t).$$

Göründüyü kimi, $K(t)$ başlanğıc $x(0) = x_0$ şərtindən asılı olmayıb yalnız obyektin (A, B) parametrlərindən və kriterinin Q, R, S çəki əmsallarından asılıdır. Bu xüsusiyyət optimal idarənin realizasiya olunmasını sadələşdirir. Belə ki, hər dəfə x_0 -i identifikasiya etmək lazım gəlmir. Baxılan məsələdə yeganə çətinlik qeyri-xətti Rikkati diferensial tənliyinin həll olunmasındadır.

Tənzimləmə məsələləri. Tənzimləmədə $t_f = \infty$ olduğundan göstərilən çətinlik əhəmiyyətli dərəcədə sadələşir. Belə ki, qərarlaşma $t \rightarrow \infty$ rejimində sürət $dP/dt = 0$ olduğundan Rikkati diferensial tənliyi cəbri tənliklər sisteminə çevrilir ki. Bu halda Rikkati tənliyi:

$$PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0$$

Optimal idarə:

$$u^*(t) = -Kx(t), \quad K = R^{-1}B^T P, \quad S = 0.$$

Məsələni Matlabda həll etmək üçün $[K, P] = lqr(A, B, Q, R)$ funksiyasından istifadə olunur.

Tənzimləmə sisteminin məqsədi $y(t) = g(t)$ bərabərliyini ödəməkdən ibarət olduğundan əks əlaqəli ATS-in tənliyini qurmaq lazımdır. Sadəlik üçün tapşırıq siqnalını *vahid təkən* $g(t) = 1(t)$ şəklində qəbul edək. Bundan başqa, $D = 0$ qəbul edək. Bu o hala uyğundur ki, obyekt diferensiallayıcı xassəyə malik deyil, yəni obyektin “giriş-çıxış” diferensial tənliyində u', u'', \dots törəmələri iştirak etmir. Məsələn,

$$y'' + 2y' + y = 4u.$$

Obyektin vəziyyət tənliyi:

$$\begin{aligned} dx/dt &= Ax + Bu, \\ y &= Cx, \quad D = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Qapalı ATS-in tənliyini almaq üçün $\varepsilon = g - y$ tənzimləmə xətasından istifadə edək. Bu ifadə **qapama tənliyi** adlanır. $\varepsilon = g - y$ ifadəsini və obyektin (1) tənliyini differensiallasaq qapalı ATS-in tənliyini alarıq:

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon} &= -\dot{y} = -C\dot{x}, \\ \ddot{x} &= A\dot{x} + B\dot{u}, \\ \dot{y} &= C\dot{x}. \end{aligned}$$

$\dot{x} = z, \dot{u} = v, \dot{y} = h$ işarə etsək qapalı ATS-in tənliyini aşağıdakı şəkllə götürmək olar:

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= A_1\theta + B_1v, \\ \dot{h} &= (0, C)\theta, \\ D &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Burada

$$\theta = (\varepsilon, z)^T, \quad A_1 = \begin{bmatrix} 0 & \vdots & -C \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{0}^1 & \vdots & A \end{bmatrix}, \quad B_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{0}^2 \\ B \end{bmatrix}. \quad (3)$$

$\mathbf{0}^1$ $-n$ -ölçülü sıfır vektor-sütun; $\mathbf{0}^2$ - n -ölçülü vektor-sətir; $n-1$) obyektinin tərtibi, yəni $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - vektorunun ölçüsü.

Matlabda $[K, P] = lqr(A1, B1, Q, R)$ funksiyası optimal idarəni aşağıdakı şəkildə təyin etməyə imkan verir:

$$v = -K\theta = -(k_1\varepsilon + K_2z), \quad K_2 = (k_2, k_3, \dots, k_n). \quad (4)$$

$K = R^{-1}BP$, P -cəbri Rikkati tənliyinin həllidir. Fiziki $u(t)$ idarəsinə keçmək üçün (4) ifadəsini inteqrallamaq lazımdır. Onda:

$$u(t) = \int_0^t v dt = - \left(k_1 \int_0^t \varepsilon dt + K_2 x \right). \quad (5)$$

Tənzimlənən çıxış kəmiyyəti:

$$y(t) = \int_0^t h dt.$$

Matlabda inteqrallama **cumtrapz(t, .)** funksiyasının köməyi ilə həyata keçirilir. İdarə (5)-in şəklindən görüldüyü kimi onu realizasiya etmək üçün xəta ε və bütün x_i vəziyyət dəyişənləri ölçülə bilməlidir. Əksər məsələlərdə $x(t)$ fiktiv (“yalançı”) dəyişən olduğundan onu bilavasitə ölçmək mümkün olmur. Bu halda $x(t)$ -ni ölçülən $u(t)$ və $y(t)$ əsasında müşahidəçinin köməyi ilə qiymətləndirirlər [4].

2. Nümunə

Obyektin tənliyi:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= -4.6x_2 + 0.787u, \\ y &= x_1 \end{aligned}$$

Optimallaşdırma kriterisi:

$$J = \int_0^{\infty} (q\varepsilon^2 + ru^2) dt \rightarrow \min_{(u)}.$$

Burada:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -4.6 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.787 \end{bmatrix}, \quad C = (1 \ 0), \quad D = 0.$$

Çəki əmsallarını seçək: $q=1$, $r=1$.

Məsələ qapalı ATS-in (2) modeli əsasında həll olunur. Bu modelin proqrama daxil olan A_1, B_1 parametrləri (3)-ə əsasən:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -4.6 \end{bmatrix}, \quad B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.787 \end{bmatrix}, \quad C = (0 \ 1 \ 0), \quad D = 0.$$

Başlangıç şərtlər $\varepsilon(0) = 1$, $z_1(0) = 0$, $z_2(0) = 0$.

Şəkil 1-də uyğun Matlab proqramı (a), və keçid xarakteristikası $y(t)$ idarə signalı $u(t)$ (b) göstərilmişdir.

```

>> % Xetti-kvadratik optimallasdirma meselesi
A1=[0 -1 0;0 0 1;0 0 -4.6];B1=[0;0;0.787];
C=[0 1 0];D=0; % (2)modelinin parametrleri
Q=diag([1 0 0]);R=1; % Kriterinin cekii emsallari
[K,P,ev]=lqr(A1,B1,Q,R) % P ve K-nin teyin olunmasi

K =

    -1.0000    3.6296    0.7419

P =

    3.6296   -6.5869   -1.2706
   -6.5869   22.6371    4.6119
   -1.2706    4.6119    0.9428

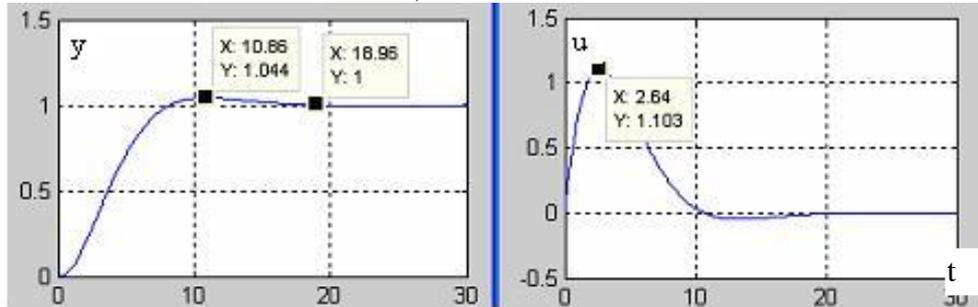
ev =

   -4.6002
  -0.2919 + 0.2931i
  -0.2919 - 0.2931i

>> % ev-qapali ATS-in xar. tenl. kokleri
x10=1;x20=0;x30=0; % Baslangic sertler
>> X0=[x10;x20;x30];
>> BIN=[0;0;0];tmax=30;t=0:0.05:tmax;
Ac=A1-B1*K; %Qapali ats-in xarakteristik matrisi
[h,x,t]=initial(Ac,BIN,C,D,X0,tmax);
y=cumtrapz(t,h);v=-K*x';u=cumtrapz(t,v);%Cixis y ve idere u
plot(t,y),grid,figure,plot(t,u)

```

a)



b)

Şəkil 1

Optimal gücləndirmə əmsalı: $k_1 = -1.0$, $k_2 = 3.629$, $k_3 = 0.7419$ alınmışdır.

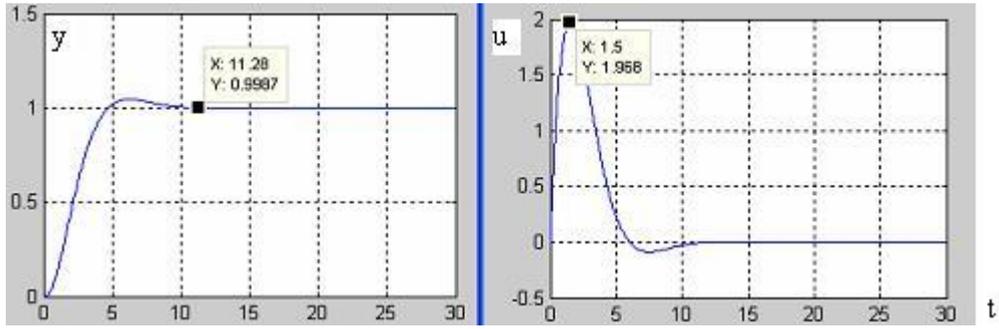
Qapalı ATS-in $\det(sI - A_c) = 0$, $A_c = A_1 - B_1 K$, xarakteristik tənliyinin kökləri $p_1 = -4.6$, $p_{2,3} = -0.292 \pm 0.293i$ olduğundan $\text{Re}(p_i) < 0$ dayanıqlıq şərti ödənilir.

İfrat tənzimləmə 4.3%, tənzimləmə vaxtı $t_T \approx 18s$. İdarə siqnalının maksimal qiyməti $u_{\max} = 1.102$. Çəki əmsalı $q=10$ qəbul etsək tənzimləmə vaxtını azalda bilərik: $t_T \approx 11.28$. Lakin bu halda optimal gücləndirmə əmsalı böyüdüyündən

$$K = [-3.1623 \quad 6.7293 \quad 5.3150]$$

idarə siqnalının maksimal qiyməti də $u_{\max} = 1.968$ böyük alınır.

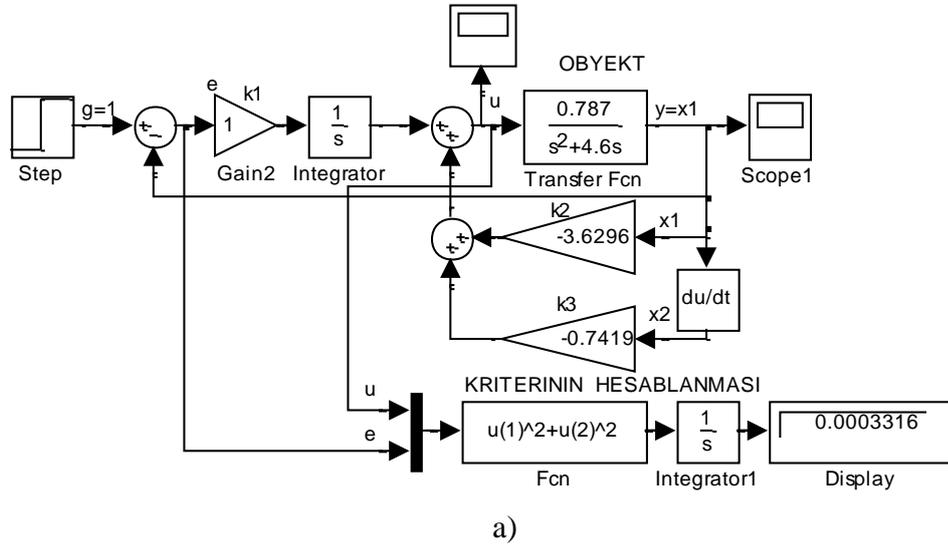
Şəkil 2-də $q=10$, $r=1$ çəki əmsallarına uyğun gələn $y(t)$ və $u(t)$ siqnalları göstərilmişdir.



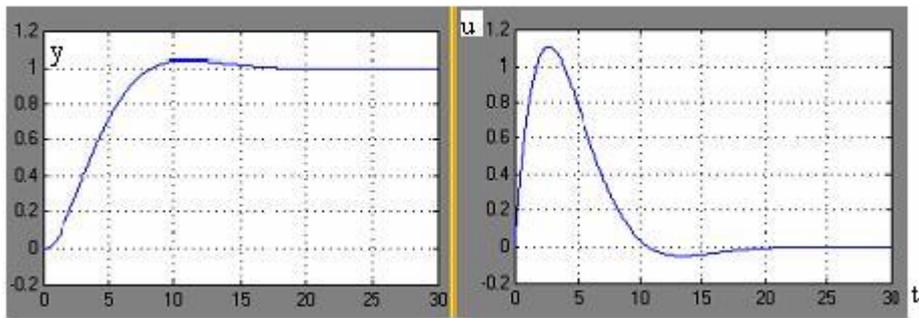
Şəkil 2

İdarə signalına $-1 \leq u \leq 1$ şəkilli mövqə məhdudiyyəti tələb olunarsa, r əmsalını artırmaqla buna nail olmaq olar. Lakin bu halda tənzimləmə vaxtı artacaqdır.

Şəkil 3a-da $K = [-1.0 \ 3.63 \ 0.74]$ qiymətlərində optimal ATS-in *Simulink* sxemi, b-də isə $y(t)$ və $u(t)$ siqnalları göstərilmişdir.



a)



b)

Şəkil 3

Göründüyü kimi, $y(t)$ və $u(t)$ Matlab proqramı ilə alınmış xarakteristikalar ilə (şəkil 1,b) eynidir. Displeydə vizuallaşdırılan optimallaşdırma kriterisinin minimal qiyməti $J_{\min} = 0.0003316$ sifra çox yaxın alınmışdır.

Tənzimləyicini realizasiya etmək üçün hər iki vəziyyət dəyişəni ölçülməlidir. Obyektin tənliyinə əsasən $x_2 = dx_1/dt$ olduğundan x_2 dəyişəni x_1 -i diferensiallamaq yolu ilə “ölçülmüşdür”.

Əgər vəziyyət dəyişənlərini bilavasitə ölçmək mümkün deyilsə onları *müşahidəçinin* köməyi ilə $y(t)$ və $u(t)$ siqnallarını ölçərək qiymətləndirmək mümkündür [4].

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilməsi qaydası

1. Variantlar üzrə obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyasını uyğun (A,B,C) vəziyyət modelini, optimallıq kriterisinin q və r çəki əmsallarını seçməli.

2. Vəziyyət modellərindən istifadə edərək nümunəyə əsasən (şəkil 1,a) Matlab proqramının köməyi ilə K gücləndirmə matrisini tapıb keçid $y(t)$ xarakteristikasını və $u(t)$ idarə siqnalını almalı (şəkil 1,b).

3. Ötürmə funksiyasından və optimal k_1, k_2, k_3 gücləndirmə əmsallarından istifadə edərək ATS-in *Simulink*də modelləşdirmə sxemini yığmalı (şəkil, 3,a). $y(t)$ və $u(t)$ siqnallarını almalı (şəkil 3,b).

4. $y(t)$ və $u(t)$ xarakteristikalarını müqayisə etməli. Düzgün tərtib olunmuş sxem üçün hər iki halda bu xarakteristikalar eyni olmalıdır.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nöfərdən ibarət qruplar tərəfindən tərtib olunur və aşağıdakı məlumatı əks etdirməlidir.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variant üzrə obyektin $W(s)$ ötürmə funksiyası, uyğun vəziyyət (A,B,C,D) modeli, kriterinin q və r çəki əmsalları.
3. Optimal K gücləndirmə əmsalını təyin etmək üçün Matlab proqramı, $y(t)$ və $u(t)$ xarakteristikaları (şəkil 1,a,b).
4. *Simulink* sxemi $y(t)$ və $u(t)$ xarakteristikaları (şəkil 3,a,b).
5. Hər iki hal üçün $y(t)$ və $u(t)$ siqnallarının müqayisəsi. Nəticə.

5. Yoxlama sualları

1. Xətti-kvadratik optimallaşdırma məsələsi nədir?
2. Optimallıq kriterisi nəyi xarakterizə edir?
3. İdarə və vəziyyət dəyişənlərinə məhdudiyyət varmı?
4. Məsələnin həlli nəticəsində nə təyin edilir?
5. Matlab funksiyası.
6. Tapşırıq siqnalı.
7. Displayin rolu.

6. Variantlar

Nö	Obyektin ötürmə funksiyası, $W(s)$	Uyğun vəziyyət (A,B,C,D) modeli, q və r çəki əmsalları
1.	$\frac{2}{s^2 + 0.2s + 1}, n = 2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -0.2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $q = 10, r = 1$
2.	$\frac{6}{s^2 + 0.8s + 4}, n = 2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -0.8 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 6 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $q = 1, r = 5$

3.	$\frac{10}{s^3 + 2s^2 + 15s + 10}, n = 3$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -10 & -15 & -2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 10 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0 \ 0), D = 0$ $q = 0.5, r = 2$
4.	$\frac{20}{s^2 + 6s + 10}, n = 2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -10 & -6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 20 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $q = 2, r = 0.3$
5.	$\frac{10}{s^2 + 0.2s + 4}, n = 2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -4 & -0.2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $q = 20, r = 5$
6.	$\frac{5}{s^2 + 1}, n = 2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $q = 2, r = 4$
7.	$\frac{5}{s^3 + 8s^2 + 6s + 30}, n = 3$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -30 & -6 & -8 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 15 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0 \ 0), D = 0$ $q = 7, r = 4$
8.	$\frac{2}{s^2 + 50s + 40}, n = 2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -40 & -50 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $q = 16, r = 20$
9.	$\frac{100}{s^2 + 30s + 100}, n = 2$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -100 & -30 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0), D = 0$ $q = 1, r = 0.8$
10.	$\frac{20}{s^3 + 24s^2 + 3s + 50}, n = 3$	$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -50 & -3 & -24 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 20 \end{bmatrix}, C = (1 \ 0 \ 0), D = 0$ $q = 2, r = 6$

Ədəbiyyat

1. R.Ə.Əliyev, R.R.Əliyev "Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi" dərslik, Bakı, Çarşıoğlu, 2007, 640 səh.
2. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə. Bakı, 2003, 404 s.
3. Əlizadə A.N., Namazov M.B., Aslanov M.S. Matlab tətbiqi proqramlar paketi və simvolla riyaziyyat. Dərs vəsaiti. Bakı, 2005, 280 s.
4. Seyidov M.İ., Qardaşova L.A., Səlimov V.H. Kompüter riyaziyyatı. Metodik vəsait, Bakı, "Təhsil" EİM, 2010, 188 s.
6. S.M.Cəfərov, K.A.Məmmədov "Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi və modelləşdirmə fənni üzrə laboratoriya işləri", dərs vəsaiti, 2010, 208s.

TƏNZİNLƏMƏ SİSTEMLƏRİNİN OPTİMAL PARAMETRİK SİNTEZİ

İşin məqsədi. Avtomatik tənzimləmə sistemlərinin sazlama parametrlərinin verilmiş keyfiyyət göstəricilərini təmin edən qiymətlərinin *Simulink Response Optimization/Signal Constraint* paketinin köməyi ilə təyini

1. Nəzəri məlumat

Əks əlaqəli optimal sintez məsələləri iki qrupa ayrılır:

1. Optimal struktur sintez (optimal tənzimləyicilərin analitik konstruksiya olunması);
2. Optimal parametrik sintez.

Birinci halda optimal (ən yaxşı) idarə qanununun (tənzimləyicinin) tənliyi tapılır və onun əsasında ATS qurulur.

İkinci halda isə idarə qanununun tənliyi verilir, nəməlum sazlama parametrləri isə optimal tiyin olunur. Məsələn, PI- və ya PİD-qanunu şəklində.

Optimal sintez məsələlərinin əsas cəhəti ondan ibarətdir ki, burada *optimallaşdırma kriterisi* (meyarı) verilir, idarə qanunu və ya onun parametrləri elə təyin olunur ki, bu kriteri *extremal* (minimum və ya maksimum) qiymət alsın.

Optimallaşdırma kriterisi, yəni sistemə irəli sürülən tələb, cədvəl, etalon traektoriya $y_e(t)$ (tapşırıq), funksional və s. şəklində verilə bilər. Bu işdə ATS-ə olan tələb məhdudiyətlər oblastından ibarət olan **qutucuq** şəklində verilir.

Məsələnin qoyuluşu. *ATS-in (tənzimləyicinin, obyektin və b.) parametrləri elə seçilir ki, sistemin keçid xarakteristikası $y(t)$ bu qutucuğun daxilinə gətirilsin.*

Xatırladaq ki, ATS-in keçid xarakteristikası, giriş $g(t)=1(t)$ vahid təkən signalı şəklində dəyişdikdə çıxış $y(t)$ -nin dəyişmə qrafiki, yəni *sistemin reaksiyasıdır*. Təkcə $y(t)$ -ni deyil, sistemin başqa xarakteristikalarını (məsələn, $u(t)$ idarə signalını və s.) da optimallaşdırmaq mümkündür.

Qutucuğu formalaşdırmaq üçün $y(t)$ -yə irəli sürülən tələblər (tənzimləmə vaxtı, ifrat tənzimləmə və s.) xüsusi pəncərədən daxil edilir. **OK** düyməsinə *klik* etdikdə bu qutucuq avtomatik formalaşır və ekrana çıxır.

Paketin köməyi ilə sazlama parametrləri \mathbf{k} aşağıdakı qeyri-xətti optimallaşdırma məsələsinin həlli nəticəsində təyin edilir:

$$\begin{aligned} Q(y(\mathbf{k},t)) &\rightarrow \min_{\mathbf{k}}, \\ h(\mathbf{k},t) - r \cdot Q(y(\mathbf{k},t)) &\leq 0, \\ \mathbf{k}_{\min} &\leq \mathbf{k} \leq \mathbf{k}_{\max}, \quad t \in [0, T], \end{aligned}$$

Burada $Q(y(\mathbf{k},t))$ - $y(\mathbf{k},t)$ trayektoriyasının arzu olunan Ω oblastına daxil olmasının pozulmasını xarakterizə edən meyar; $h(\mathbf{k},t)$ - Ω oblastını xarakterizə edən lokal məhdudiyətlərin pozulmasını nəzərə alan vektor; $r=(r_i)$ - bu vektorun elementlərinin cəki əmsallarıdır (vacibliyi).

Həll zamanı $[0, T]$ intervalı verilmiş inteqrallama addımı ilə diskretləşdirilir və hər bir nöqtədə $h_i(\mathbf{k}, t_i)$ elementləri formalaşdırılır. Bu paket optimallaşdırma üsulu kimi *Optimization Toolbox*da yerləşən *fmincon* qeyri-xətti optimallaşdırma funksiyasından istifadə edir.

2. Nümunə

Fərz edək ki, PİD- tənzimləyicinin K_T , K_i və K_d sazlama parametrlərinin təyin olunması tələb olunur. PİD- tənzimləyicinin ötürmə funksiyası:

$$W_{PID}=(K_d s^2 +K_T s+K_i)/ s.$$

İşin yerinə yetirilmə qaydası

İş aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilir:

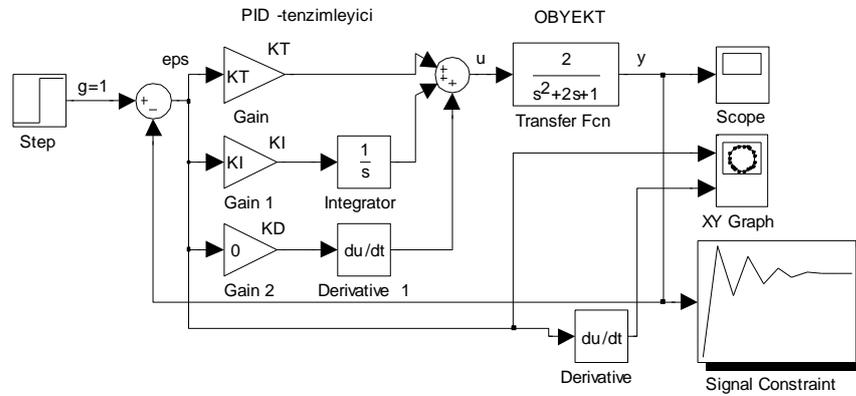
1. Simulink pəncərəsində verilmiş obyekt və PID-tənzimləyicisindən ibarət ATS yığılır. Obyektin və sistemin başqa parametrlərinin ədədi qiymətləri daxil edilir. Tənzimləyicinin isə axtarılan sazlama parametrləri uyğun güclədiricilərin (Gain) parametrlər pəncərəsindən və ya ötürmə funksiyasının əmsalları kimi K_T , K_I , K_D şəklində daxil olunur.

2. Simulinkin *Simulink Response Optimization* sətirinə **klik** edilir. Sağ pəncərədə *Signal Constraint* (məcburi siqnal) optimallaşdırma bloku meydana çıxır. Bu bloku “tutub” ATS-in sxemi yığmış pəncərəyə aparıb $y(t)$ çıxışının istənilən nöqtəsinə birləşdirmək lazımdır.

Səkil 1-də ikinci tərtib aperiodik

$$W_{ob}=2/(s^2+2s+1)$$

obyekti üçün yuxarıdakı əməliyyatlar yerinə yetirildikdən sonra ATS-in sxemi göstərilmişdir.

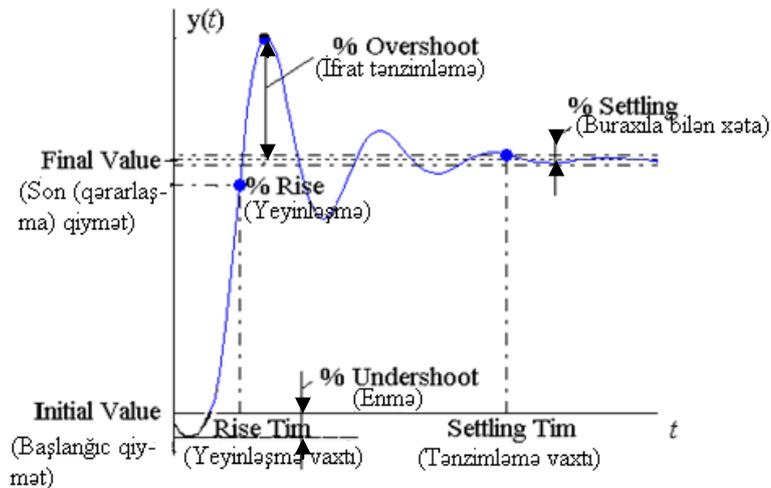


Səkil 1.ATS-in Signal Constraint bloku ilə birlikdə sxemi

PİD-tənzimləyicisindən Pİ-tənzimləyicisi almaq üçün $K_D=0$ daxil edilmişdir. *Scope* cihazında keçid xarakteristikası $y(t)$, idarə siqnalı $u(t)$, *XY Graph* cihazında isə ATS-in faza portretini almaq olar.

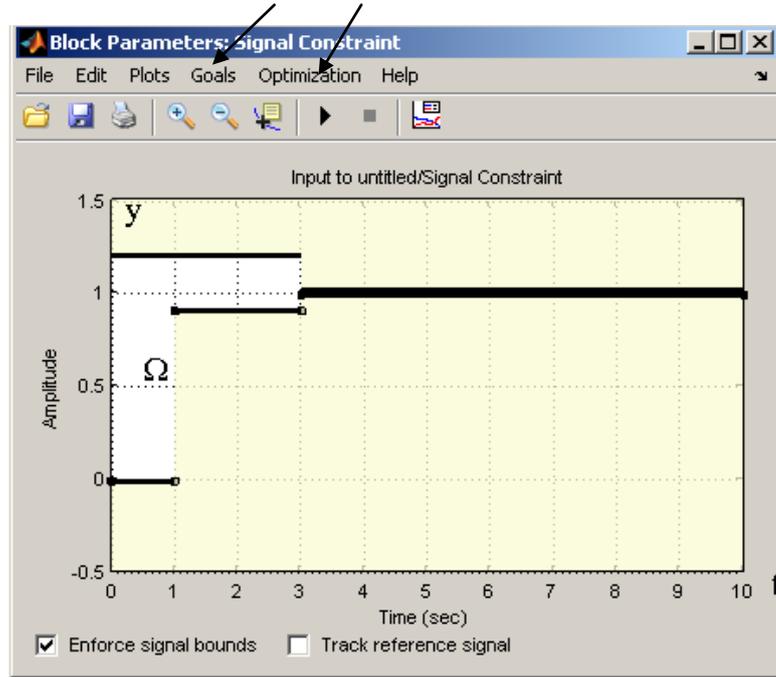
Keyfiyyət göstəricilərinin daxil edilməsi

3. *Simulink Response Optimization/Signal Constraint* paketi keçid xarakteristikasının şəkil 2-də göstərilən keyfiyyət göstəricilərini daxil etməyə imkan verir.



Səkil 2. Keçid xarakteristikasının keyfiyyət göstəriciləri

Yuxarıda göstərilən keyfiyyət göstəricilərini daxil etmək üçün *Signal Constraint* blokuna iki dəfə sol klik etmək lazımdır. Bu zaman ekrana şəkil 3-də göstərilən qutucuq çıxır.



Şəkil 3. Məhdudiyyətlər qutucuğu

Burada *Goals/Desired Response...* sətirinə klik etməli. Bu zaman ekrana *Desired Response* (arzu olunan reaksiya) parametrlər pəncərəsi çıxır. Sonra **Specify step response characteristics** sətirinin qarşısında yerləşən dairəyə klik etməli. Bu zaman ekranda şəkil 4-də göstərilən parametrlər pəncərəsi formalaşır.

Şəkil 4. Keyfiyyət göstəricilərini daxil etmək üçün parametrlər pəncərəsi

Bu pəncərədən aşağıdakı keyfiyyət göstəriciləri daxil edilmişdir:

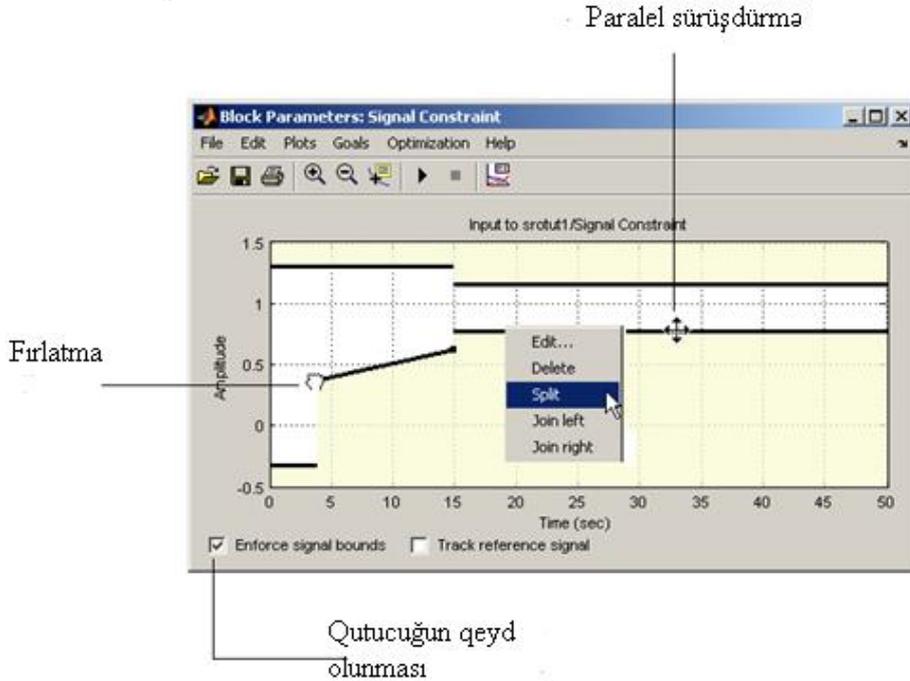
1. Başlanğıc qiymət (**Initial value**), $y(t_0)=1$.
2. Başlanğıc zaman (**Step time**), $t_0=0$.

- 3.Yeyinləşmə vaxtı (**Rise time**) - 2.5 s.
- 4.Qərarlaşma (tənzimləmə) vaxtı (**Settling time**), $t_T=7.5$ s.
- 5.İfrat tənzimləmə (**Overshoot**), $\sigma=20$ %.
- 6.Son (qərarlaşma) qiymət (**Final value**), $y(\infty)=1$.
- 7.Yeyinləşmə (**Rise**), $0.9y(\infty)100\%$ -90%.
- 8.Buraxıla bilən tənzimləmə xətası (**Settling**)- 5%.
- 9.Xarakteristikanın mənfi istiqamətə enməsi (ifrat tənzimləmənin tərsi) (**Undershoot**)–2%.

Mənfi tərəfə enmə *minimalfazalı olmayan*, yəni müsbət sıfırlara malik olan obyektlər üçün xarakterikdir. %-lə verilmiş kəmiyyətlər $y(\infty)$ -un qiymətinə nəzərəndir. ATS-in sxemində tapşırıq $g= y(\infty)$ qiymətini daxil etmək lazımdır.

Məhdudiyətlər oblastının sərbəst formalaşdırılması

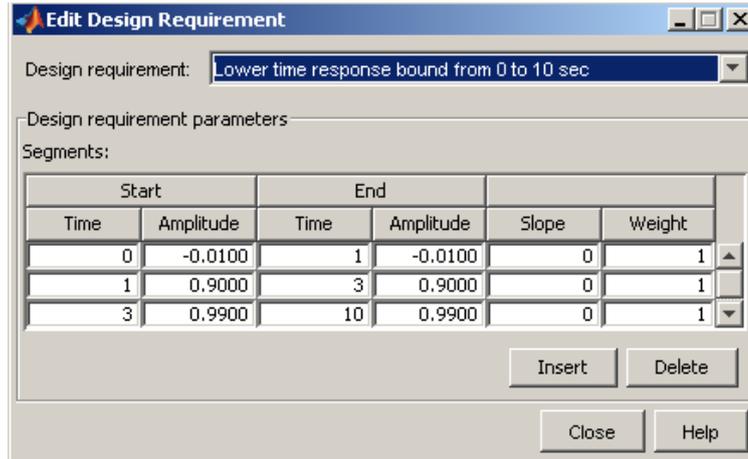
Qutucuğu təşkil edən xətləri parçalara bölüb üfuku və bucaq altında yerləşdirmək mümkündür (şəkil 5).



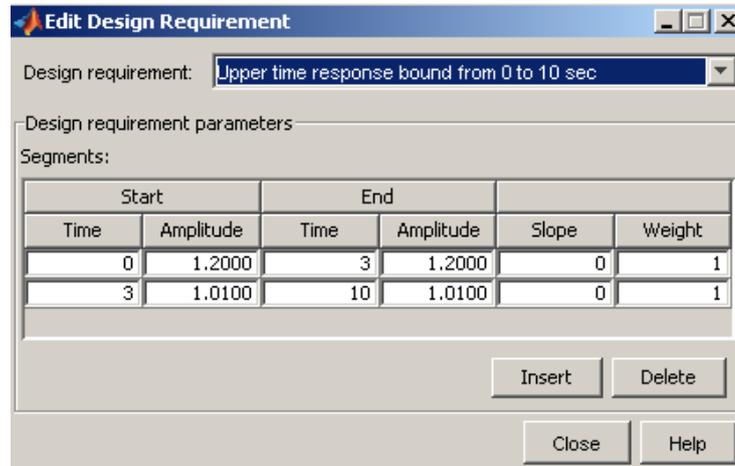
Şəkil 5.Məhdudiyətlər oblastının dəyişdirilməsi

Bu məqsədlə mışkanın köməyi ilə **əl** və **xaç** işarələrindən istifadə olunur. Birinci halda xətti fırlatmaq, ikinci halda isə paralel sürüşdürmək olur.Xətti daha xırda parçalara bölmək üçün kursoru xəttin lazımı nöqtəsinə yerləşdirib sağ *klik* etmək lazımdır. Bu zaman ekrana **menyu** çıxır. Bu menyüdə **Split** sətirinə sol *klik* etmək lazımdır.

Qurulmuş xətlərin koordinatlarını bilmək üçün qutucuqdan kənarında iki dəfə sol *klik* etməklə şəkil 6-da göstərilən pəncərə meydana çıxır.



a)



b)

Şəkil 6. Məhdudiyyət oblastının koordinatları

Lower time response bound from ... (Reaksiyanın aşağı məhdudiyyəti ...) sətirində ▼ simvoluna **klik** edərək *Upper ...* (Yuxarı...) yuxarı məhdudiyyətləri təşkil edən xətlərin koordinatlarını görmək olar.

Bu pəncərədən lazımı xətti qurmaq üçün (Redaktə rejimi) müvafiq koordinatları da daxil etmək də mümkündür. Hər dəfə *Insert* düyməsinə klik etmək lazımdır.

Optimization/Simulation Options ... sətirinə **klik** etməklə meydana çıxan pəncərədən simulyasiya vaxtını (**Stop time:10**) və həll üsulunu (**Solver:ode 45**) dəyişmək olar.

Optimization/Optimization Options... sətirinə **klik** etməklə meydana çıxan pəncərədən iterasiyaların sayını (**Maximum iterations :100**) dəyişmək mümkündür.

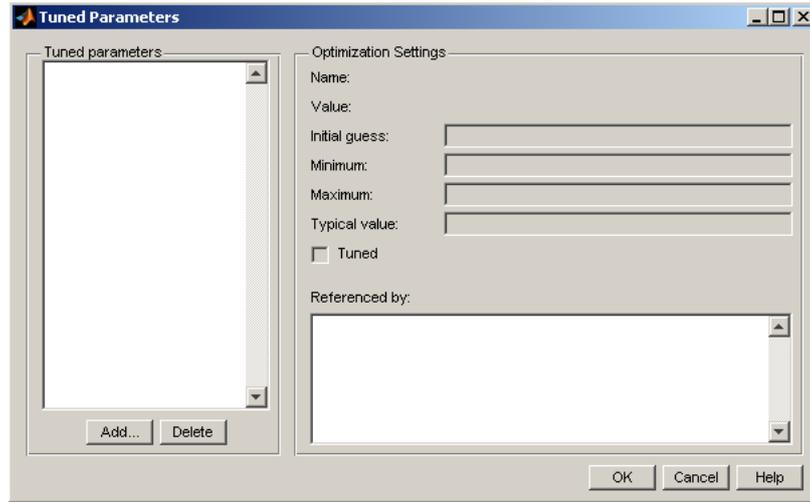
Paketin işə buraxılması

1.Axtarılan parametrlərin başlanğıc qiymətləri Matlabın işçi pəncərəsindən daxil edilir. Məsələn,

```
>> KT=1;
>> KI=1;
>> |
```

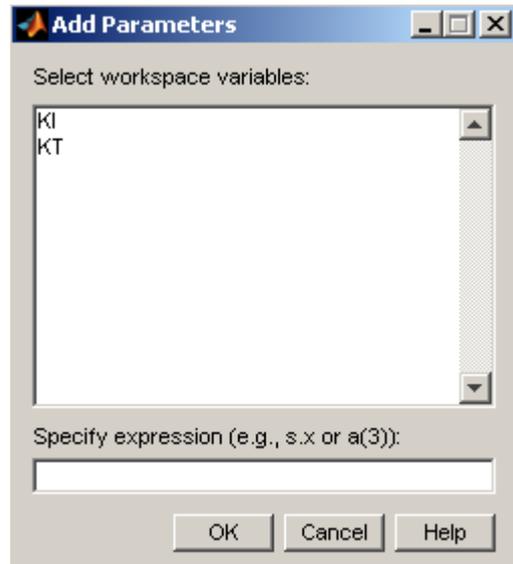
< Enter>.

2.Qutucuğun (şəkil 3) *Optimiz. /Tuned Parameters...* sətirinə klik etməli.Bu zaman şəkil 7-də göstərilən pəncərə meydana çıxır.



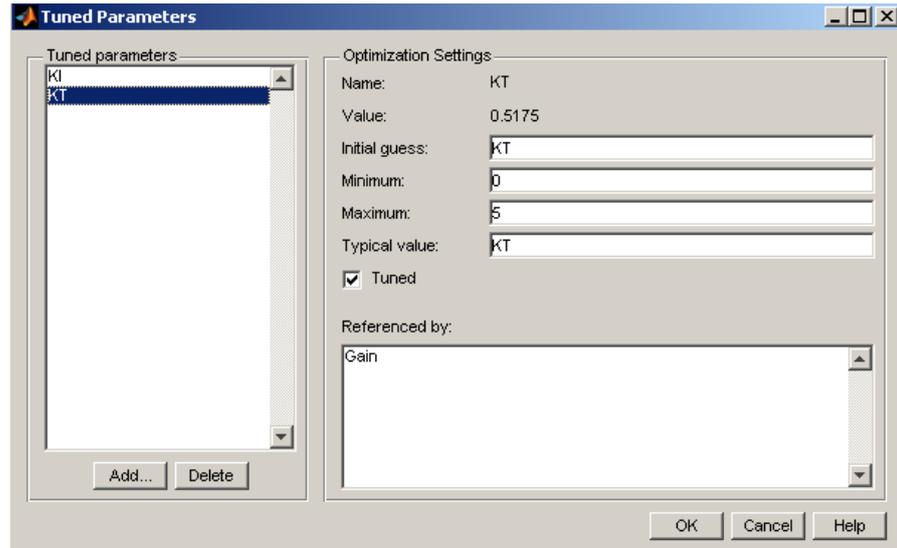
Şəkil 7. Parametrləri daxil etmək üçün pəncərə

3. Bu pəncərədə *Add...* sahəsinə klik etməli. Bu zaman şəkil 8-də göstərilən yeni pəncərə açılır.



Şəkil 8. Parametrlər pəncərəsi

4. Bütün parametrləri mişkanın köməyi ilə (sol düyməni sıxıb saxlamaqla) ayıraraq (göy rəngə boyanırlar) **OK** klik etməli.
5. Bu zaman bütün parametrlər əvvəlki (şəkil 7) pəncərəyə daxil olur (şəkil 9).



Şəkil 9. Aktiv parametrlər pəncərəsi

Bu halda parametrlərin axtarış intervalı $(-\infty, +\infty)$, yəni $(-\infty, +\infty)$ olur. Axtarışı tezləşdirmək məqsədi ilə bu intervalları daraltmaq olar. Parametrləri bir-bir ayıraraq OK klik etmək və hər dəfə fiziki dəyişmə intervalını (əgər bu interval məlumdursa) daxil etmək lazımdır.

Şəkil 9-da göstərilən pəncərədə *Initial guess* (başlangıç təqribi qiymət): KT – boş buraxmaq.

Məsələn *Minimum*: 0

Maximum: 5.

Typical value (tipik qiymət): KT – boş buraxmaq.

KT parametri üçün də eyni ilə.

6. Şəkil 3-dəki pəncərədən ► simvoluna klik etməklə paketi işə buraxmaq. Axtarış zamanı 100 iterasiya (addım) yerinə yetirilir. Axtarış zamanı iterasiyaların sayını artırmaq mümkündür (bax əvvələ). Hər bir iterasiyaya uyğun $y(t)$ keçid xarakteristikasını görmək üçün bu pəncərənin axırındakı simvoluna klik etmək lazımdır.

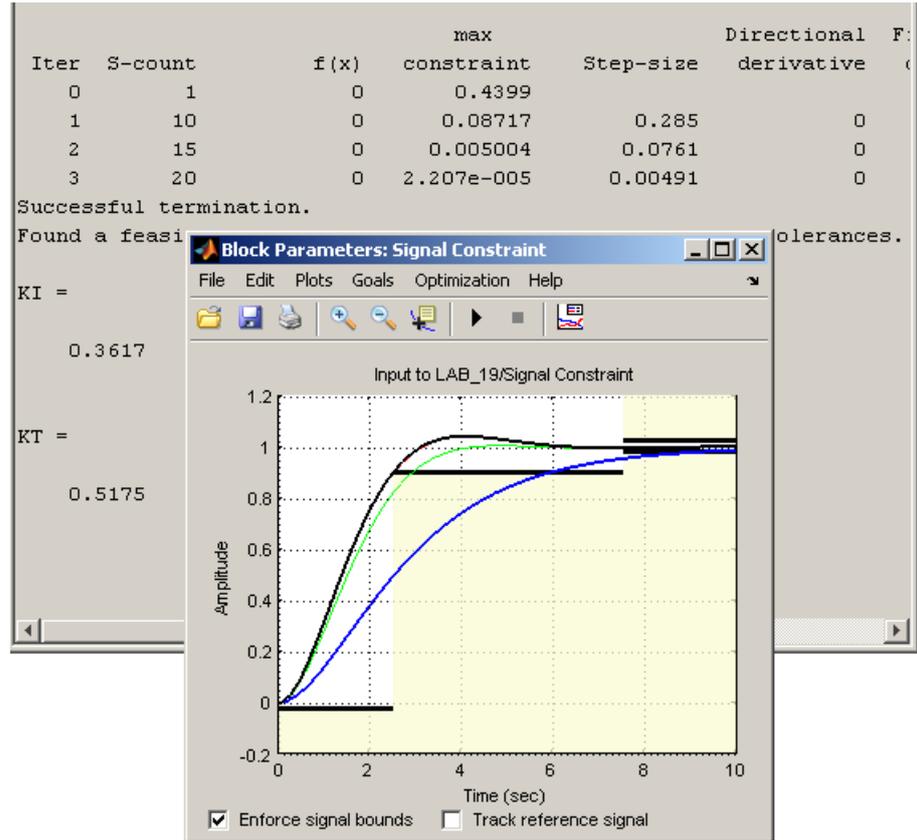
7. Əgər $y(t)$ verilən keyfiyyət göstəricilərini ödəyə bilmirsə, yəni $y(t)$ bütövlükdə **qutucuğun** daxilinə gətirilə bilmirsə, onda ən yaxın trayektoriya göstərilir, yəni kompromis həll.

Qeyd edək ki, rəqsi

$$W = \frac{2}{s^2 + 0.4s + 1}$$

ötürmə funksiyası ilə verilmiş obyekt üçün $y(t)$ qutucuğa düşə bilmir. Optimal həll almaq üçün PİD tənzimləticidən istifadə etmək lazımdır.

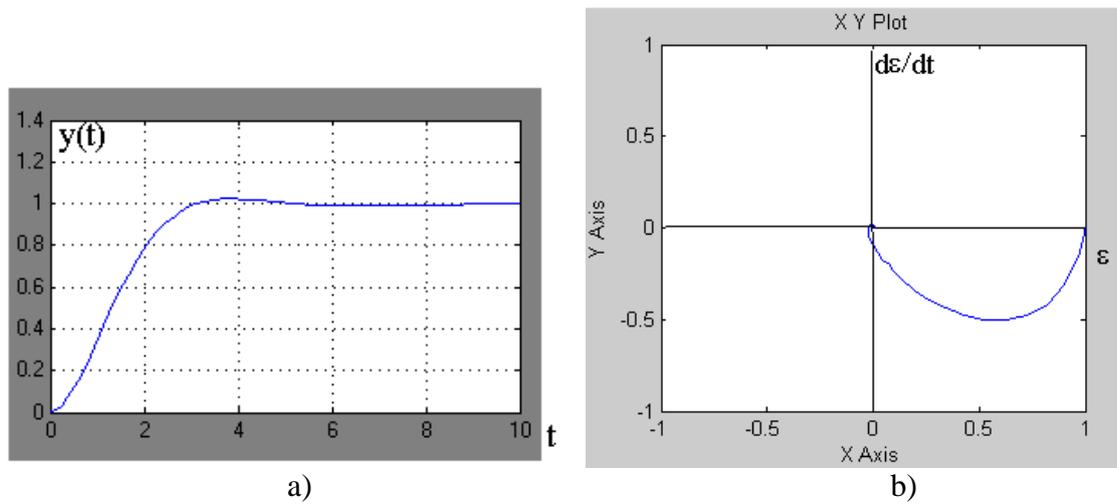
Şəkil 10-da optimallaşdırma məsələsinin həllinin nəticələri göstərilmişdir.



Şəkil 10. Aperiodik obyekt üçün parametrik optimallaşdırma məsələsinin həllinin nəticələri

Göründüyü kimi, Pİ-tənzimləyicinin sazlama parametrlərinin $KT=0.5175$, $KI=0.3617$ optimal qiymətlərində keçid xarakteristikası $y(t)$ üç iterasiyaya tamamilə qutucuğun daxilinə düşür. Deməli, tələb olunan keyfiyyət göstəriciləri ziddiyətli deyil.

Şəkil 11, a və b-də **Scope** və **XY Graph** ciyazlarının köməyi ilə alınmış keçid xarakteristikası $y(t)$ (a) və ATS-in faza portreti (b) göstərilmişdir.



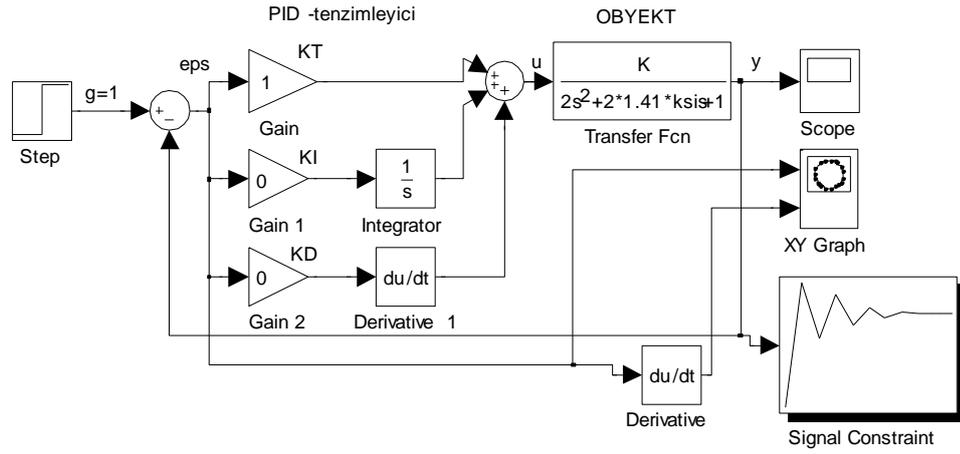
Şəkil 11. ATS-in Simulink paketində alınmış dinamik xarakteristikaları

Göründüyü kimi, Scope cihazında alınmış keçid xarakteristikası $y(t)$ qutucuqdakı $y(t)$ ilə eynidir.

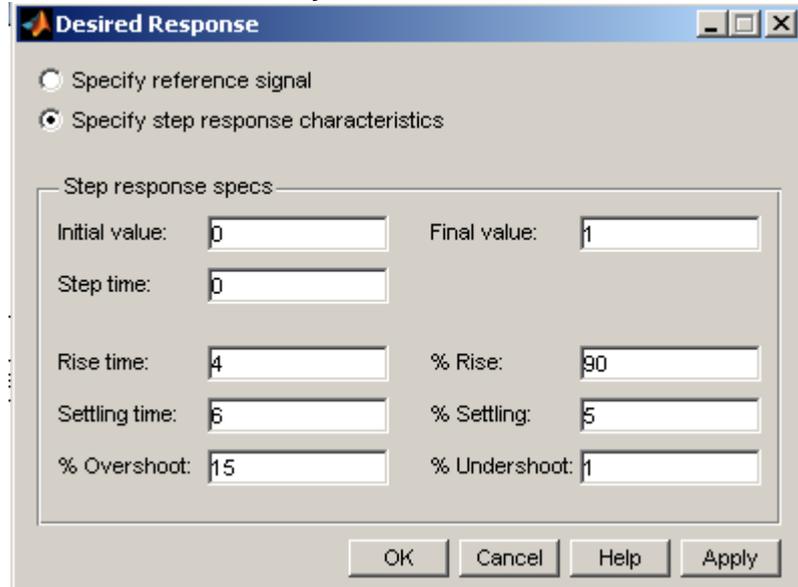
Obyektin parametrlərinin təyini

Yalnız tənzimləyicinin deyil eyni zamanda obyektin də parametrlərini optimallaşdırmaq olar. Məsələn, K gücləndirmə əmsalını və sönmə ξ (k_s) əmsalını elə təyin etmək olar ki, verilmiş keyfiyyət göstəriciləri ödənilsin.

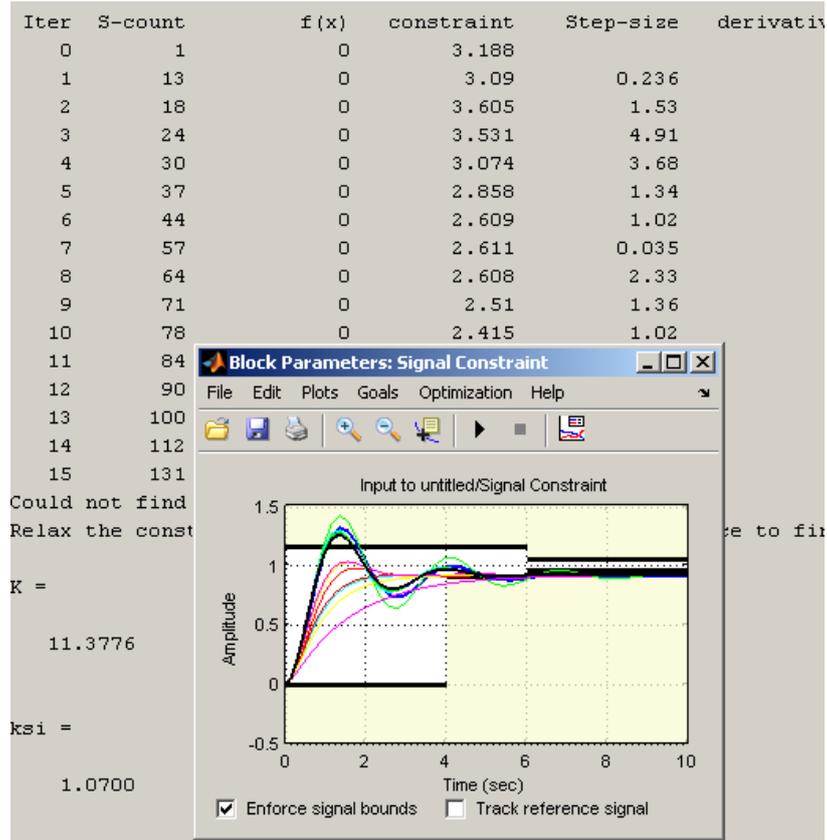
Fərz edək ki, tənzimləyici parametrləri məlum olan P-tənzimləyicidir: $K_T=1$, $K_i=0$, $K_d=0$. Şəkil 12-15-də uyğun sxemlər, keyfiyyət göstəriciləri və nəticə göstərilmişdir.



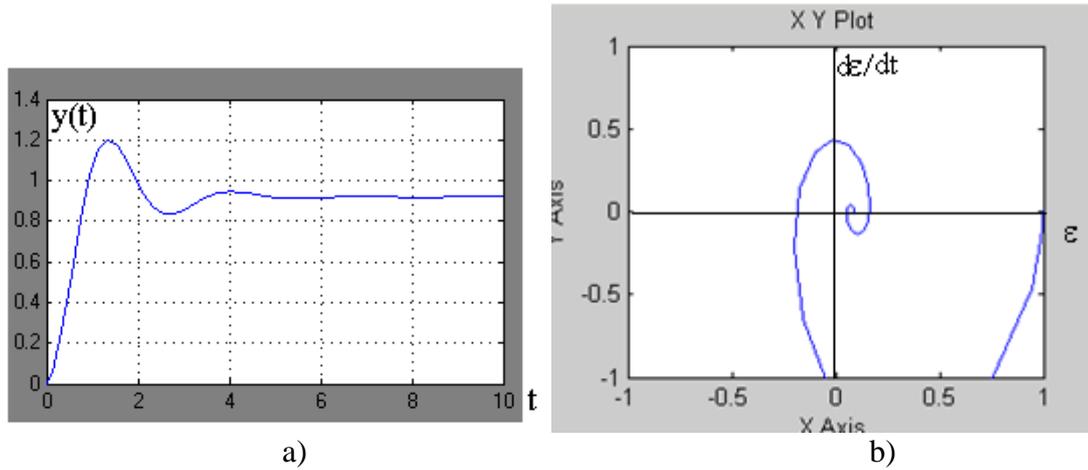
Şəkil 12



Şəkil 13



Şəkil 14



Şəkil 15

Göründüyü kimi obyektin parametrlərinin optimal qiymətləri: $K=11.3776$, $\text{ksi}=1.0700$. Bu qiymətlər 15 itirasiyaya alınmışlar. $y(t)$ sonuncu intervalda qutucuğun sərhəddi ilə hərəkət edir. Tənzimləyici statik P-tənzimləyicisi olduğundan statik xəta mövcuddur.

3. Tapşırıq və işin yerinə yetirilməsi

1. Hər variant 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün nəzərdə tutulmuşdur.
2. Variantlar üzrə tənzimləyicinin tipini və obyektin W_{ob} ötürmə funksiyasını seçməli.
3. Axtarılan parametrləri müəyyən edib ATS-in Simulink sxemini yığmalı. Axtarılan

- parametrlərinin başlanğıc qiymətlərini Matlabın işçi pəncərəsindən daxil etməli.
4. Lazımi keyfiyyət göstəricilərini **Desired Response** (arzu olunan reaksiya) pəncərəsindən daxil etməli.
 5. Paketi işə buraxıb nəticələri təhlil etməli.

4. Hesabatın məzmunu

Hesabat 2-5 nəfərdən ibarət qruplar üçün tərtib olunur.

1. İşin adı və məqsədi.
2. Variantlar üzrə tənzimləyicinin tipi, obyektin ötürmə funksiyası W_{ob} və axtarılan parametrlər.
3. Nümunəyə uyğun olaraq hesabatda şəkil 1, 4, 10, 11 və ya 12-15 göstərməli.

5. Yoxlama sualları

1. Simulink *Response Optimization/Signal Constraint* paketinin təyinatı.
2. Keçid xarakteristikası.
3. Keçid xarakteristikasının ATS-in parametrlərindən asılılığı.
4. Arzu olunan keyfiyyət göstəriciləri.
5. Parametrlərin daxil edilməsi və paketin işə buraxma qaydası.

6. Variantlar

Nö	Tənzimləyicinin tipi	Obyekt, W_{ob}	Axtarılan parametrlər	Tələb olunan keyfiyyət göstəriciləri
1.	PI, $K_d=0$	$\frac{2}{s+1}$	KT, KI	1. 0 6. 1 2. 0 7. 70% 3. 2.1 8. 2% 4. 8 9. 1.2% 5. 25%
2.	PID	$\frac{10}{s^2+0.5s+1}$	KT, KI, KD	1. 0 6. 1 2. 0 7. 80% 3. 2.5 8. 2.5% 4. 6 9. 4% 5. 22%
3.	P, $K_i=0$, $K_d=0$	$\frac{K}{2s^2+Ts+1}$	KT, K, T	1. 0.2 6. 1 2. 0 7. 95% 3. 2 8. 2% 4. 10 9. 1% 5. 30%
4.	PI, $K_d=0$	$\frac{2}{10s^2+Ts+1}$	KT, KI, T	1. 0 6. 1 2. 0.5 7. 95% 3. 3 8. 5% 4. 10 9. 2.2% 5. 12%
5.	PID	$\frac{5}{2s^3+T_1s^2+T_2s+1}$	KT, KI, KD, T1, T2	1. 0.2 6. 1 2. 0.5 7. 80% 3. 2 8. 5% 4. 7.5 9. 1% 5. 5%

Ədəbiyyat

1. Дьяконов В.П. Справочник по применению системы PC Matlab. М.: Физматлит, 1993. 112 с.
2. Simulink ® Response Optimization TM Getting Started Guide, 3rd Printing, Natick, The Mathworks Inc., 2008.
3. Veremey E.I., Pogojev S.B. Nonlinear Control Design Blockset [online] Available: <http://matlab.exponenta.ru/nonlinecondes/book1/preface.php>.
4. Дьяконов В.П. SIMULINK 5/6/7. Самоучитель. М.: 2008. с.160